



**Sistematización de la experiencia del diseño, puesta en marcha y
evaluación del cumplimiento normativo del sistema de tratamiento de aguas
residuales tipo Foto-Fenton implementado en la empresa Curtiembres Fernando
Blandón, ubicada en el sector del Barrio San Benito Cuenca del Río Tunjuelo, en
Bogotá D.C.**

Simón Augusto Merchán Parra

Universidad Santo Tomás
Facultad de Ciencias y Tecnologías
Especialización en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas
Bogotá D.C., Colombia

2025

Sistematización de la experiencia del diseño, puesta en marcha y evaluación del cumplimiento normativo del sistema de tratamiento de aguas residuales tipo Foto-Fenton implementado en la empresa Curtiembre Fernando Blandón, ubicada en el sector del Barrio San Benito Cuenca del Río Tunjuelo, en Bogotá D.C.

Simón Augusto Merchán Parra

Trabajo de grado para optar al título de
Especialista en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas.

Directora:

Elizabeth Carvajal Flórez
Ingeniera Ambiental – MSc. Ph.D

Universidad Santo Tomás

Bogotá, Colombia

2025

Agradecimientos

A mi mamá Mercedes Parra y a mi papá Harol Merchan por apoyarme en todos mis sueños, confiar en mis capacidades y sentirse orgullosos de mi en este tiempo que me enfoqué en cumplir esta meta.

A la Doctora Elizabeth Carvajal Flórez, tutora de grado de maestría y especialización en Gestión de Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas de la Universidad Santo Tomás, quien me acompañó en la elaboración del trabajo de grado, por su disposición y atención durante el desarrollo y finalización del proyecto de grado.

Al señor Fernando Blandón por la experiencia vivida y la oportunidad de compartirla con fines exclusivamente académicos para el proyecto de sistematización

.

Nota de aceptación

Firma del jurado

Firma del jurado Bogotá, ____de____

Resumen

El presente trabajo de grado tiene como objetivo sistematizar la experiencia del diseño, puesta en marcha y evaluación del cumplimiento normativo del sistema de tratamiento de aguas residuales tipo Foto-Fenton implementado en la empresa Curtiembre Fernando Blandón, ubicada en el barrio San Benito, Bogotá D.C.. La sistematización se realizó siguiendo la metodología propuesta por Óscar Jara (2018), dividiéndose en una fase descriptiva, en la que se reconstruyó el proceso vivido, y una fase analítica, donde se evaluó la eficiencia del sistema y su cumplimiento normativo.

El tratamiento Foto-Fenton fue implementado como una alternativa viable para la reducción de contaminantes orgánicos, complementando las unidades de tratamiento ya existentes en la planta. A través de un diseño optimizado, se logró alcanzar eficiencias de remoción de 92.3% para la Demanda Química de Oxígeno (DQO), 94.2% para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y 32.5% para Fenoles Totales, permitiendo que los vertimientos cumplieran con los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 631 de 2015 y la Resolución 3957 de 2009.

El análisis de la experiencia evidenció que, aunque el Foto-Fenton es un método eficiente para la remoción de materia orgánica, su implementación requiere control estricto del pH, dosificación precisa de reactivos y monitoreo continuo para mantener su eficiencia operativa. Se concluye que este sistema representa una opción factible para PYMES del sector curtidor que buscan cumplir con la normatividad ambiental con una

inversión moderada. Finalmente, se presentan recomendaciones para la optimización del tratamiento y su posible aplicación en otras industrias con características similares.

Palabras clave: Sistematización, Foto-Fenton, aguas residuales, tratamiento de aguas, curtiembres, cumplimiento normativo.

Abstract

This research aims to systematize the experience of designing, implementing, and evaluating the regulatory compliance of the Photo-Fenton wastewater treatment system at Curtiembre Fernando Blandón, located in San Benito, Bogotá, Colombia. The system was analyzed following Jara's methodology (2018), which consists of a descriptive phase to reconstruct the process and an analytical phase to assess the system's efficiency and compliance with environmental regulations.

The Photo-Fenton treatment was implemented as an advanced oxidation alternative to reduce organic pollutants. The results showed a 92.3% reduction in Chemical Oxygen Demand (COD), 94.2% in Biochemical Oxygen Demand (BOD5), and 32.5% in Total Phenols, ensuring compliance with the Resolution 631 of 2015 and Resolution 3957 of 2009.

The findings suggest that although the Photo-Fenton method is effective for organic matter removal, it requires strict pH control, precise chemical dosing, and continuous monitoring to maintain efficiency. This system represents a feasible solution for small and medium-sized tanning companies looking to meet environmental standards at a moderate investment cost. The study provides recommendations for optimizing the treatment and its potential application in similar industries.

Keywords: Wastewater treatment, Photo-Fenton process, environmental compliance, tannery industry, oxidation process.

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción	1
2. Planteamiento del problema	3
3. Justificación	5
4. Objetivo general	6
4.1. Objetivos específicos.....	6
5. Marco referencial.	7
5.1. Marco contextual	7
5.1.1. Contexto internacional	7
5.1.2. Contexto nacional	16
5.2. Marco conceptual.	18
5.3. Estado del arte	24
5.4. Marco normativo	27
6. Metodología	30
6.1. Fase descriptiva	31
6.1.1. Punto de partida: la experiencia.....	32
6.1.2. Formular un plan de sistematización	32
6.1.3. Recuperación del proceso vivido.....	33
6.1.4. Las reflexiones de fondo.	34
6.1.5. Puntos de llegada	35
6.2. Fase analítica.	35
6.2.1. Evaluación del cumplimiento Normativo.....	35
6.2.2. Análisis de la eficiencia del sistema Foto-Fenton	36
6.2.3. Identificación de ventajas y desventajas del sistema.....	36
7. Resultados	36
7.1. Fase descriptiva	36

7.1.1.	Generalidades de la curtiembre	37
7.1.2.	Descripción de las actividades productivas	38
7.1.3.	Características del agua.....	42
7.1.4.	Infraestructura y espacio disponible	47
7.1.5.	Tipos de tratamientos disponibles	47
7.1.7.	Resultados del Proceso Vivido.....	57
7.2.	Resultados Fase analítica.....	59
7.2.1.	Evaluación del cumplimiento normativo.	59
7.2.2.	Análisis de la eficiencia del sistema Foto-Fenton	63
7.2.3.	Identificación de Ventajas y Desventajas	64
8.	Conclusiones	66
9.	Recomendaciones	68
10.	Referencias bibliográficas	69

Lista de figuras y fotografías

Figura 1 Fases de la sistematización de experiencia	31
Figura 2 Ubicación del barrio San Benito (sector curtido Bogotá).....	38
Figura 3 Descripción del proceso productivo en Curtiembre Fernando Blandón	39
Figura 4 Tren de tratamiento de aguas residuales de Curtiembre Fernando Blandón	42
Figura 5 Esquema del Sistema Foto-Fenton y Neutralización	53
Figura 6 Plano de diseño del Reactor Foto-Fenton en Curtiembre Fernando Blandón.....	54
Figura 7 Plano de diseño del filtro de carbón activado en Curtiembres Fernando Blandón	55

Registro fotográfico 1. Reactor Foto-Fenton y tanque de Homogenización de Curtiembre

Fernando Blandon	57
Figura 1	31
Figura 2	38
Figura 3	39
Figura 4	42
Figura 5	53
Figura 6	54
Figura 7	55

Lista de tablas

Tabla 1 Límites Máximos Permisibles de Vertimientos en Curtiembres de Bolivia según el Decreto Supremo 24176 (1995).	11
Tabla 2 Normas de la Unión Europea aplicables a las curtiembres	13
Tabla 3 Normatividad nacional para las curtiembres de España	14
Tabla 4 Límites máximos permisibles para vertimientos en curtiembres de Italia	15
Tabla 5 Normas aplicables a la sistematización de experiencia: implementación del Sistema Foto-Fenton en la Curtiembre Fernando Blandón	27
Tabla 6 Límites máximos permisibles para vertimientos para actividades de manufactura establecidos por la resolución 631	29
Tabla 7 Normas aplicables a la sistematización de experiencia: implementación del Sistema Foto-Fenton en la Curtiembre Fernando Blandón	33
Tabla 8 Parámetros fisicoquímicos antes de ingresar a la PTAR	43
Tabla 9 Parámetros y límites máximos permisibles establecidos en la resolución 631 y 3957 para curtiembres	46
Tabla 10 Tipos de tratamientos disponibles y sus ventajas y desventajas.	48
Tabla 11 Condiciones técnicas de sistema de tratamiento Foto-Fenton en Curtiembre Fernando Blandón	51
Tabla 12 Resultados caracterizaciones de vertimientos 18 de diciembre de 2017 y 23 de agosto de 2018	60
Tabla 13 Parámetros Óptimos para la Operación del Sistema Foto-Fenton	62

1. Introducción

La contaminación del agua es uno de los principales problemas ambientales asociados a la industria curtidora. Durante el proceso de curtido y transformación de pieles, se generan aguas residuales con altas concentraciones de materia orgánica, metales pesados y compuestos tóxicos, lo que representa un desafío para el cumplimiento de las normativas ambientales. En este contexto, la búsqueda de tecnologías limpias y eficientes para el tratamiento de estos efluentes es fundamental para mitigar su impacto en los cuerpos de agua receptores.

En Colombia, la Resolución 631 de 2015 establece los límites máximos permisibles para los vertimientos industriales, exigiendo a las curtiembres la implementación de sistemas de tratamiento que permitan la reducción de contaminantes. Sin embargo, muchas empresas del sector aún presentan dificultades para cumplir con estos estándares debido a los altos costos operativos y la ineficiencia de algunos sistemas convencionales.

Diversas investigaciones han demostrado que los procesos de oxidación avanzada, como el Foto-Fenton, son alternativas viables para la eliminación de contaminantes orgánicos en aguas residuales industriales (Pérez & Rodríguez, 2019). Este proceso combina la acción del peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y el sulfato ferroso (Fe^{2+}) con radiación UV para generar radicales hidroxilos ($\bullet\text{OH}$), los cuales degradan de manera eficiente los compuestos orgánicos presentes en el agua. No obstante, su aplicación en curtiembres ha sido poco explorada, lo que justifica la necesidad de evaluar su viabilidad en este tipo de industria.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la eficiencia del sistema Foto-Fenton en la remoción de contaminantes de aguas residuales en la Curtiembre Fernando Blandón, asegurando su cumplimiento con la normativa ambiental vigente. Para ello, a través de una sistematización de experiencia en la que se analizó la eficiencia de remoción del tratamiento Foto-Fenton, evaluando parámetros como Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y fenoles totales.

Este documento está estructurado en cinco capítulos. En el capítulo 1, se presenta el contexto y la justificación del estudio. En el capítulo 2, se expone el marco teórico y normativo que sustenta la investigación. En el capítulo 3, se describe la metodología utilizada para la evaluación del sistema Foto-Fenton. En el capítulo 4, se presentan los resultados obtenidos y su respectivo análisis. Finalmente, en el capítulo 5, se plantean las conclusiones y recomendaciones del estudio.

2. Planteamiento del problema

El río Tunjuelo forma parte de la cuenca media y alta del río Bogotá y atraviesa las localidades de Usme, Ciudad Bolívar, Bosa, Sumapaz y Tunjuelito. Con una longitud de 73 km, es el segundo río más importante de la ciudad, después del río Bogotá (Alcaldía Local de Tunjuelito, sf). Dentro de esta zona, el barrio San Benito, ubicado en la localidad de Tunjuelito, es reconocido por su alta concentración de empresas dedicadas a la transformación de pieles.

La cuenca del río Tunjuelo enfrenta serios desafíos ambientales y sociales, principalmente derivados de actividades antrópicas que han alterado su equilibrio ecosistémico. Una de las principales fuentes de contaminación en la zona es la industria curtidora, la cual genera grandes volúmenes de residuos químicos y orgánicos que, al no ser tratados adecuadamente, se infiltran en el suelo y contaminan tanto las aguas superficiales como subterráneas. Esto representa una amenaza para la biodiversidad y la calidad del recurso hídrico, impactando negativamente el ecosistema y la salud pública (Vega, J. 2020).

Para mitigar el impacto ambiental de los vertimientos industriales, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia expidió la Resolución No. 631 de 2015, la cual establece los parámetros y límites máximos permisibles para los vertimientos en cuerpos de agua superficiales y sistemas de alcantarillado público (MinAmbiente, 2015). Sin embargo, el cumplimiento de esta normativa supone un reto técnico-operativo, financiero y social para las curtiembres del barrio San Benito. La mayoría de estas

empresas son PYMES que carecen de la infraestructura y la capacidad económica para implementar sistemas de tratamiento de gran escala, como los biológicos.

Ante esta problemática, algunas empresas han optado por sistemas de tratamiento secuenciales, los cuales incluyen unidades preliminares, tratamiento primario fisicoquímico y tratamiento terciario mediante el proceso Foto-Fenton. Esta tecnología ha demostrado ser una alternativa viable para la reducción de contaminantes sin requerir grandes inversiones en infraestructura. No obstante, aún es necesario evaluar su eficacia en el cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

Teniendo en cuenta la problemática expuesta, se plantean la pregunta de investigación enfocada en el presente estudio:

¿La eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales tipo Foto-Fenton implementado en la empresa Curtiembre Fernando Blandón cumple con los requisitos normativos para vertimientos establecidos en Colombia?

3. Justificación

La contaminación del recurso hídrico es un problema crítico en Colombia, especialmente en sectores industriales como el curtidor, donde se generan grandes volúmenes de aguas residuales con contaminantes peligrosos como cromo, sulfuros y materia orgánica. Para reducir estos impactos, el Estado ha implementado normativas ambientales que exigen a las industrias cumplir con parámetros estrictos de vertimiento, lo que representa un gran desafío técnico, económico y de gestión para pequeñas y medianas empresas, como las ubicadas en el barrio San Benito.

Uno de los principales obstáculos para el cumplimiento de la normativa es el alto costo y complejidad de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, así como la falta de infraestructura y espacio disponible en las curtiembres. En este contexto, la implementación de tecnologías alternativas como el sistema Foto-Fenton puede representar una solución viable, pero es necesario evaluar su efectividad, costos y viabilidad operativa.

. Este estudio busca identificar las ventajas y desventajas del sistema de tratamiento Foto-Fenton implementado en la empresa Curtiembre Fernando Blandón, con el fin de determinar si cumple con la normatividad vigente y si puede ser una opción replicable en otras curtiembres del sector. Los resultados de esta investigación pueden contribuir a la mejora de las prácticas de tratamiento de aguas residuales en el sector curtidor, promoviendo soluciones más accesibles y sostenibles para reducir la contaminación hídrica.

4. Objetivo general

Sistematizar la experiencia en el proceso de implementación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) tipo Foto-Fenton en la empresa Curtiembre Fernando Blandón, ubicada en el barrio San Benito, y evaluar su eficiencia en la remoción de contaminantes para determinar si cumple con la normativa ambiental vigente en materia de vertimientos.

4.1. Objetivos específicos

- Describir la estructura técnica y el funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales tipo Foto-Fenton implementado en la PTAR de la empresa Curtiembre Fernando Blandón.
- Evaluar la eficiencia del sistema Foto-Fenton en la remoción de contaminantes y determinar si cumple con los parámetros establecidos en las Resoluciones 631 de 2015 y 3957 de 2009.
- Identificar oportunidades de mejora en la implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales para optimizar su desempeño y contribuir a la protección y conservación de las fuentes hídricas de la cuenca del río Tunjuelo.

5. Marco referencial.

5.1. Marco contextual

5.1.1. Contexto internacional

Realizando una revisión de los modelos operativos y sistemas de tratamiento de aguas residuales de curtiembres existentes, se tiene el caso de países como México, Perú, Bolivia, Ecuador, España e Italia el diseño de sus plantas de tratamiento de aguas se basa en la normatividad local.

México

En México las curtiembres deben tramitar permisos de descarga de aguas residuales ante la Comisión Nacional del Aguas (CONAGUA), adicionalmente los máximos permisibles que deben cumplir estas industrias están establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-2021, esta norma establece el cumplimiento de los máximos permisibles en parámetros clave como la DQO, DBO, sulfuros, solidos suspendidos total (SST), grasas y aceites. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2021).

Las curtiembres en México se ubican en regiones con una tradición histórica en la industria del cuero, estas regiones cuentan con un acceso de aguas y ganado que permiten, realizar la actividad sin complicaciones. Los estados en donde se agrupa la mayor cantidad de curtiembres en México son el estado de Guanajuato, estado de Jalisco, estado de Puebla, estado de México, estado de Hidalgo, estado de Coahuila,

estado Chiapas. Las características principales de estos estados es la disponibilidad de recursos, así como la actividad productiva de la ganadería lo que impulsa este tipo de actividades industriales (INEGI, 2020).

La mayoría de las curtiembres de México utilizan sistemas de tratamiento físico químico como; coagulación-floculación, precipitación de cromo, sedimentación y filtración, también utilizan sistemas de tratamientos biológicos como Lodos activados, lagunas de estabilización y biodiscos o reactores biológicos de película fija, finalmente utilizan tratamientos avanzados como osmosis inversa, electrocoagulación y oxidación avanzada (González & Ramírez, 2018)

Perú

Lima y Trujillo son las zonas más destacadas en donde se realiza la actividad productiva de curtido de pieles, se caracterizan por la infraestructura industrial y su cercanía a mercados importantes, siendo una ventaja comercial para las empresas que se ubican en ese sector (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2019).

En el ámbito normativo, las curtiembres de Perú deben obtener una autorización de vertimientos para poder realizar sus actividades, los detalles del procedimiento para dicha autorización están establecidos en el Reglamento de Ley de Recursos Hídricos (Decreto Supremo N.º 001-2010-AG, 2010), los límites máximos permisibles para descargas de aguas residuales a las fuentes superficiales por curtiembres, están

regulados en el Decreto Supremo N.º010-2019-MINAM (MINAM,2019). Los cuales establecen los siguientes parámetros clave:

- **Cromo Total:** 1.0 mg/.
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** 50 mg/.
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** 250 mg/.
- **Sólidos Suspendidos Totales (SST):** 50 mg/.
- **Grasas y Aceites:** 10 mg/.

Respecto a las descargas realizadas a la red de alcantarillado por curtiembres los parámetros y límites máximos permisibles están regulados por el Decreto Supremo N.º021-2009-VIVIENDA (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2009). A continuación, se presentan los parámetros más relevantes que aplican al sector curtidor de Perú:

- **Cromo Total:** 2.0 mg/.
- **Cromo Hexavalente:** 0,5 mg/
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** 500 mg/.
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** 1000 mg/.
- **Sólidos Suspendidos Totales (SST):** 500 mg/.
- **Grasas y Aceites:** 100 mg/.
- **Sulfuro:** 1mg/

En Perú, las empresas prestadoras de servicios de saneamiento, realizan controles regulares para verificar que las descargas cumplan con los parámetros establecidos, por esta razón, la gran mayoría de empresas cuentan con sistemas de

tratamientos fisicoquímico y biológico que les permite garantizar el cumplimiento de estas normativas (Ley de Recursos Hídricos N.º 29338, 2009; Resolución Jefatural N.º 178-2010-ANA, 2010).

Bolivia

Los sectores de Santa Cruz y Cochabamba tienen un acceso directo a pieles frescas provenientes de la actividad de ganadería que se realizan en la zona, (Ministerio de Medio Ambiente y Agua [MMAyA], 1995) por esta razón, son los sectores en donde abunda la mayor cantidad de empresas de este tipo, la zona también se caracteriza por tener grandes fuentes de abastecimiento como en río Rocha que se encuentra ubicado en Cochabamba (Pérez & Rodríguez, 2019).

Los máximos permisibles para los vertimientos realizados por curtiembres en Bolivia, están regulados por la Ley N.º 1333 de Medio Ambiente y el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (DS N.º 24176 de 1995) (MMAyA, 1995). A continuación, se presenta la Tabla 1 que muestra los límites máximos permisibles para vertimientos de curtiembres a fuentes superficiales y a la red de alcantarillado.

Tabla 1

Límites Máximos Permisibles de Vertimientos en Curtiembres de Bolivia según el Decreto Supremo 24176 (1995).

Parámetro	Límites máximos permisibles	
	Fuentes superficiales	Alcantarillado
pH	6.5 - 9.0	6.0 – 9.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	100 mg/	500 mg/
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	250 mg/	1,000 mg/
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	50 mg/	500 mg/
Grasas y Aceites	30 mg/	100 mg/
Cromo Total	0.5 mg/	2 mg/
Sulfuros	1 mg/	1 mg/
Fenoles	0.5 mg/	1 mg/

Nota. Datos tomados del Decreto Supremo N.° 24176 de 1995 (MMAyA, 1995).

En Bolivia todas las curtiembres deben obtener un permiso emitido por el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) para poder realizar sus vertimientos de manera legal (MMAyA, 1995).

Ecuador

En Ecuador cuenta con cuatro zonas representativas en donde se realiza la actividad de curtido de pieles, se caracterizan por ser áreas industriales cercanas a ciudades importantes donde hay una mayor demanda de productos derivados del cuero (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2013). Quito, Guayaquil, Ambato y Cuenca son ciudades principales en donde operan curtiembres que fabrican productos como zapatos, bolsos y otros artículos de cuero.

La normatividad ambiental aplicable a los límites máximos permisibles de curtiembres en Ecuador está regida por la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE) INEM1108 (INEM,2013), Algunos límites máximos permisibles relevantes que deben cumplir las curtiembres son:

- **pH:** 6 - 9.
- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5):** ≤ 50 mg/.
- **Demanda química de oxígeno (DQO):** ≤ 150 mg/.
- **Sólidos suspendidos totales (SST):** ≤ 50 mg/.

España

Las curtiembres en España se encuentran en siete ciudades, Cataluña, Valencia, Castilla, Andalucía, Aragón, la Rioja y País vasco, estas zonas se caracterizan por la cercanía de Ríos e industrias curtidoras conexas, lo que facilita, la comercialización de productos similares. (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [MITECO], 2020).

Las curtiembres en España, son regidas por una combinación de normativas nacionales y de la Unión Europea, estas normas establecen los límites permisibles de contaminación y las condiciones para el manejo de aguas residuales, la

Tabla **2** presenta las normas de la Unión Europea que son aplicables para las actividades de curtido y preparado de pieles (Parlamento Europeo, 2000, 2006, 2010).

Tabla 2

Normas de la Unión Europea aplicables a las curtiembres

Normatividad	Aplicación
Directiva marco del Agua (2000/60/CE)	Requiere que los Estados Miembros, incluida España, garanticen que los vertimientos de industrias como las curtiembres no afecten la calidad de las masas de agua.
Directiva de Emisiones Industriales (2010/75/UE)	Establece las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) para el sector del curtido de pieles. Obliga a las curtiembres a reducir los contaminantes como cromo, sulfuros, sólidos suspendidos y materia orgánica en sus vertimientos.
Directiva 91/271/CEE sobre el Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas	Establece las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) para el sector del curtido de pieles. Obliga a las curtiembres a reducir los contaminantes como cromo, sulfuros, sólidos suspendidos y materia orgánica en sus vertimientos.
Reglamento REACH (1907/2006/CE)	Controla el uso de sustancias químicas peligrosas, como cromo hexavalente, utilizadas en las curtiembres.

Nota. Datos tomados del Parlamento Europeo (2000, 2006, 2010).

Por otro lado, la normativa nacional en España establece regulaciones adicionales para la industria curtidora, como se muestra en la Tabla 3 (MITECO, 2015).

Tabla 3

Normatividad nacional para las curtiembres de España

Normatividad	Aplicación
Ley de Aguas (Real Decreto Legislativo 1/2001)	Obliga a las curtiembres a obtener autorización de vertimiento y a cumplir con los parámetros establecidos en los Planes Hidrológicos de Cuenca.
Real Decreto 817/2015	Incluye parámetros específicos para sustancias prioritarias, como el cromo y otros metales pesados.
Normas de Mejores Técnicas Disponibles (MTD)	Las MTD para curtiembres están detalladas en el documento de referencia de la UE para industrias del curtido de pieles (BREF).
Normas de Vertimientos de Alcantarillado	Las administraciones locales pueden establecer límites específicos para vertimientos en sistemas de alcantarillado, según la capacidad de las plantas de tratamiento municipales.

Nota. Datos tomados de MITECO (2015).

Las curtiembres en España deben cumplir con límites estrictos en parámetros como la DBO, DQO, sulfuros, sólidos suspendidos totales (SST), grasas y aceites, así como cromo total y hexavalente (MITECO, 2020).

Italia

La norma técnica aplicable a los vertimientos generados por las curtiembres de Italia es el Decreto Legislativo 152/2006, más conocido como Normas en materia ambiental, esta norma establece los límites máximos permisibles para diversos contaminantes en los efluentes industriales incluyendo las curtiembres (Ministero della Transizione Ecologica [MITE], 2006).

Las autoridades regionales pueden establecer regulaciones más estrictas dependiendo de las condiciones ambientales y la capacidad de las plantas de tratamiento locales (MITE, 2006). La Tabla 4 muestra los límites máximos permisibles en Italia.

Tabla 4

Límites máximos permisibles para vertimientos en curtiembres de Italia

Parámetro	Límites Máximo Permisible
DQO	160 mg/
DBO	40 mg/
SST	80mg/
Cromo total	1,5mg/
Cromo VI	0,2mg/
Sulfuros	1mg/
Amoniaco	15mg/

Nota. Datos tomados del Decreto Legislativo 152/2006 (MITE, 2006).

Las curtiembres en Italia gestionan sus aguas residuales, de manera eficiente mediante la implementación de plantas de tratamiento colectivas en distritos industriales especializados. Estas plantas tratan tanto efluentes industriales como aguas residuales urbanas, optimizando recursos y garantizando el cumplimiento de las normatividades ambientales. Un ejemplo claro es la planta de tratamiento de Aquiaro, ubicada en Santa Croce, la cual 4,5 millones de metros cúbicos de agua al año, con una proporción del 75% del efluente industriales y el 25% restante de origen urbano. (Ropa Limpia, 2017).

Los procesos de tratamiento implementados en estas plantas colectivas son:

- **Tratamientos físico-químicos:** Para la eliminación de sólidos suspendidos y metales pesados.

- **Tratamientos biológicos:** Que pueden ser aeróbicos o anaeróbicos, destinados a la degradación de materia orgánica.
- **Tecnologías avanzadas:** Como la granulación aerobia, que ha sido objeto de estudios piloto en Italia y otros países europeos, mostrando resultados prometedores en la mejora de la eficiencia del tratamiento de efluentes industriales.

Finalmente, las curtiembres en Italia presentan similitudes con la situación de las curtiembres en San Benito, especialmente en cuanto a los retos normativos, las dificultades técnicas y los desafíos económicos. Sin embargo, el modelo italiano podría servir como referencia para mejorar la gestión de aguas residuales en San Benito. La implementación de plantas de tratamiento colectivas permitiría reducir costos de infraestructura y aumentar la eficiencia en el tratamiento de los efluentes. Además, la adopción de tecnologías avanzadas, como el sistema Foto-Fenton o la granulación aerobia, podría optimizar el proceso de depuración, garantizando el cumplimiento normativo y minimizando el impacto ambiental.

5.1.2. Contexto nacional

La gran mayoría de curtiembres que se encuentran en Colombia se caracteriza por estar distribuidas entre pequeñas y mediana empresas y por una reducida actualización tecnológica, lo que trae como consecuencia implicaciones del no cumplimiento de las normas (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca [CAR], 2013. En la actualidad, la mayor concentración de curtiembres se encuentra en el

departamento de Cundinamarca y Bogotá, seguido por Nariño, Quindío, valle del Cauca, Antioquia, Atlántico, Bolívar y Risaralda (CAR, 2013).

Lo característico del sector curtidor, es que comúnmente suele estar consolidado en pequeñas zonas rurales o urbanas, como es el caso de las curtiembres que se ubican en Villa pinzón y Choconta (Cundinamarca), San Benito (Bogotá) y La María (Quindío). donde se encuentran grupos significativos de curtiembres.

Villa Pinzón y Chocontá

Los municipios de Villa Pinzón y Choconta se encuentran ubicados al nor-orienté del departamento de Cundinamarca, se data que en los años 50 se dio inicio de las actividades de curtido de pieles en estos municipios (CAR, 2019) según reportes de la CAR en 2019 aproximadamente 110 empresas se encontraban realizando actividades productivas, y menos del 70% de estas curtiembres se encuentran certificadas y cumpliendo con toda la normatividad ambiental vigente.

Los vertimientos que genera el sector curtidor de Villa Pinzón y Choconta, llegan directamente al Río Bogotá, cuando las empresas no cuentan con tecnologías o sistemas que reduzcan la contaminación de las aguas que son utilizadas en el proceso (CAR, 2019), estas generan un impacto negativo sobre el Río Bogotá

Esta contaminación ha sido un problema ambiental significativo, lo que llevó a que en la Sentencia 479 de 2014, se incluyeran obligaciones específicas para la recuperación

del río Bogotá, dirigidas a los curtidores de Villa Pinzón, Chocontá y San Benito (Bogotá) (Consejo de Estado, 2014).

Armenia - Quindío

En el departamento del Quindío, las curtiembres se encuentran ubicadas en la vereda La María, en Calarcá, donde operan aproximadamente entre 10 y 15 empresas (SigmaDAF Clarifiers, 2021). Los vertimientos generados por estas curtiembres contienen altas concentraciones de materia orgánica biodegradable, nitrógeno, curtientes sintéticos, grasas y colorantes, lo que representa un desafío ambiental significativo (Asocurtidores La María, 2021).

Para gestionar y cumplir con la normativa ambiental, se creó la Asociación de Curtidores La María (Asocurtidores), que implementó una planta de tratamiento de aguas residuales colectiva para procesar los vertimientos generados en el sector (Gobernación del Quindío, 2021). Este sistema emplea tratamientos biológicos y químicos para reducir la carga contaminante y asegurar el cumplimiento de la normatividad ambiental vigente (Asocurtidores La María, 2021).

5.2. Marco conceptual.

Curtiembre: se refiere al proceso de transformación de las pieles de animales, especialmente de vacas, caballos, cerdos, cabras y ovejas, en cuero a través de una serie de tratamientos químicos y físicos. El objetivo es preservar y mejorar las

propiedades de la piel, como la durabilidad, la flexibilidad y la resistencia a la descomposición, para su uso en la fabricación de productos como zapatos, bolsos, muebles, ropa, entre otros.

Curtición de pieles: es el proceso industrial mediante el cual las pieles de animales se transforman en cuero, un material más duradero, flexible y resistente a la perfección.

Pelambre de pieles: es una etapa del proceso de transformación de pieles animales en cuero, que tiene como objetivo eliminar el pelo o pelaje de la piel antes de que se someta al proceso de curtido. Este paso es crucial para preparar la piel para las siguientes etapas del tratamiento, como el curtido, el teñido y el acabado final.

Sulfato básico de cromo: es un compuesto químico que contiene cromo en su estado de oxidación +3, junto con un anión de sulfato. Su fórmula química específica es $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$.

Cal: se refiere al **hidróxido de calcio** ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), un compuesto químico que se utiliza en varias etapas de las curtiembres. En el tratamiento de pieles.

Sulfuro de sodio: es un compuesto químico formado por sodio y azufre, generalmente presentado en forma de un sólido blanco o grisáceo, que se disuelve fácilmente en agua para formar una solución alcalina. Este compuesto tiene varias aplicaciones industriales, incluyendo su uso en el proceso de curtido de pieles.

En el contexto de la curtiduría de pieles, el sulfuro de sodio se utiliza principalmente en el proceso de pelambre para ayudar a eliminar el pelo y otros materiales orgánicos de las pieles animales.

Tratamiento de aguas: es el conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos diseñados para purificar el agua, eliminando o reduciendo los contaminantes presentes, con el fin de hacerla apta para el consumo humano, la industria, la agricultura o su retorno seguro al medio ambiente.

Vertimientos: hace referencia al desprendimiento o liberación de aguas residuales, pluviales o industriales en cuerpos de agua como ríos, lagos, mares o en sistemas de drenaje. Los vertimientos pueden ser tanto de aguas tratadas como no tratadas, y su impacto en el medio ambiente depende de la calidad del agua vertida y de los contaminantes que contiene.

Agua Residual Doméstica: El agua residual doméstica es el agua que se genera a partir del uso de agua en actividades cotidianas dentro de los hogares. Esta agua proviene de las instalaciones sanitarias, de cocina, lavandería, duchas, y otros servicios domésticos.

Agua Residual No Doméstica: El término agua residual no doméstica se refiere a las aguas residuales que provienen de actividades no domésticas, es decir, de fuentes que no están relacionadas con el consumo de agua en hogares o residencias privadas. Estas aguas generalmente provienen de procesos industriales, comerciales, agrícolas o institucionales, y pueden contener una variedad de contaminantes, dependiendo de la actividad que las genere.

Tratamiento primario: también conocido como tratamiento físico-químico, es una etapa del proceso de depuración de aguas residuales que tiene como objetivo la remoción de sólidos suspendidos, materiales flotantes y algunos contaminantes

orgánicos disueltos, a través de métodos principalmente físicos y químicos. Esta fase busca reducir la carga contaminante del agua antes de que pase a los tratamientos secundarios o avanzados.

Tratamiento secundario: es una etapa del proceso de depuración que se centra en la eliminación de materias orgánicas biodegradables y contaminantes disueltos que no fueron eliminados en el tratamiento primario. Este tratamiento se basa principalmente en procesos biológicos que utilizan organismos vivos (como bacterias y otros microorganismos) para descomponer la materia orgánica en el agua.

Tratamiento terciario: es la última etapa del proceso de tratamiento de aguas, cuyo objetivo es eliminar los contaminantes restantes que no fueron completamente eliminados en las etapas anteriores (tratamiento primario y secundario). Este tratamiento se aplica a aguas que ya han sido parcialmente depuradas y tiene como finalidad mejorar aún más la calidad del agua para cumplir con estándares ambientales más estrictos o para permitir su reutilización, especialmente en aplicaciones donde se requiere un agua de muy alta calidad.

pH: es una medida acidez o alcalinidad de una sustancia de una solución. Se refiere a la concentración de iones hidrógeno (H^+) presentes en un líquido, y es una escala que va desde 0 hasta 14.

DBO: La Demanda Bioquímica de Oxígeno es una medida de la cantidad de oxígeno que los microorganismos presentes en el agua consumen para descomponer materia orgánica en condiciones específicas de temperatura y tiempo. Esta medida es

un indicador de la contaminación orgánica en cuerpos de agua, como ríos, lagos o aguas residuales.

DQO: La Demanda Química de Oxígeno es una medida de la cantidad de oxígeno necesario para oxidar químicamente las sustancias presentes en una muestra de agua, que pueden ser orgánicas o inorgánicas. A diferencia de la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), que solo mide el oxígeno requerido por microorganismos para descomponer materia orgánica, la DQO incluye todos los compuestos que pueden ser oxidados químicamente, no solo los compuestos biodegradables.

Tratamiento preliminar: es la primera etapa en el proceso de tratamiento de aguas residuales o de aguas potables. Su objetivo principal es preparar el agua para las siguientes fases de tratamiento, eliminando los contaminantes más grandes y fáciles de remover que podrían interferir con las etapas posteriores del proceso, como la coagulación, filtración o desinfección.

Fenton: El proceso Fenton es un tratamiento avanzado de aguas que utiliza una reacción de oxidación para eliminar contaminantes orgánicos presentes en el agua. Este proceso se basa en la generación de radicales hidroxilo ($\bullet\text{OH}$) altamente reactivos, que son capaces de descomponer una amplia gama de compuestos orgánicos, incluidos aquellos difíciles de tratar por métodos convencionales.

Foto-Fenton: es una variación del proceso Fenton que utiliza la radiación ultravioleta (UV) para mejorar la eficiencia del tratamiento de aguas contaminadas. Al igual que el proceso Fenton convencional, el Foto-Fenton se basa en la generación de radicales hidroxilo ($\bullet\text{OH}$) mediante la reacción de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y sales

de hierro (II), pero en este caso, la radiación UV acelera la reacción y aumenta la formación de estos radicales, lo que mejora la oxidación de contaminantes orgánicos.

Sulfato ferroso: es un compuesto químico utilizado en el tratamiento de aguas, especialmente en la eliminación de impurezas y metales pesados, como el arsénico, y en el tratamiento de aguas residuales.

Peróxido de hidrógeno: El peróxido de hidrógeno (H_2O_2) es un compuesto químico formado por dos átomos de hidrógeno y dos de oxígeno. A temperatura y presión normales, es un líquido incoloro que tiene propiedades oxidantes y desinfectantes, lo que lo convierte en una sustancia muy útil en diversos campos, incluido el tratamiento de aguas.

Usos del peróxido de hidrógeno en el tratamiento de aguas:

Desinfección:

- El peróxido de hidrógeno tiene una potente acción oxidante, por lo que se utiliza como desinfectante en el tratamiento de aguas para eliminar microorganismos patógenos, como bacterias, virus y hongos. Su acción es más efectiva en aguas contaminadas que requieren desinfección sin la necesidad de dejar residuos peligrosos, ya que se descompone en oxígeno y agua.

Eliminación de contaminantes orgánicos:

- En el tratamiento de aguas residuales o industriales, el peróxido de hidrógeno se utiliza para descomponer compuestos orgánicos complejos,

como aceites, grasas y productos químicos orgánicos. Este proceso de oxidación ayuda a reducir la carga contaminante en las aguas.

Tratamiento de olores:

- El peróxido de hidrógeno puede ayudar a reducir los olores desagradables en el agua, especialmente aquellos causados por compuestos azufrados o compuestos orgánicos volátiles, debido a su capacidad para oxidar estas sustancias.

5.3. Estado del arte

Las curtiembres a nivel mundial representan un gran reto ambiental, debido a los impactos que generan en el recurso hídrico a través de sus vertimientos industriales (Ilibay, 2021). Para mitigar estos efectos, diversos estudios han analizado diferentes tratamientos de aguas residuales empleados en la industria curtidora en Colombia, con el objetivo de reducir su impacto ambiental y lograr el cumplimiento de la normativa vigente (Mosquera, 2022).

En Colombia, la regulación de vertimientos a fuentes superficiales y alcantarillado está establecida en la Resolución 631 de 2015, expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS, 2015). Esta normativa establece los límites máximos permisibles para cada sector productivo que genere vertimientos industriales.

Las aguas residuales de la industria curtidora se caracterizan por tener altas concentraciones de DBO, DQO (Ilibay, 2021) así como sulfuro, cromo y cloruros

(Mosquera, 2022) por esta razón, los sistemas de tratamiento deben estar diseñados para la reducción específica de estos parámetros.

Varios autores coinciden en que el tratamiento de las aguas de curtiembres debe realizarse por separado, según sus dos corrientes de agua principales: Riviera y curtido, evitando así la mezcla de efluentes que podrían generar gas sulfhídrico como subproducto (Salas, 2020).

En Colombia, la mayoría de curtiembres son pequeñas y medianas empresas (PyMEs), lo que limita su capacidad para implementar sistemas de tratamiento avanzados debido a altos costos de operación e inversión. Como resultado, muchas empresas utilizan sistemas convencionales de tratamiento basados en procesos preliminares y primarios (fisicoquímicos), que buscan reducir la carga contaminante antes del vertimiento final.

Las investigaciones sobre el tratamiento de aguas residuales en curtiembres se han enfocado en la evaluación de la eficiencia de remoción de los sistemas primarios. Por ejemplo, Pinilla (2014) evaluó la precipitación de cromo y la reducción de DQO y DBO mediante coagulación y floculación en curtiembres de San Benito. Sus resultados mostraron concentraciones finales de 0,076 mg/ de Cromo Total, 180 mg/ de DQO y 91 mg/ de DBO, cumpliendo el 100% de la normativa vigente en ese momento (Resolución 1074 de 1997).

Por su parte, Contreras y Suárez (2019) analizaron el tratamiento primario con coagulación y floculación, utilizando un coagulante convencional (BDC09610T), logrando una reducción del 70% de la DQO en las muestras tratadas.

Otro tratamiento estudiado en la industria curtidora es la electrocoagulación, la cual consiste en la aplicación de corriente eléctrica a través de electrodos de aluminio o hierro para generar iones metálicos que faciliten la remoción de contaminantes. Córdoba Adame y Vera Solano (2019) concluyeron que este proceso puede lograr remociones superiores al 90% en DQO, Cromo, Fosfatos, Turbidez y Color, asegurando el cumplimiento normativo ambiental. Sin embargo, resaltaron que el alto consumo energético representa una desventaja económica significativa.

Manrique Beltrán y Laguna Grajales (2014) investigaron el uso de electrocoagulación en curtiembres del Barrio San Benito, encontrando que este tratamiento por sí solo no garantiza el cumplimiento de los límites exigidos por la Resolución 3957 de 2009. Recomendaron, por lo tanto, la implementación de sistemas complementarios para mejorar la eficiencia del proceso.

A partir del análisis de estos estudios, se destaca la importancia de implementar un conjunto de tecnologías complementarias para garantizar la remoción eficiente de todos los contaminantes exigidos por la normatividad ambiental colombiana. En este sentido, la presente sistematización de experiencia presenta como ventaja la integración

de tratamientos preliminares, primarios, secundarios y terciarios, asegurando el cumplimiento del 100% de los estándares normativos y minimizando el impacto ambiental en la cuenca del río Tunjuelo.

5.4. Marco normativo

Las normas aplicables a la actual sistematización de experiencia son planteadas en la siguiente tabla.

Tabla 5

Normas aplicables a la sistematización de experiencia: implementación del Sistema Foto-Fenton en la Curtiembre Fernando Blandón

NORMATIVIDAD	DESCRIPCIÓN
Ley 99 de 1993	Creó el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y estableció el marco general de la política ambiental en Colombia. Incluye regulaciones sobre el uso de los recursos naturales y sanciones ambientales.
Decreto 1609 de 2002	Regula el manejo y transporte de sustancias peligrosas, aplicable a los reactivos usados en el proceso Foto-Fenton, como el peróxido de hidrógeno y el sulfato ferroso.
Resolución 1362 de 2007	Regula la gestión de residuos peligrosos, que puede ser relevante si el proceso de tratamiento genera lodos con metales pesados u otros desechos peligrosos.
Resolución 2115 de 2007	Establece los requisitos de calidad del agua para consumo humano. Su relación con el tratamiento Foto-Fenton se da en el contexto de la mejora de la calidad del agua tratada.
Resolución 372 de 2009	Controla el uso de sustancias químicas peligrosas y su impacto ambiental, aplicable al manejo de reactivos en la industria curtidora.
Resolución 3957 de 2009	Norma técnica para el control y manejo de los vertimientos al alcantarillado público en Bogotá D.C., fijando concentraciones máximas permitidas.
Ley 1333 de 2009	Regula el procedimiento sancionatorio ambiental y establece medidas para el cumplimiento de la normatividad ambiental.

Decreto 3930 de 2010	Reglamenta el uso del agua y los vertimientos líquidos en Colombia, estableciendo lineamientos para el control de la contaminación hídrica.
Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico - 2010	Establece estrategias para la conservación del recurso hídrico, el control de la demanda, la mejora de la calidad del agua y la gestión de riesgos ambientales.
Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC, 2012)	Incluye estrategias para el manejo sostenible del recurso hídrico y el control de la contaminación en el marco del cambio climático.
Resolución 631 de 2015	Define los parámetros y límites máximos permisibles para vertimientos industriales en cuerpos de agua y alcantarillados públicos.
Decreto 1076 de 2015	Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, compila la normatividad existente sobre gestión del agua y control de vertimientos, complementando el Decreto 3930 de 2010 y la Resolución 631 de 2015.

Nota. Datos tomados y adaptados de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS, 2015) y otras normativas ambientales vigentes en Colombia.

En ese orden de ideas el Artículo 13. De la resolución 631 de 2015 estima los parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores máximos permisibles de las Aguas Residuales no Domésticas generadas por las actividades asociadas con fabricación y manufactura de bienes, categoría en la que entra las actividades transformación de pieles (curtiembres), la Tabla 6 muestra los parámetros y sus límites máximos permisibles que deben ser analizados para la industria del cuero en la ciudad de Bogotá.

Tabla 6

Límites máximos permisibles para vertimientos para actividades de manufactura establecidos por la resolución 631

PARAMETROS	UNIDADES	FABRICACIÓN DE ARTICULOS DE PIELES, CURTIDO Y ADOBO DE PIELES
Generales		
pH	Unidades de pH	6 a 9
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l O ₂	1200
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)	mg/l O ₂	600
Solidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	600
Solidos Sedimentable (SSED)	mg/l	2
Grasas y aceites	mg/l	60
Fenoles	mg/l	
Sustancias Activas al Azul de metileno	mg/l	Análisis y Reporte
Hidrocarburos		
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/l	10
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	mg/l	Análisis y Reporte
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xileno)	mg/l	Análisis y Reporte
Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)	mg/l	Análisis y Reporte
Compuestos de Fosforo		
Ortofosfatos	mg/l	Análisis y Reporte
Fosforo Total	mg/l	Análisis y Reporte
Compuestos de Nitrógeno		
Nitratos	mg/l	Análisis y Reporte
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	Análisis y Reporte
Nitrógeno Total	mg/l	Análisis y Reporte
Iones		

Cloruros	mg/l	3000
Sulfatos	mg/l	Análisis y Reporte
Sulfuro	mg/l	3
metales y metaloides		
Cromo	mg/l	1,5
Otros parámetros para análisis y reporte		
Acides Total	mg/l CaCO ₂	Análisis y Reporte
Alcalinidad Total	mg/l CaCO ₂	Análisis y Reporte
Dureza Cálcica	mg/l CaCO ₂	Análisis y Reporte
Dureza Total	mg/l CaCO ₂	Análisis y Reporte
Color Real	m ⁻¹	Análisis y Reporte

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015.

Adicionalmente la Secretaria Distrital de Ambiente – SDA como autoridad encargada del control y vigilancia del Distrito, y por principio de precaución requiere a los usuarios el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en la resolución 3957 del 2009 “por la cual se establece la norma técnica, para el control y manejo de los vertimientos realizados a la red de alcantarillado público en el Distrito Capital.

6. Metodología

Para la elaboración de esta sistematización de experiencia sobre el diseño, puesta en marcha y evaluación del cumplimiento normativo del sistema de tratamiento de aguas residuales implementado en la empresa Curtiembres Fernando Blandón, se tuvo en cuenta la metodología planteada por Oscar Jara (2018). Esta metodología plantea dos fases, la Figura 1. describe las fases de la sistematización de experiencia:

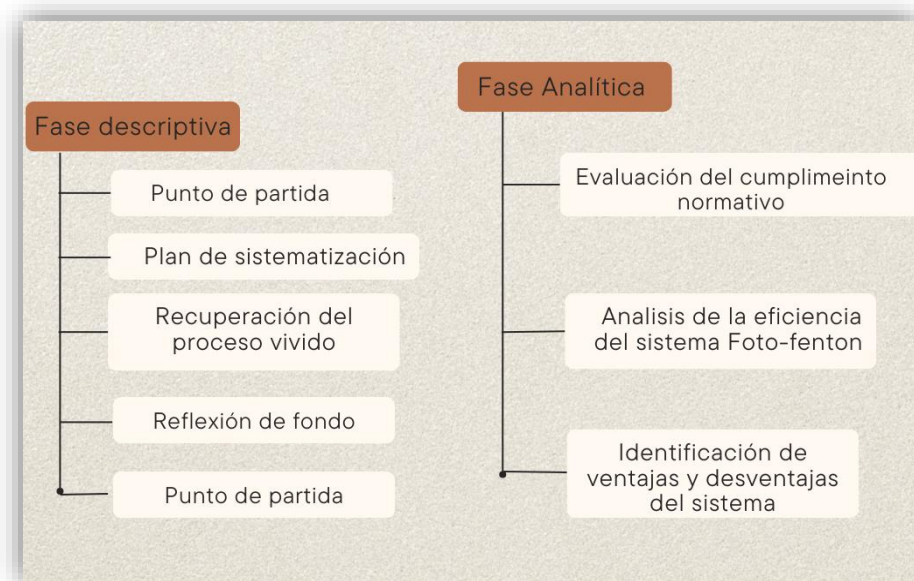


Figura 1

Fases de la sistematización de experiencia

6.1. Fase descriptiva

Para el desarrollo de la fase descriptiva se tuvieron en cuenta las 5 etapas relacionadas al enfoque sugerido por Oscar Jara, adicionalmente se revisó la metodología utilizada por Torres y Sánchez (2022), en su proyecto de grado para optar como especialistas en Ordenamiento y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas “Sistematización de la experiencia: implementación del Decreto 1210 del 2020 en la Regional Valles de San Nicolás de la Corporación Autónoma Regional CORNARE”,

6.1.1. Punto de partida: la experiencia

Esta primer etapa requiere que alguno de los participantes de la sistematización de experiencia haya participado en la ejecución del proyecto a sistematizar, por esta razón y teniendo en caso específico del presente proyecto la información utilizada en la sistematización de experiencia fue suministrada y aprobada por el representante legal de la empresa Curtiembres Fernando Blandón, adicionalmente el autor del presente documento hizo parte integro de la ejecución del proyecto realizado en la Curtiembre Fernando Blandón

6.1.2. Formular un plan de sistematización

Para esta etapa pretendemos responder los tres principales interrogantes planteados por Jara (2018), el primero es ¿para qué queremos sistematizar?, el segundo ¿Qué experiencias queremos sistematizar? el tercero ¿Qué aspectos centrales de esas experiencias nos interesa sistematizar? y el cuarto ¿qué fuentes de información tenemos o necesitamos?

6.1.3. Recuperación del proceso vivido

Jara (2018), reporta que en esta etapa se deben incluir mínimo dos tareas específicas que son: reconstruir la historia de la experiencia y ordenar y clasificar la información.

Para cumplir la primera tarea se evaluó la información técnica disponible con la que cuenta Curtiembres Fernando Blandón, a continuación, se presenta la Tabla 7 en la que se resumen la información utilizada en la actual sistematización de experiencia.

Tabla 7

Información técnica disponible utilizada en la sistematización de experiencia

Nombre de la información	Contenido	Emisor	Fecha
Tramite solicitud permiso de vertimientos	▪ Formulario único nacional de solicitud de permiso de vertimientos. ▪ Costos del proyecto ▪ Fuentes de abastecimiento ▪ Planos hidráulicos y de detalle ▪ Caracterización de vertimientos de las aguas no Domésticas ▪ Memorias técnicas y diseños de ingeniería conceptual ▪ Constancia de pago por concepto de evaluación de solicitud de permiso de vertimientos	Curtiembres Fernando Blandón	18/11/2015

Resolución 2015 por la cual se otorga permiso de vertimientos a Curtiembres Fernando Blandón	Aspectos técnicos y jurídicos evaluados para la obtención del permiso de vertimientos para curtiembres Blandón	Secretaria Distrital de Ambiente	23/08/2017
Memorias técnicas y diseño de ingeniería conceptual de la actualización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales - PTAR de Curtiembres Fernando Blandón	▪ Costos del proyecto ▪ Planos hidráulicos y del sistema de tratamiento implementado en la empresa ▪ Memorias técnicas y diseños de ingeniería conceptual y básica del sistema de tratamiento de la empres	Curtiembres Fernando Blandón	20/11/2017
Caracterizaciones de los vertimientos de la PTAR	Caracterización de los vertimientos de la PTAR	Curtiembres Fernando Blandón	17/12/2017 y 23/08/2018

Nota. Elaboración propia.

Después de realizar una evaluación de la información disponible, se ordenó y clasifico de acuerdo a la pertinencia y/o relación directa con el objeto principal de la presente sistematización.

6.1.4. Las reflexiones de fondo.

Después de pasar por las anteriores etapas y analizando desde una posición crítica lo vivido y basándose en la propia experiencia, se realiza una reflexión que pretende descubrir en términos generales que fue lo que paso en el transcurso de la experiencia. Identificando las ventajas y desventajas que trajo consigo la implementación del sistema de tratamiento de aguas de la empresa y verificando los cumplimientos normativos que propenden el cuidado y conservación de la cuenca hidrográfica.

6.1.5. Puntos de llegada

Esta etapa pretende plantear las conclusiones y recomendaciones de la sistematización de experiencia del diseño, puesta en marcha y evaluación del cumplimiento normativo de la PTAR tipo Foto-Fenton implementada en Curtiembres Fernando Blandón, presentando propuestas que busque las mejoras de la calidad del agua que llega a la cuenca hidrográfica del Río Tunjuelo

6.2. Fase analítica.

Esta constituye la fase en la que se analiza la información técnica disponible del proyecto, para esto revisaremos específicamente las memorias técnicas y diseños de ingeniería conceptual de la PTAR tipo Foto-Fenton de la empresa, también evaluaremos las caracterizaciones de vertimientos realizada a la PTAR y por último tendremos en cuenta la normatividad establecida por las autoridades ambientales competentes.

6.2.1. Evaluación del cumplimiento Normativo.

Para evaluar el cumplimiento normativo de las aguas residuales tratadas mediante el sistema Foto-Fenton, se considerarán los parámetros establecidos en la Resolución 631 de 2015 y la Resolución 3957 de 2009, específicamente para la actividad de curtido y preparado de pieles.

La documentación base para esta evaluación incluye las caracterizaciones de vertimientos realizadas el 18 de diciembre de 2017 y el 23 de agosto de 2018. A través del análisis de estos datos, se determinará si el sistema de tratamiento cumple con los límites permisibles establecidos en la normativa ambiental vigente.

6.2.2. Análisis de la eficiencia del sistema Foto-Fenton

El análisis de la eficiencia del sistema Foto-Fenton es un paso fundamental para evaluar su desempeño, garantizar el cumplimiento normativo y optimizar su funcionamiento. Con la información disponible se establece la eficiencia de remoción, y se puede determinar si esta tecnología es una alternativa viable para las curtiembres y otras industrias con problemas de contaminación en sus vertimientos.

6.2.3. Identificación de ventajas y desventajas del sistema

La identificación de las ventajas y desventajas de la implementación del sistema Foto-Fenton permite evaluar su viabilidad en términos de eficiencia, costos y operatividad. Además, facilita la comparación con otras tecnologías de tratamiento de aguas residuales y la optimización del proceso, ajustando variables clave como el pH, la dosis de reactivos y el tiempo de reacción. Finalmente, este análisis proporciona información fundamental para la toma de decisiones estratégicas sobre su posible implementación en otras industrias.

7. Resultados

7.1. Fase descriptiva

La experiencia en el diseño, puesta en marcha y evaluación del cumplimiento normativo del sistema de tratamiento de aguas residuales **tipo Foto-Fenton** implementado en la empresa Curtiembres Fernando Blandón, requirió de un periodo de 12 meses, el objetivo principal, era conseguir el cumplimiento normativo en materia de los vertimientos generados por la actividad productiva de curtiembre. El proyecto finalizó el 23 de agosto de 2018 con la caracterización que denotaba que la PTAR se encontraba cumpliendo la totalidad de la normatividad ambiental vigente y aplicable.

En la presente sistematización de experiencia se recolectó y utilizó la información presente en el informe técnico y de planta de tratamiento de aguas residuales en la empresa Fernando Blandón y las caracterizaciones de vertimientos realizadas el 18 de diciembre de 2017 y el 23 de agosto de 2023, adicionalmente se contó la experiencia del autor del presente documento, quien participó de manera activa en el proyecto.

7.1.1. Generalidades de la curtiembre

Curtiembres Fernando Blandón es una pequeña empresa (PYME) ubicada en el sector curtidor del barrio San Benito, en Bogotá DC Su actividad principal corresponde al código CIIU 1511, que comprende el curtido y adobo de pieles para la producción de cuero destinado a marroquinería.

La empresa cuenta con un equipo de cuatro empleados, quienes se encargan de ejecutar todas las actividades productivas y administrativas que requiere la empresa.

Durante los años 2017 y 2018, el promedio de producción mensual fue de 300 pieles procesadas.

A continuación, se presenta la Figura 2 que muestra la ubicación del barrio San Benito y su cercanía con el río Tunjuelo.

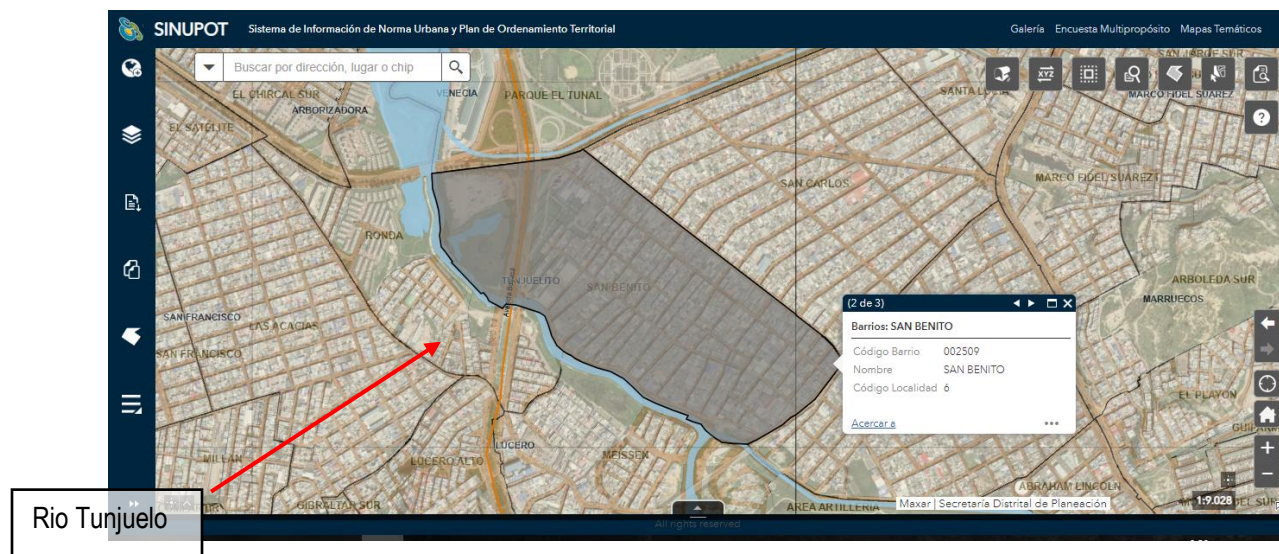


Figura 2

Ubicación del barrio San Benito (sector cortado Bogotá)

Fuente: Sinupot –Secretaría de Planeación (2025)

7.1.2. Descripción de las actividades productivas

Curtiembres Fernando Blandón, se dedica al curtido y preparado de pieles de res, sin embargo, no realiza todos los procesos que componen dicha actividad, los procesos que realiza son: el Desencale, curtido, recurtido, teñido, engrase y acabado de pieles, a

continuación, la Figura 3 presenta un esquema de las actividades llevadas a cabo en curtiembres Fernando Blandón.

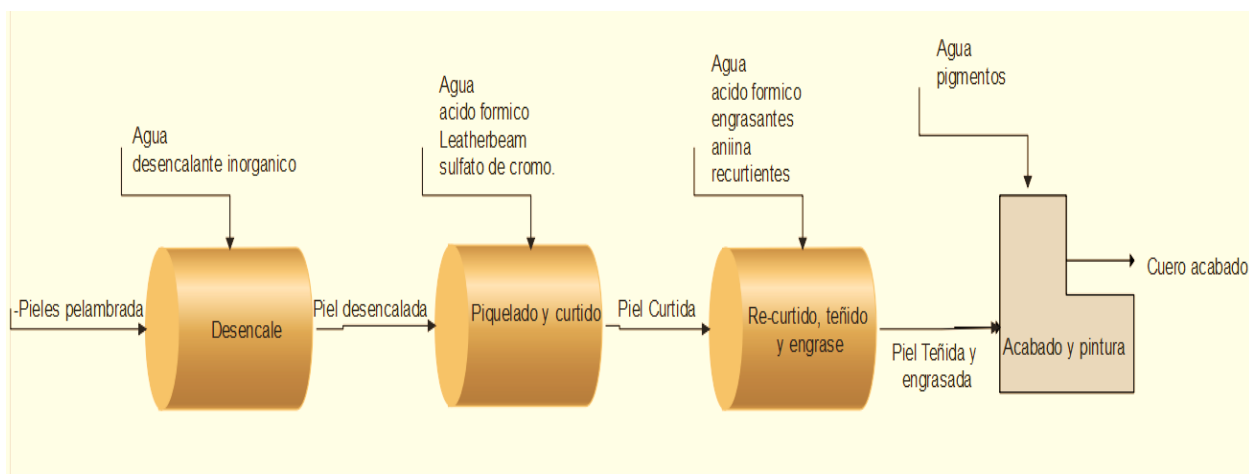


Figura 3

Descripción del proceso productivo en Curtiembres Fernando blandón

Fuente Eco-Innova Ambiental, 2017

A continuación, se presenta una descripción detallada de cada una de las actividades de Curtiembres Fernando Blandón presentes en el informe técnico y de planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa Fernando Blandón:

✓ **Desenclado**

Este proceso busca acondicionar la piel antes del proceso de curtido; su objetivo está orientado a la remoción del sulfuro de sodio y calcio presentes en la piel, neutralizar la piel y detener su hinchamiento utilizando principalmente biodesenclantes, a partir de lavados con agua y adición de reactivos químicos.

✓ **Piquelado**

El piquelado tiene como objetivo llevar las pieles al pH requerido para el curtido, el cual oscila entre 2.8 y 3.5 (final) y al mismo tiempo, detener cualquier tendencia al hinchamiento ácido. Normalmente se emplea ácido fórmico y Cloruro de sodio, sin embargo, como el parámetro de cloruro es medido en la resolución 631, se optó por remplazar el Cloruro de sodio por Leatherbeam

✓ **Curtido**

El curtido tiene el propósito de convertir las pieles en material no putrescible; a partir del uso de sulfato básico de cromo, para lo cual los agentes curtientes se fijan en las fibras de colágeno, estabilizándolas a través de uniones cruzadas, es decir, uniones químicas entre fibras.

✓ **Re-curtido**

Es un curtido suplementario del cual se obtienen las propiedades últimas para el cuero como producto final.

✓ **Teñido**

El teñido permite general color en el cuero, y por lo general se realiza en el mismo baño del re-curtido, utilizando agentes químicos como las anilinas, y empleando reactivos como agentes penetrantes. Cabe resaltar, que la composición de los tintes de complejos metálicos contiene iones de cromo.

✓ **Engrase**

Este proceso consiste en generar mayor suavidad al cuero, a partir del uso de engrasantes sintéticos y naturales.

✓ **Acabado**

El acabado como proceso final, consiste en generar al cuero mayor brillo, color y resistencia a la luz; mejorando así la calidad del mismo, mediante la incorporación de ciertos aditivos como pigmentos, ligantes acrílicos, cera, penetrante y otros.

El pintado es el proceso mediante el cual se aplica pintura por medio de spray, para dar brillo, tonalidad y color a cuero.

Es importante aclarar que la empresa ya contaba con una planta de tratamiento de aguas residuales. Estas unidades lograban reducir la concentración de diversos contaminantes, incluyendo sulfuros, grasas y aceites, DQO, DBO, SST, cromo, SSED, acidez y turbiedad. Sin embargo, la implementación del sistema de tratamiento tipo Foto-Fenton se enfocó en la eliminación de parámetros como la DQO, DBO y fenoles que las anteriores unidades de tratamiento no podían remover.

La **Figura 4** plasma todo el tren de tratamiento adoptado la Curtiembres Fernando Blandón.

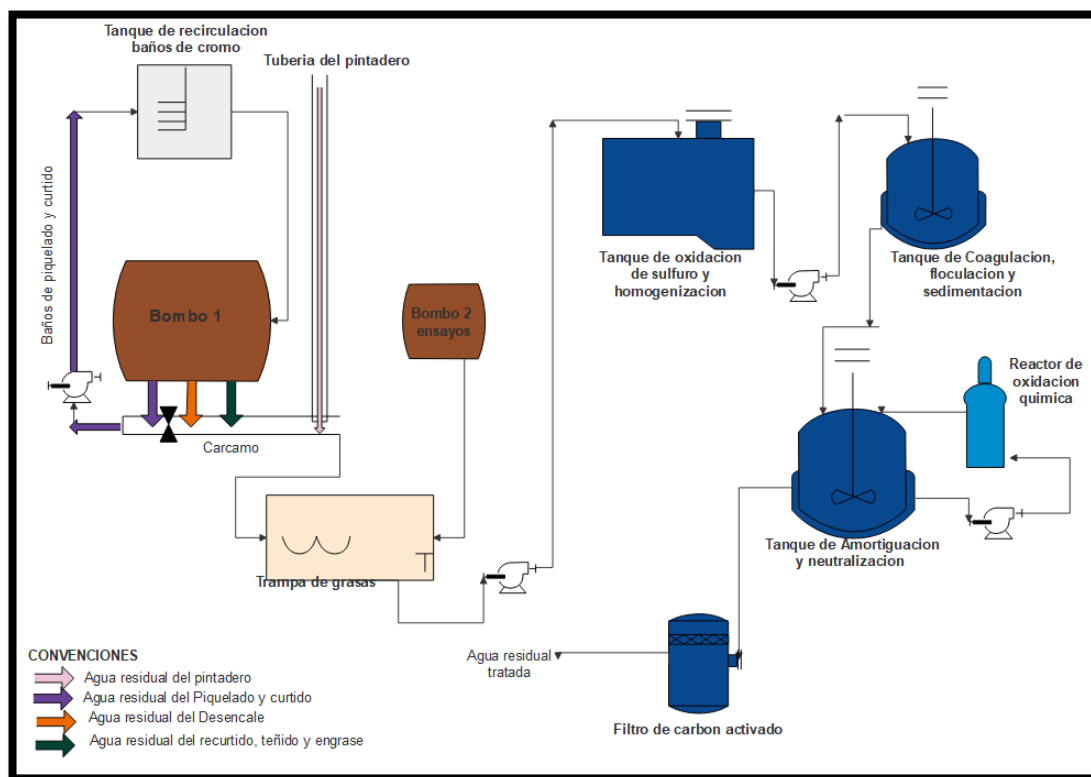


Figura 4

Tren de tratamiento de aguas residuales de Curtiembres Fernando Blandón

Fuente: Eco-innova ambiental, 2017

7.1.3. Características del agua.

A partir de la identificación de las actividades productivas, los insumos químicos y las unidades de tratamiento implementada en la empresa con anterioridad, se infiere que las aguas residuales no Domésticas generadas a partir del proceso productivo y la PTAR implementada, cuentan con los siguientes agentes contaminantes:

Fenoles

Materia orgánica expresada en (DBO y DQO)

Con la información de referencia que tiene Curtiembres Fernando Blandón, se estimó que las aguas residuales del proceso tendrían las concentraciones que se presentan en la siguiente tabla, previas a su ingreso a la planta de tratamiento de aguas.

Tabla 8

Parámetros fisicoquímicos antes de ingresar a la PTAR

Parámetro	Unidad	Valor de referencia de entrada a PTAR
Temperatura	°C	19
pH	Unidades de pH	4-5
DBO ₅	mg/	5000-3000
DQO	mg/	7000-5000
Solidos sedimentables	mg/	100
Solidos Suspendidos Totales	mg/	200
Fenoles	mg/	1
Aceites y grasas	mg/	50
Sulfuro	mg/	10
Cromo	mg/	0.31

Nota: tomado de Eco-innova ambiental, 2017

Presupuesto

Curtiembres Fernando Blandón tenía disponible un presupuesto de \$40.000.000 para la implementación del nuevo sistema de tratamiento de aguas tipo Foto-Fenton. Con este presupuesto se contemplan el diseño, construcción, montaje y puesta en marcha. (Curtiembres Fernando Blandón, 2017)

Tiempo para la ejecución del proyecto.

En la ejecución del proyecto se llevaron a cabo las siguientes etapas: diseño, construcción, montaje, puesta en marcha y evaluación de la eficiencia de la PTAR. Cada una de estas etapas requirió 12 meses, y el período de ejecución de las actividades fue desde agosto de 2017 hasta agosto de 2018.

La fase de análisis de ventajas y desventajas se realizó en el actual trabajo de grado siendo el insumo final de la sistematización de esta experiencia profesional.

Revisión normativa

El presente capítulo se centra en la normatividad ambiental aplicable a las actividades generadoras de vertimientos de interés sanitario que descargan aguas a la red de alcantarillado público, realizadas por la empresa Curtiembres Blandón, dicho esto la actividad principal de Curtiembres Blandón es el curtido y preparado de pieles cuyo CIU es el 1511. Las operaciones productivas de Curtiembres Blandón se realizaron en la ciudad de Bogotá, por ende, la autoridad competente es la Secretaría Distrital de Ambiente, y es ella la encargada de realizar las actividades de control y vigilancia en el distrito de Bogotá.

En el año 2015 entró en vigencia la resolución 631 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, esta resolución estableció los límites máximos permisibles para los vertimientos a cuerpos de agua y red de alcantarillado público o

privado a nivel nacional, por su parte la Secretaria Distrital de Ambiente – SDA remite información al usuario Curtiembres Fernando Blandón, lo siguiente:

a Secretaría Distrital de Ambiente (2017) establece en la Resolución 2015 de 2017 lo siguiente:

En aras de realizar la evaluación, control y seguimiento sobre los factores de deterioro ambiental derivados de las actividades que incidan sobre el recurso hídrico y el suelo, y en aplicación del principio de precaución, requerirá al usuario el cumplimiento de los límites máximos permisibles de los parámetros que puedan afectar la red de calidad hídrica de Bogotá. Los usuarios que, en desarrollo de sus industrias, realicen actividades de fabricación de artículos de piel, curtido y adobo de pieles, tendrán que dar cumplimiento a los límites máximos de los parámetros de la Resolución 631 de 2015 y el parámetro de fenoles establecido en la Resolución 3957 de 2009 (Secretaría Distrital de Ambiente, 2017, p. 17).

Lo que, en conclusión, determina los siguientes parámetros con sus respectivos máximos permisibles:

Tabla 9

Parámetros y límites máximos permisibles establecidos en la resolución 631 y 3957 para curtiembres

Parámetro	Unidades	Valores límites máximos permisible de referencia	Normatividad aplicable
Generales			
Temperatura	°C	30	Resolución 631
pH	Unidades de pH	5,0 a 9,0	Resolución 3957
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Unidades de pH	1500	Resolución 3957
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/	800	Resolución 3957
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/	600	Resolución 3957
Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/	2	Resolución 3957
Grasas y Aceites	mg/	90	Resolución 631
Sustancias Activas al Azul de metileno (SAAM)	mg/	10	Resolución 3957
Fenoles	mg/	0,2	Resolución 3957
Hidrocarburos			
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/	10	Resolución 631
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	mg/	Análisis y Reporte	Resolución 631
BTEX	mg/	Análisis y Reporte	Resolución 631
Compuestos Orgánicos Halogenados (AOX)	mg/	Análisis y Reporte	Resolución 631
Compuestos de Fosforo			
Fosforo Total (P)	mg/	Análisis y Reporte	Resolución 631
Ortofosfatos	mg/	Análisis y Reporte	Resolución 631
Compuestos de Nitrógeno			
Nitratos	mg/	Análisis y Reporte	Resolución 631

Nitrógeno Amoniacal	mg/	Análisis y Reporte	Resolución 631
Nitrógeno Total	mg/	Análisis y Reporte	Resolución 631
iones			
Cloruros	mg/	3000	Resolución 631
Sulfatos	mg/	Análisis y Reporte	Resolución 631
Sulfuros	mg/	3	Resolución 631
Metales y metaloides			
Cromo	mg/	1	Resolución 3957
Otros parámetros par análisis y reporte			
Acidez total	mg/	Análisis y Reporte	Resolución 631
Alcalinidad total	mg/	Análisis y Reporte	Resolución 631
Dureza cálcica	mg/	Análisis y Reporte	Resolución 631
Dureza total	mg/	Análisis y Reporte	Resolución 631
Color real	m-1	Análisis y Reporte	Resolución 631

Nota: Datos tomado y adaptados de Secretaria Distrital de Ambiente (SDA,2017)

La tabla establece la normatividad aplicable para la implementación operación y puesta en marcha de la planta de tratamiento de aguas residuales tipo Foto-Fenton de curtiembres Fernando Blandón.

7.1.4. Infraestructura y espacio disponible

Para la implementación del sistema de tratamiento tipo Foto-Fenton Curtiembres Fernando Blandón, contaba con área disponible de 9m² que se encontraba en el segundo piso de la empresa. Adicional a esto se realizó una adecuación de las redes hidráulicas y eléctricas de todo el sistema.

7.1.5. Tipos de tratamientos disponibles

Entre las tecnologías de tratamiento de aguas disponible para la mejora al sistema de tratamiento de aguas residuales presente en la curtiembre Fernando Blandón, se tuvieron en cuenta un tratamiento de aguas secundario biológico por lodos activados,

sistemas de tratamiento de aguas terciario como la electrocoagulación y la oxidación química avanzada (Foto-Fenton). La siguiente tabla relaciona las ventajas y desventajas de la implementación de cada uno de ellos.

Tabla 10

Tipos de tratamientos disponibles y sus ventajas y desventajas.

Tipo de tratamiento	Ventajas	Desventajas
Lodos activados	Eficiencia de remoción de materia orgánica Reducción de parámetros como sulfuro y nitrógeno Puede adaptarse para la remoción de ciertos metales	Alto consumo energético Producción significativa de lodos Requiere de un espacio y área significativa para su implementación No remueve parámetros como Fenoles totales
Electrocoagulación	Elimina metales pesados, sólidos suspendidos, aceites, grasas y materia orgánica. Menor uso de productos químicos	Alto consumo de energía eléctrica Desgaste y mantenimiento de electrodos Costo inicial elevado
Foto-Fenton	Alta eficiencia en la eliminación de contaminantes orgánicos Uso de reactivos disponibles y económicos Tratamiento compacto y modular	Consumo elevado de Reactivos Alta sensibilidad al pH

Nota. Datos tomados de Comisión de la Cuenca de los Ríos Amecameca y La Compañía. (s.f.), González, J. (s.f.) y Romero Guerrero, S. (s.f.).

Teniendo en cuenta esto, se determinó que la mejor opción para el tratamiento de las aguas residuales de la curtiembre Fernando Blandón fue el sistema Foto-Fenton.

Foto-Fenton: es un proceso de oxidación química avanzada utilizado para el tratamiento de aguas residuales con altas cargas de contaminantes orgánicos como la DQO y los Fenoles. La técnica consiste en la reacción de peróxido de hidrogeno (H_2O_2) con iones de hierro (Fe^{2+}) en presencia de luz ultravioleta, generando radicales hidroxilos (OH) altamente reactivos que degradan compuestos orgánicos complejos en sustancias más simples y menos tóxicas (Pignatello, Oliveros & MacKay, 2006).

Este tipo de técnica es muy eficiente en la remoción de contaminantes orgánicos, logrando obtener porcentajes de remoción que oscilan entre el 80-90% para parámetros como DQO y fenoles (Mendes Carneiro et al., 2015). Dentro de las desventajas que se asocian a este tipo de técnica se encuentran el control estricto del pH y la dosificación del catalizador, así como un costo elevado de operación debido al alto consumo de peróxido de hidrógeno.

Este tipo de proceso ha sido implementado como tratamiento de aguas residuales generadas por la industria del cuero en países como España, Italia, India, Brasil y México (Alcántara Toribio, 2023; Universidad de América, 2023). Lo anterior demuestra que se trata de una técnica que permite reducir la contaminación de las fuentes hídricas de forma eficiente y a un costo razonable.

Finalmente, la empresa Curtiembres Fernando Blandón optó por la implementación de un sistema de tratamiento tipo Foto-Fenton, ya que este lograba

reducir las concentraciones de los parámetros de DQO y fenoles. Adicionalmente, los costos de inversión no eran tan elevados en comparación con las otras técnicas y no se requería una infraestructura ni área tan compleja para la implementación del sistema.

7.1.6. Tipo de tratamiento escogido

En base a los aspectos mencionados sobre la empresa Curtiembres Blandón, se desarrolló el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales tipo Foto-Fenton para dicha compañía. Según el informe técnico titulado "Informe técnico de planta de tratamiento de aguas residuales en la empresa Fernando Blandón", el documento detalla que el objetivo principal de la implementación del sistema de tratamiento es la reducción de la carga orgánica, medida a través de los parámetros de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO5).

El sistema diseñado consta de varias unidades:

- **Tanque de amortiguación:** Este tanque recibe el agua clarificada proveniente de los procesos previos de tratamiento, como coagulación, floculación y sedimentación. En este punto, se ajusta el pH del agua y se adiciona el reactivo Fenton, compuesto por sulfato ferroso y peróxido de hidrógeno, finalmente luego de terminar el proceso de oxidación este tanque sirve para neutralizar el Ph (6-7) y continuar a la siguiente etapa que servirá para terminar de pulir el vertimiento previo a su descarga.
- **Reactor de oxidación avanzada:** Este reactor está equipado con dos lámparas UV germicidas, que emiten radiación con una longitud de onda

de 254 nm. La radiación ultravioleta ayuda a mejorar el proceso de oxidación avanzada, eliminando compuestos orgánicos y mejorando la desinfección del agua.

El proceso en conjunto permite un tratamiento eficaz de las aguas residuales, contribuyendo a la reducción de la carga orgánica y mejorando la calidad del agua tratada.

A continuación, se presentan la Tabla 11 que detalla los aspectos técnicos y de diseño adoptados para la el proceso Foto-Fenton en la empresa Curtiembres Fernando Blandón.

Tabla 11

Condiciones técnicas de sistema de tratamiento Foto-Fenton en Curtiembre Fernando Blandón

Sistema de oxidación química avanzada			
Tanque de amortiguación y neutralización			
Parámetro		Unidades	Valor
Profundidad recta:		m	1,1
Profundidad de sedimentación:		m	0,60
diámetro		m	1,52
Volumen:		m ³	2.8
Tubería de entra proveniente del tanque de coagulación, floculación y sedimentación		pulgadas	2
Tubería de recirculación	Salida	pulgadas	1 ½
	Entrada	pulgadas	3
Flautas de aireación		pulgadas	½
Diámetro de las perforaciones de la flauta de aireación		mm	5

Sistema de aireación	libras	50
Compresor de		
Tubería de salida para el filtro	pulgadas	1 ½
Tubería de recolección de lodos	pulgadas	3
Reactor de oxidación química		
Parámetro	Unidades	Valor
Profundidad recta:	m	1,3
Diámetro	m	0,6
Volumen:	m ³	0,250
Tubería de entra proveniente del tanque de amortiguación	pulgadas	1 ½
Tubería de Salida	pulgadas	3
Sistema de bombeo para la recirculación (bomba)	Hp	1
Datos técnicos lámparas UV	Marca	- Lumek
	Longitud de onda	nm 254
	Potencia	watts 30
	Altura	cm 90
	Diámetro	cm 2,6
	Nº de lámparas	unidades 2
	Vida útil	horas 5000
Tubo de cuarzo	diámetro	cm 3
	alto	m 1.23
Reactivos requeridos		- Acido fórmico
		- Sulfato ferroso (FeSO ₄ .7H ₂ O)
		- Peróxido de hidrogeno (H ₂ O ₂) 30%
		- cal
Dosificación de ácido fórmico	l/L	Hasta tener un pH de 2,5
Dosificación de (FeSO₄.7H₂O)	g/L	1 (Porto, Dantas, Jose, & peralta, muniz, 2003)
Dosificación de (H₂O₂)	g/L	15 (Porto, Dantas, Jose, & peralta, muniz, 2003)
Dosificación de Cal	Mg/	Hasta tener un pH de 7
Caudal del reactor	L/s	2.08
Caudal del sistema	L/s	0,2

TRH recirculación	Min	180 (Porto, Dantas, Jose, & peralta, muniz, 2003)
TRH neutralización	Min	30
Remoción de DQO	%	80 (Porto, Dantas, Jose, & peralta, muniz, 2003)

Nota: tomado de Eco-innova ambiental, 2017

La siguiente Figura 5 representa la operación del sistema de tratamiento de agua residuales tipo Foto-Fenton en Curtiembres Fernando Blandón.

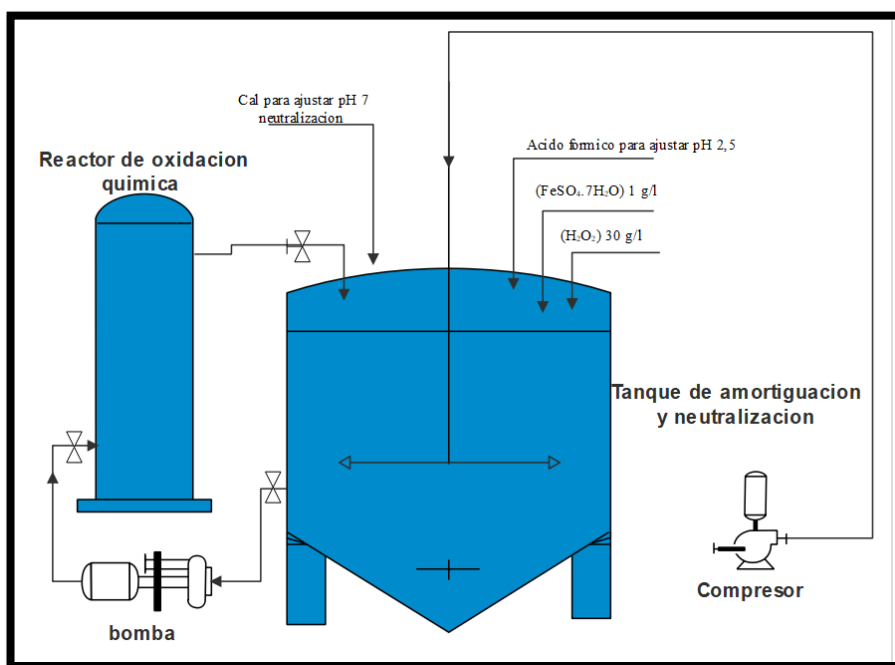


Figura 5

Esquema del Sistema Foto-Fenton y Neutralización

Fuente: Eco-innova ambiental, 2017

En la Figura 6 se presentan los planos hidráulicos y de detalle de la unidad de tratamiento de proceso Foto-Fenton adoptado en la empresa Curtiembres Fernando Blandón.

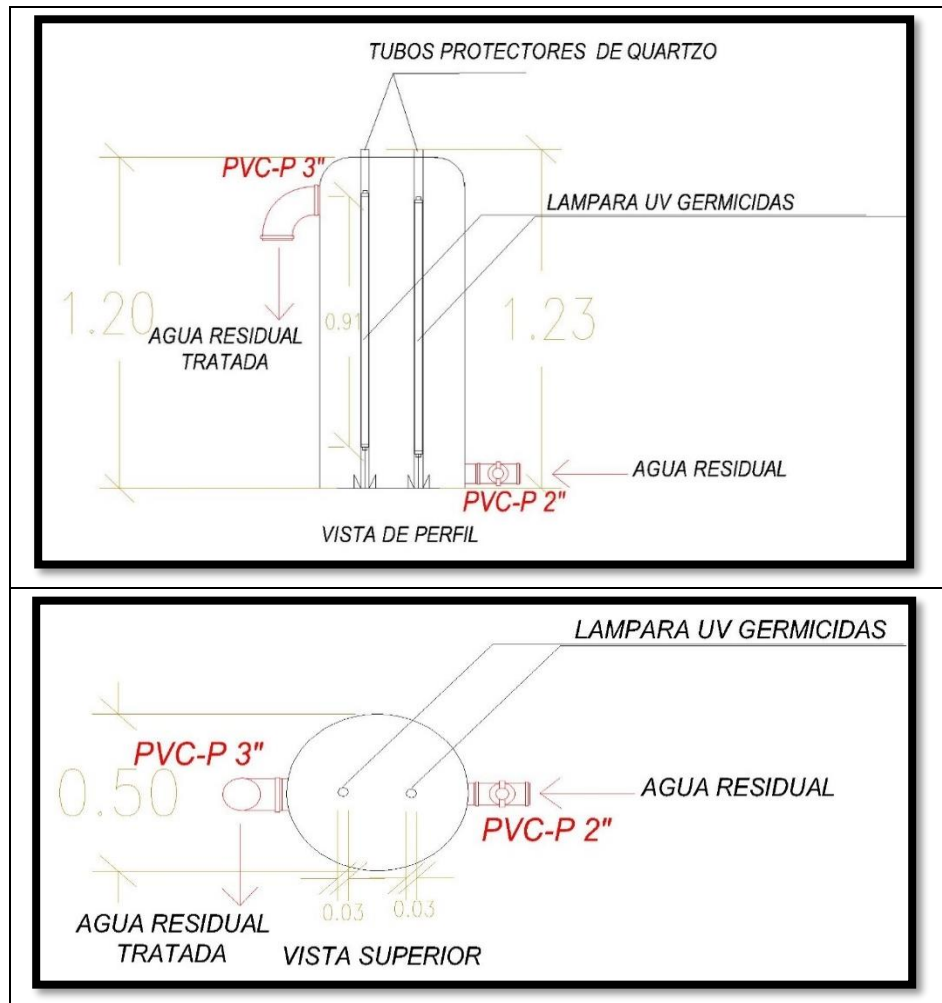


Figura 6

Plano de diseño del Reactor Foto-Fenton en Curtiembres Fernando Blandón

Fuente: Eco-innova ambiental, 2017

Posterior al proceso de Foto-Fenton se implementó un filtro de carbón activado que sirve como ultima unidad para terminar de adsorber la mayor cantidad de sustancias que se encuentren en el agua. El proceso de adsorción consiste en la captación de sustancias solubles presentes en la interface de una solución (Eco-innova ambiental, 2017)

A continuación, se presenta el plano de detalle del filtro de carbón activado implementado.

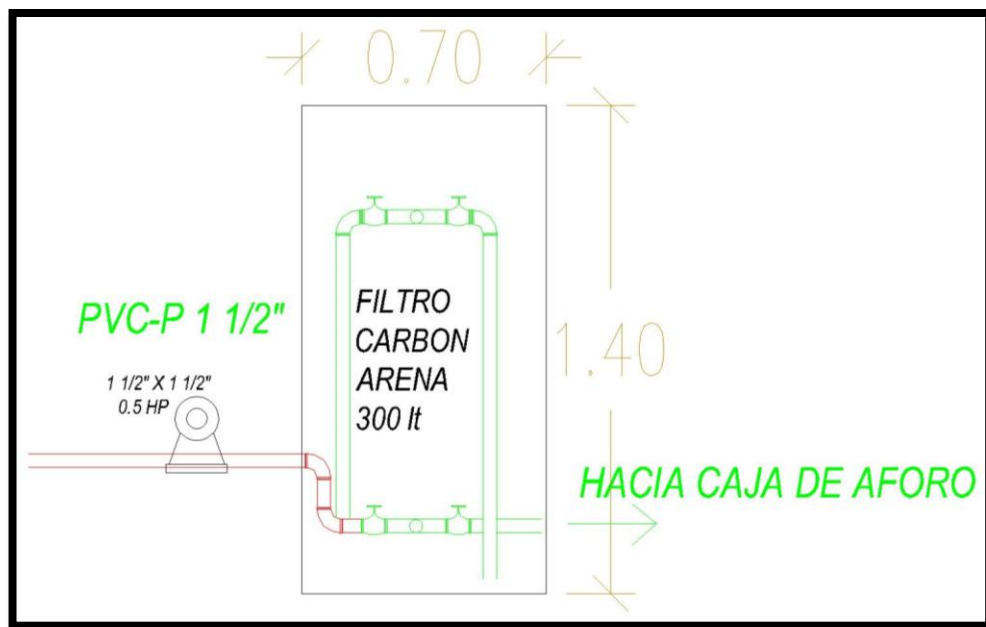


Figura 7

Plano de diseño del filtro de carbón activado en Curtiembres Fernando Blandón

Fuente: Eco-innova ambiental, 2017

El diseño de este tratamiento se basó en la experiencia profesional de la empresa consultora, que contaba con amplia trayectoria en el montaje de sistemas de tratamiento de aguas para curtiembres del sector San Benito. Además de esta experiencia, se consideraron los criterios de diseño establecidos por Sauer (2006) en su documento *Tratamento de efluentes de curtume através do processo combinado de degradação fotocatalítica seguida por adsorção em carvão ativado* (Florianópolis), así como los lineamientos de Porto, Dantas, Jose, y Peralta Muniz (2003) en el informe técnico titulado *Fenton and Photo-Fenton oxidation of tannery wastewater* (Florianópolis).

Es importante aclarar que la unidad de tratamiento de aguas tipo Foto-Fenton se implementó en la empresa Curtiembres Fernando Blandón para complementar las otras unidades con que contaba la empresa

Puesta en marcha de la PTAR

La instalación de las líneas hidráulicas, líneas eléctricas y equipos para el sistema de tratamiento de aguas tipo Foto-Fenton, requirió de 90 días aproximadamente. Luego de terminar la instalación, se inició con las pruebas hidráulicas, en busca de fugas y verificando el flujo de las conexiones de la PTAR. El siguiente registro fotográfico representa la implementación de la unidad de foto –fenton.



Registro fotográfico 1.

Reactor Foto-Fenton y tanque de Homogenización de curtiembres Fernando Blandón

Fuente: Eco-innova ambiental, 2017

7.1.7. Resultados del Proceso Vivido

La sistematización de la experiencia en la implementación y operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) tipo Foto-Fenton en la Curtiembre Fernando Blandón permitió evidenciar avances significativos en la gestión de los vertimientos industriales.

Desde el diseño hasta la puesta en marcha, se enfrentaron múltiples desafíos técnicos, normativos y operativos. Inicialmente, el sistema de tratamiento presentaba dificultades para cumplir con los límites establecidos en la Resolución 631 de 2015 y la Resolución 3957 de 2009, especialmente en parámetros como DQO, DBO y fenoles

totales. Para abordar esta problemática, se implementaron mejoras en la dosificación de reactivos, ajustes en la operación del reactor Foto-Fenton y la sustitución de productos químicos en el proceso productivo, lo que contribuyó a reducir la carga contaminante en las aguas residuales.

Tras estos ajustes, la caracterización de vertimientos realizada el 23 de agosto de 2018 evidenció un cumplimiento total de la normativa ambiental, con eficiencias de remoción del 92.3% en DQO, 94.2% en DBO y 32.5% en fenoles totales. Estos resultados confirmaron la efectividad del sistema implementado y su viabilidad como una alternativa para el tratamiento de aguas residuales en la industria del curtido de pieles.

El proceso vivido resalta la importancia de la innovación tecnológica y la optimización operativa en la gestión ambiental de las curtiembres. como aprendizaje clave, se destaca la necesidad de un monitoreo continuo y la adaptación de estrategias que garanticen un desempeño eficiente y sostenible del sistema de tratamiento.

Estos esfuerzos no solo contribuyen a la conservación y recuperación de las fuentes hídricas de la cuenca Tunjuelo, sino que también permiten evitar sanciones por incumplimiento de la normatividad ambiental. Además, fortalecen la imagen de la empresa, generando mayor confianza entre sus clientes y posicionándola como un referente dentro del sector.

7.2. Resultados Fase analítica.

Finalizado el proceso de sistematización de la experiencia, se identificó que el sistema de tratamiento de aguas residuales tipo Foto-Fenton, implementado en la empresa Curtiembres Fernando Blandón, logró cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 631 de 2015 y la Resolución 3957 de 2009 en el año 2018. Este cumplimiento refleja el compromiso de la empresa con la normatividad ambiental vigente, así como el esfuerzo técnico, operativo y financiero requerido para alcanzar este objetivo.

El análisis de este proyecto evidencia los desafíos económicos, técnicos y operativos asociados al tratamiento de aguas residuales en la industria del curtido de pieles. El cumplimiento de la regulación ambiental representa un reto significativo, especialmente para pequeñas y medianas empresas (Pymes). Sin embargo, este caso demuestra que, a pesar de las dificultades, existen empresas con la disposición y el compromiso de implementar soluciones sostenibles que permitan continuar con su actividad productiva dentro del marco legal y con responsabilidad ambiental.

7.2.1. Evaluación del cumplimiento normativo.

Luego de realizar la puesta en marcha del sistema de tratamiento de aguas residuales de la empresa Curtiembres Fernando Blandón, se realizó la evaluación de la eficiencia de operación por medio de una caracterización de vertimientos que fue

realizada por el laboratorio Analquim el 18 de diciembre de 2017 y el 23 de agosto de 2018

La Tabla 12 representa los resultados obtenidos en cada uno de los muestreos realizados a las aguas residuales tratadas por la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa Curtiembres Fernando Blandón.

Tabla 12

Resultados caracterizaciones de vertimientos 18 de diciembre de 2017 y 23 de agosto de 2018

Parámetro	Unidad	Caracterización fecha: 18/12/2017	Caracterización fecha: 23/08/2018	Límite máximo permisible
Temperatura	Unidades Pt-co	18.8 -23	18.2 – 18.6	30
pH	mg/	5.56 -7.13	6.79 – 7.76	5.0 a 9.0
DBO ₅	mg/	1820	106	800
DQO	mg/	3500	267	1500
Sólidos sedimentables	mg/	<0.5	<0.5	2
Sólidos Suspendidos Totales	mg/	66	<5	600
Fenoles	mg/	0.4	0,13	0.2
Aceites y grasas	mg/	<5	<5	90
Sustancias Activas al Azul de Metileno	mg/	1.77	<0.4	10
Nitratos	mg/	0.705	2.5	Análisis y reporte
Nitrógeno amoniacal	mg/	95.1	0.7	Análisis y reporte
Nitrógeno total	mg/	182	<3.3	Análisis y reporte
Sulfuro	mg/	<1	<0.8	3
Cromo	mg/	0.31	<0.05	1
Color verdadero a 436mm	m-1	4.6	0.5	Análisis y reporte
Color verdadero a 525mm	m-1	2.2	0.3	Análisis y reporte

Color verdadero a 620 mm	m-1	1	0.5	Análisis y reporte
--------------------------	-----	---	-----	--------------------

Nota: tomado y modificado de caracterizaciones vertimientos 18 de diciembre 2017 y 23 de agosto de 2018

La caracterización realizada a los vertimientos tratados por la PTAR de Curtiembres Fernando Blandón el 18 de diciembre de 2017, arrojó resultados positivos en el cumplimiento de la normatividad ambiental, para los parámetros de SSED, SST, Cromo, Sulfuro, Grasas y aceites, sin embargo, los parámetros de DQO, DBO y Fenoles superaron los límites máximos permisibles establecidos por la norma, esta situación se presentó por que la PTAR no se encontraba operando, en condiciones óptimas, por lo que se realizaron los siguientes ajustes:

- **Condiciones de eficiencia:** para mejorar los porcentajes de remoción en los parámetros en que incumplía la caracterización de vertimientos del 18 de diciembre de 2017 (DQO, DBO y Fenoles) se tuvieron las siguientes condiciones de eficiencia:

Tabla 13

Parámetros Óptimos para la Operación del Sistema Foto-Fenton

Parámetro	Rango
Relación H ₂ O ₂ /DQO	1:2 a 1:5
Relación Fe ²⁺ / H ₂ O ₂	1:5 a 1:20
pH optimo	2,5 – 3,5
Tiempo de retención hidráulica	60 – 180min
Concentración de Fe ²⁺	60mg/
Concentración de H ₂ O ₂	500mg/

- **Implementación de Tecnologías Limpias en el Proceso Productivo**

Para optimizar el tratamiento de aguas residuales, la empresa Curtiembre Fernando Blandón adoptó tecnologías limpias que reducen la carga contaminante antes de su ingreso al proceso Foto-Fenton. Una de las medidas implementadas fue la sustitución del producto Borrón, utilizado en el lavado de pieles. Tras analizar su ficha técnica, se identificó que este producto contenía una alta concentración de fenoles compuestos, los cuales incrementaban significativamente los niveles de fenoles totales en las aguas residuales.

Después de implementar los ajustes y optimizar la operación de todas las unidades de la PTAR, el 23 de agosto de 2018, la empresa realizó una nueva caracterización de vertimientos. Los resultados confirman el cumplimiento total de la

normativa ambiental vigente, evidenciando una notable mejora en la eficiencia del tratamiento.

Los resultados obtenidos en la última caracterización, realizada el 23 de agosto de 2018, evidenciaron que el sistema cumplía con la normatividad ambiental vigente, logrando las siguientes eficiencias de remoción:

- Demanda Química de Oxígeno (DQO): 92.3%
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅): 94.2%
- Fenoles Totales: 32.5%

Estos resultados confirman que el proceso Foto-Fenton logró reducir la carga contaminante de los vertimientos industriales, permitiendo que los efluentes tratados alcanzaran los parámetros exigidos por la regulación colombiana.

7.2.2. Análisis de la eficiencia del sistema Foto-Fenton

Para evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento, se analizaron factores clave como la dosificación óptima de reactivos, el tiempo de retención hidráulico (TRH) y el impacto del uso de radiación UV en la oxidación avanzada. Los resultados mostraron que:

- La dosificación óptima para obtener la máxima eficiencia de remoción fue de 15 g/L de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y 1 g/L de sulfato ferroso (FeSO_4), manteniendo un pH de 2.5.
- El tiempo de retención hidráulico (TRH) óptimo se estableció en 180 minutos, permitiendo una mayor degradación de la materia orgánica.
- La incorporación de radiación UV mejoró significativamente la eficiencia del proceso en comparación con el método Fenton convencional, optimizando la generación de radicales hidroxilos ($\bullet\text{OH}$).

Estos hallazgos confirman que la tecnología implementada es una solución eficiente y adaptable para la industria del curtido, asegurando el cumplimiento de la normativa ambiental con costos operativos controlados.

7.2.3. Identificación de Ventajas y Desventajas

Durante la fase analítica, también se evaluaron los beneficios y limitaciones de la implementación del proceso Foto-Fenton en la empresa Curtiembres Fernando Blandón, con el fin de proporcionar recomendaciones para su optimización, se presentan las ventajas y desventajas identificadas en el presente proyecto de sistematización de experiencia.

Ventajas del Sistema

- Alta eficiencia en la remoción de contaminantes orgánicos (DQO y DBO).

- Menor producción de lodos en comparación con tratamientos biológicos.
- Implementación adaptable a espacios reducidos, lo que lo hace viable para PYMES.

Desventajas del Sistema

- Requiere un control estricto del pH para evitar interferencias en la reacción.
- Alto consumo de peróxido de hidrógeno (H_2O_2), lo que puede incrementar los costos operativos.
- Dependencia de radiación UV, lo que implica costos de mantenimiento de lámparas y equipos.
- No se tiene documentado de manera precisa y detallada los costos operativos de la planta durante el tiempo de evaluación.

A pesar de estas limitaciones, los resultados obtenidos indican que el sistema Foto-Fenton es una alternativa viable y eficiente para la reducción de contaminantes en curtiembres, permitiendo el cumplimiento de la normatividad ambiental vigente con una inversión relativamente baja en comparación con otros sistemas de tratamiento.

8. Conclusiones

La sistematización de la experiencia en la implementación del sistema Foto-Fenton en la Curtiembre Fernando Blandón permitió evaluar su eficacia en la reducción de contaminantes y su viabilidad como alternativa para el tratamiento de aguas residuales.

A partir del análisis realizado, se identifican los siguientes hallazgos:

La implementación del sistema Foto-Fenton permitió identificar los aspectos técnicos clave que influyen en su eficiencia, tales como el pH, la concentración de reactivos, la radiación UV y el tiempo de reacción.

Se evidencia que la incorporación de tecnologías limpias en el proceso productivo contribuyó significativamente al cumplimiento de la normatividad ambiental vigente en materia de vertimientos, optimizando la calidad del efluente tratado.

Se confirma que el sistema Foto-Fenton es una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales en la Curtiembre Fernando Blandón, logrando el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 631 de 2015 y la Resolución 3957 de 2009. La eficiencia de remoción alcanzada fue de 92.3% en DQO, 94.2% en DBO y 32.5% en fenoles totales, demostrando su efectividad en la eliminación de materia orgánica. Para verificar estos resultados, se tomarán como referencia los datos de la caracterización de vertimientos realizada el 23 de agosto de

2018, los cuales evidenciaron que el efluente tratado cumple con la normativa ambiental vigente.

Antes de implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales, es fundamental comparar diferentes tecnologías disponibles, considerando las características del agua a tratar, la normatividad vigente, los costos de inversión y operación, así como la infraestructura disponible. Este análisis permite seleccionar la opción más eficiente y sostenible para cada tipo de industria.

9. Recomendaciones

A pesar de la eficiencia y viabilidad del sistema Foto-Fenton en el tratamiento de aguas residuales de la Curtiembre Fernando Blandón, se plantean las siguientes oportunidades de mejora que podrían optimizar su desempeño, reducir costos operativos y facilitar su implementación en otras industrias.

- Documentar periódicamente los aspectos asociados a costos de operación que permitan medir de forma tangible los beneficios y desventajas de la implementación de este tipo de sistemas de tratamiento.
- Evaluar la posibilidad de recuperar y reutilizar el exceso de hierro para reducir los costos asociados al consumo del reactivo.
- Evaluar la viabilidad económica y técnica del uso de energía solar en la Planta de tratamiento de aguas de la empresa curtiembre Fernando Blandón, considerando la inversión inicial y el ahorro a largo plazo
- Automatizar el proceso de inyección de reactivos que permita reducir el desperdicio y optimizar la dosificación de los mismo.
- Capacitar periódicamente al personal encargado de la operación y mantenimiento del sistema, asegurando su óptimo funcionamiento.

10. Referencias bibliográficas

Alcántara Toribio, R. J. (2023). *Tratamiento de aguas residuales en la industria del cuero mediante Foto-Fenton* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Recuperado de

<https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/8231/>

Asocurtidores La María. (2021). *Gestión ambiental en la Asociación de Curtidores La María*. Recuperado de <https://asocurtidoreslamaria.com>

Conoser LTDA. (2017). *Caracterizaciones de vertimientos*. [Consultoría y Servicios Ambientales – Conoser LTDA].

Conoser LTDA. (2018). *Caracterizaciones de vertimientos*. [Consultoría y Servicios Ambientales – Conoser LTDA].

Consejo de Estado. (2014). *Sentencia 479 de 2014 sobre la recuperación del río Bogotá*. Recuperado de <https://www.consejodeestado.gov.co>

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). (2013). *Distribución y situación actual del sector curtiduría en Colombia*. Recuperado de <https://www.car.gov.co>

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). (2019). *Informe sobre cumplimiento de normativas ambientales en curtiembres de Cundinamarca*. Recuperado de <https://www.car.gov.co>

Comisión de la Cuenca de los Ríos Amecameca y La Compañía. (s.f.). *La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales*. Recuperado de COMISIÓN DE LA CUENCA

Decreto Supremo N.º 001-2010-AG. (2010). *Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos*. Autoridad Nacional del Agua (ANA). Recuperado de <https://www.ana.gob.pe>

Decreto Supremo N.º 010-2019-MINAM. (2019). *Límites máximos permisibles para descargas de aguas residuales en fuentes superficiales por parte de curtiembres*. Ministerio del Ambiente (MINAM). Recuperado de <https://www.gob.pe/minam>

Decreto Supremo N.º 021-2009-VIVIENDA. (2009). *Normativa sobre descargas de aguas residuales al alcantarillado público en Perú*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). Recuperado de <https://www.gob.pe/vivienda>

Eco-Innova Ambiental. (2018). *Informe técnico y de planta de tratamiento de aguas residuales en la empresa Fernando Blandón*. Secretaría Distrital de Ambiente.

El País. (2025, enero 2). *Los lodos de las depuradoras del País Vasco aumentan la fertilidad del campo en Navarra*. Recuperado de <https://elpais.com/espana/paisvasco/2025-01-02/>

Gobernación del Quindío. (2021). *Mejoras en el sector curtidor de La María gracias a la articulación entre Estado, industria y comunidad*. Recuperado de <https://quindio.gov.co/noticias>

González, J., & Ramírez, M. (2018). *Evaluación de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales en curtiembres mexicanas*. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 25(2), 45-62. <https://doi.org/xxxx>

González, J. (s.f.). *La electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas residuales*. Recuperado de REPOSITORIO UNILASALLISTA

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2013). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108: Límite de vertimientos en curtiembres en Ecuador*. Recuperado de <https://www.normalizacion.gob.ec>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). *Estadísticas de la Industria Curtidora en México*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx>

Jara, O. (2022). *La sistematización de experiencias: Práctica y teoría para otros mundos posibles* (pp. 8-258). Recuperado de <http://beu.extension.unicen.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/393/>

Mendes Carneiro, M., Napoleão, D., & Rodríguez Díaz, C. (2015). *Uso del proceso Foto-Fenton en la remoción de contaminantes orgánicos en efluentes industriales*. *Revista Cubana de Ingeniería*, 6(3). Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612015000300007

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Resolución 631 de 2015: Parámetros y valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos*

de agua superficiales y sistemas de alcantarillado público. Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co>

Pignatello, J. J., Oliveros, E., & MacKay, A. (2006). *Advanced oxidation processes for organic contaminant destruction based on the Fenton reaction and related chemistry. Environmental Science & Technology*, 36(1), 1-29.

Porto, M. P., Dantas, J., José, H., & Peralta Muniz, C. (2003). *Fenton and Photo-Fenton oxidation of tannery wastewater*. Florianópolis.

Sauer, T. (2006). *Tratamento de efluentes de curtume através do processo combinado de degradação fotocatalítica seguida por adsorção em carvão ativado* [Tesis de maestría, Universidad Federal de Santa Catarina]. Florianópolis, Brasil.

Romero Guerrero, S. (s.f.). *Tratamiento de Aguas Residuales mediante el Reactivo de Fenton*.

Universidad de América. (2023). *Procesos avanzados de tratamiento de aguas residuales en la industria del cuero*. Recuperado de <https://repository.uamerica.edu.co/server/api/core/bitstreams/251e1afe-1a55-4673-9c41-11bda13a1f7c/content>

Universidad Mariana. (s.f.). *La electrocoagulación, una alternativa para el tratamiento de aguas residuales*. Recuperado de [HTTPS://REVISTAS.UMARIANA.EDU.CO](https://revistas.umariana.edu.co)