TRATAMIENTO A ESCALA DE LABORATORIO Y EVALUACIÓN A LA CAPACIDAD DE REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA ETAPA DE DESENCALE EN LA PRODUCCIÓN DEL CUERO DEL SECTOR DE SAN BENITO, LOCALIDAD DE TUNJUELITO (BOGOTÁ).

JULY VIVIANA BELLO DÁVILA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ
2015

TRATAMIENTO A ESCALA DE LABORATORIO Y EVALUACIÓN A LA CAPACIDAD DE REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA ETAPA DE DESENCALE EN LA PRODUCCIÓN DEL CUERO DEL SECTOR DE SAN BENITO, LOCALIDAD DE TUNJUELITO (BOGOTÁ).

PRESENTADO POR:
JULY VIVIANA BELLO DÁVILA

MODALIDAD: TRABAJO DE GRADO

DIRIGIDO POR:
ING. NIDIA ELENA ORTIZ PENAGOS

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ
2015

NOTA DE ACEPTACIÓN

_____

_____

_____

_____

_____

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

_____

FIRMA DEL JURADO

_____

FIRMA DEL JURADO

Bogotá D.C._____

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios por regalarme la sabiduría, entrega y fortaleza para lograr el desarrollo y culminación de este proyecto, a mi directora la profesora Nidia Elena Ortiz por su guía y constante acompañamiento, mis padres por el apoyo incondicional en cada una de las etapas transcurridas, a mis compañeros Sergio y Cristian por la colaboración y acompañamiento durante la elaboración del proyecto, a mis familiares y amigos por su valiosa colaboración desinteresada, y por ultimo a la Universidad Santo Tomas por brindarnos los conocimientos y herramientas para hacer posible este trabajo.

RESUMEN

Uno de los residuos sólidos generados a causa del consumo de carne y productos derivados es el cuero bovino, lo que hace necesaria la implementación de medidas de gestión ambiental encaminadas a la reducción de los impactos negativos; la utilización del cuero bovino ha sido de gran importancia para el gremio de curtidores puesto que es su principal materia prima para confeccionar y fabricar productos útiles para el vivir diario de las personas, sin embargo los aspectos e impactos ambientales negativos que esta industria genera conlleva a realizar un mejoramiento en sus procesos y en cada una de las etapas presentes en el proceso de curtido y adecuación del cuero.

Partiendo de lo mencionado anteriormente surgió la idea y se llevó acabo el siguiente trabajo de investigación con el fin de dar una alternativa de solución a uno de los muchos problemas ambientales por los que atraviesa la industria del cuero, en cuanto al cumplimiento normativo ambiental por vertimientos y concentraciones de Sulfuros, DBO_5, DQO, sólidos suspendidos y los cambios de pH en las aguas residuales provenientes de la operación de desencale. Como esta etapa no es la única que genera tantos impactos se hizo un trabajo en conjunto uniendo 2 proyectos donde uno trabajaba la etapa de pelambre donde el consumo de agua es excesivo (Carrillo y Muñoz) y éste donde se trabajó sobre el desencale, etapa donde las aguas residuales generadas no pueden ser vertidas puesto que su carga contaminante es elevada y genera diferentes problemas tanto en los ecosistemas acuáticos como en las personas.

Para iniciar se realizó una visita técnica en la curtiembre El Reno ubicada en la localidad de Tunjuelito en la ciudad de Bogotá, después se ejecutó la réplica a escala laboratorio de la etapa de desencale como lo realizan en esta industria, posteriormente se realizó la caracterización físico-química del agua residual, para conocer las concentraciones de sulfuro; allí se pudo observar que el agua residual no contenía sulfuro dado que en la etapa anterior, es decir en el pelambre ya se había realizado un sistema donde se aprovecharía el sulfuro y la cal remanente en el trabajo realizado por Carrillo y Muñoz. Se determinó DBO_5, DQO y sólidos suspendidos; seguido del diseño y construcción del Bombo piloto, donde se replicó el proceso de desencale del cuero con pequeños volúmenes de agua y piel, y las cantidades necesarias de sulfato de amonio, bisulfito de sodio y ácido sulfúrico, bajo el lineamiento básico seguido por los curtidores.

Continuando con el proceso, se plantearon varias pruebas posterior al desencale donde se realizó un tratamiento primario de estas aguas y se determinó dónde se podría utilizar estas aguas ya tratadas según el decreto 1594 de 1984 y algunas resoluciones como 3957 de 2009 y 2115 de 2007, las cuales muestran los parámetros permisibles de la utilización de agua para diferentes actividades.

Se replicó la operación y se determinó la concentración de los diferentes parámetros fisicoquímicos como sulfuros, pH, DBO_5, DQO, turbiedad, conductividad y se comparó con el tratamiento que se realizó a estas mismas aguas y así se concluyó con la utilización que se le debe dar a estas aguas evitando que sean vertidas y que ocasionen impactos negativos tanto en el ambiente como en la sociedad. El uso posterior de estas aguas ya tratadas muestra que no pueden ser consumidas, puedes ser vertidas, utilizadas en agricultura o la preservación de flora y fauna si se realiza filtración con filtros tipo malla mesh 200, seguido de floculación y una doble filtración con arena sílice y carbón activado, colocando en porciones pequeñas hipoclorito de sodio.

Palabras clave: Curtiembre, Desencale, Vertimiento, Parámetros fisicoquímicos, Reutilización, Tratamiento, Agua residual, Curtido.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 12

2. OBJETIVOS 13

2.1. OBJETIVO GENERAL 13

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 13

3. MARCO DE REFERENCIA 14

3.1. MARCO CONTEXTUAL 14

3.1.1. Características Biofísicas y Socioeconómicas. 15

3.2. MARCO TEÓRICO 16

3.2.1. Características generales del proceso de curtición. 16

3.2.2. Descripción de la materia prima: la piel. 16

3.2.3. Proceso Productivo del cuero 17

3.2.4. Descripción de las operaciones involucradas en los diferentes procesos. 18

3.2.4.1. Operación de la Etapa de Ribera. 18

3.2.4.2. Operación de la Etapa de Curtido. 18

3.2.4.3. Operación de la Etapa de Terminado. 20

3.2.5. Descripción de la etapa de desencale a escala laboratorio. 20

3.2.6. Fundamento teórico de los tratamientos seleccionados para el tratamiento de aguas residuales. 22

3.2.6.1. Coagulantes y floculantes. 22

3.2.6.2. Oxidantes. 23

3.2.6.3. Filtros absorbentes 24

3.3. MARCO CONCEPTUAL 24

3.4. MARCO INSTITUCIONAL 30

3.5. MARCO LEGAL 32

4. DESARROLLO CENTRAL 36

4.1. MATRIZ DE EXPERIMENTOS 36

4.1.1. Matriz de Determinación de parámetros fisicoquímicos 36

4.1.2. Matriz de Evaluación del porcentaje de remoción de solidos suspendidos en la filtración 36

4.1.3. Matriz de experimentación y evaluación de procesos de tratamiento de agua residual 37

4.1.4. Matriz de evaluación de la capacidad de reutilización del agua 38
4.2. ESCENARIO EXPERIMENTAL 39
4.3. VARIABLES A MEDIR 40
4.4. PROCESOS DE MEDICIÓN 41
5. ANÁLISIS Y RESULTADOS 42
5.1. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN BOMBO PARA REALIZAR LA OPERACIÓN DE DESENCALE A ESCALA DE LABORATORIO 42
5.1.1. Estructura 42
5.1.2. Funcionamiento (Ver anexo 1) 43
5.1.2.1. Motor. 43
5.1.2.2. Piñones y Cadena. 45
5.2. DESENCALE CONVENCIONAL (Ver anexo 2) 47
5.2.1. Lavado. 48
5.2.2. Desencale. 49
5.2.3. Comprobación. 49
5.3. FILTROS TIPO MESH 49
5.3.1. Ventajas de los filtros tipo mesh. 49
5.3.2. Diseño de los filtros. 49
5.3.3. Características de los filtros. 50
5.3.4. Evaluación de la eficiencia de los filtros tipo mesh. 51
5.4. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE LA ETAPA DE DESENCALE REALIZADA A ESCALA DE LABORATORIO 52
5.4.1. Sulfuros y pH. 52
5.4.2. Demanda Biológica de Oxigeno (DBO_5): 54
5.4.3. Demanda Química de Oxigeno (DQO): 55
5.4.4. Relación DBO/DQO agua residual desencale. 57
5.5. DETERMINACIÓN DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DE LA OPERACIÓN DE DESENCALE 57
5.5.1. Coagulantes y Floculantes 57
5.5.1.1. Policroruro de Aluminio 57
5.5.1.2. Alumbre 58

5.5.2. Filtros Absorbentes 58
5.5.3. Oxidantes 59
5.6. EVALUACIÓN DE REUTILIZACIÓN 60
5.6.1. pH 60
5.6.2. Turbiedad 61
5.6.3. Conductividad 62
5.6.4. Sólidos presentes en las aguas tratadas 63
5.6.5. DQO 67
5.6.6. DBO 68
5.7. Impacto social, humanístico y ambiental del proyecto: 72
5.8. Planificación del proyecto 73
5.8.1. Ruta crítica y holgura 75
6. CONCLUSIONES 77
7. RECOMENDACIONES 78
8. BIBLIOGRAFIA 79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición de la piel de un vacuno recién desollada 17
Tabla 2. Marco legal aplicable a vertimientos en el proceso productivo del cuero 32
Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos del agua residual del proceso de desencale a nivel laboratorio 36
Tabla 4. Porcentaje de Remoción 37
Tabla 5. Procesos de Tratamiento de Agua Residual 37
Tabla 6. Parámetros para la evaluación del agua 38
Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos medidos en las aguas residuales como resultado del proceso de desencale 41
Tabla 8. Cantidades de materia prima y productos químicos utilizados en la primera prueba de la etapa de desencale 47
Tabla 9. Cantidades de materia prima y productos químicos utilizados en la segunda prueba de la etapa de desencale 48
Tabla 10. Cantidades de materia prima y productos químicos utilizados en la tercera prueba de la etapa de desencale 48
Tabla 11. Filtro Tipo Mesh 100 50
Tabla 12. Filtro Tipo Mesh 200 50
Tabla 13. Eficiencia de los filtros a partir de la remoción de sólidos suspendidos. 51

Tabla 14. Datos para determinar sulfuros de la muestra 1 52
Tabla 15. Datos para determinar sulfuros de la muestra 2 53
Tabla 16. Concentración de Sulfuros y pH en las diferentes muestras 53
Tabla 17. DBO_5 presente en el agua residual de la etapa de desencale 54
Tabla 18. Cumplimiento Normativo para vertimientos a la red de alcantarillado 54
Tabla 19. Datos curva de calibración DQO 55
Tabla 20. Resultados obtenidos de DQO en las aguas residuales de la operación de desencale 56
Tabla 21. Normativa vigente para vertimientos realizados a la red de alcantarillado, parámetro DQO 56
Tabla 22. Relación DQO/DBO agua residual desencale 57
Tabla 23. Cumplimiento normativo de pH 60
Tabla 24. Turbiedad en las aguas residuales 61
Tabla 25. Conductividad de las aguas tratadas 63
Tabla 26. Sólidos disueltos a partir de los datos de conductividad 63
Tabla 27. Criterios de admisibilidad de sólidos según el decreto 1594 de 1984 64
Tabla 28. Sólidos Totales en las aguas tratadas 65
Tabla 29. DQO presente en las aguas tratadas 67
Tabla 30. DBO presente en las aguas tratadas 69
Tabla 31. % de remoción de DBO5 al realizar los debidos tratamientos 70
Tabla 32. DBO_5 permisible para aguas de consumo humano y para uso domestico 72
Tabla 33. Cronograma del Proyecto 73
Tabla 34. Ruta crítica y Holgura 75
Tabla 35. Determinación de Sólidos Totales (mg/L) 85
Tabla 36. Valores de Absorbancia 92

ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfico 1. Entradas y Salidas en el Proceso de Desencale 19
Gráfico 2. Diseño filtros tipo malla mesh 50
Gráfico 3. Turbiedad en NTU presente en las aguas tratadas comparándola con la resolución 2115 de 2007 y la OMS 62
Gráfico 4. Cumplimiento normativo de las muestras de agua tratadas en cuanto a sólidos disueltos 66
Gráfico 5. Cumplimiento normativo de las muestras de agua tratadas en cuanto a DQO 68
Gráfico 6. DBO5 del agua según la Secretaria Distrital de Ambiente (SDA) 70
Gráfico 7. Cumplimiento normativo de remoción (%) de DBO5 en las aguas tratadas 71
Gráfico 8. Procedimiento utilizado en la realización de DOB_5 90
Gráfico 9. Procedimiento utilizado en la realización de DQO 91
Gráfico 10. Continuación del procedimiento utilizado en la realización de DQO 92

Gráfico 11. Curva de calibración DQO 93

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Localización Barrio San Benito 15
Imagen 2. Partes de la piel 17
Imagen 3. Diagrama proceso producción general 17
Imagen 4. Características Estructurales del Bombo 42
Imagen 5. Filtro Tipo Malla Mesh 100 50
Imagen 6. Filtro Tipo Malla Mesh 200 51
Imagen 7. Policroruro de Aluminio a 100 ml agua residual 58
Imagen 8. Tratamiento y Filtración con carbón activado 59
Imagen 9. Tratamiento y filtración con arena sílice 59
Imagen 10. Lavado de la piel 83
Imagen 11. Agentes desencalantes 84
Imagen 12. Piel desencalada 84
Imagen 13. Comprobación de la etapa de desencale 84
Imagen 14. Conductímetro y toma de conductividad 85
Imagen 15. Conversor de conductividad 86

ÍNDICE DE ILUSTRACIÓN

Ilustración 1. Cronograma de actividades – Diagrama de Gantt 75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama escenario experimental de la etapa de desencale 40
Figura 2. Plano de dimensiones bombo y soporte 43
Figura 3. Preparación de las soluciones 87

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. VIDEO FUNCIONAMIENTO BOMBO 83
ANEXO 2. EVIDENCIA DEL DESENCALE A ESCALA LABORATORIO 83
ANEXO 3. DETERMINACIÓN DE SOLIDOS EN LAS AGUAS RESIDUALES DE LA ETAPA DE DESENCALE 85
ANEXO 4. SM4500E: MÉTODO YODOMÉTRICO (SULFUROS) 86
ANEXO 5. SM 5210B: Prueba ROB-5 días (DBO) 89
ANEXO 6. CURVA DE CALIBRACIÓN DQO 90

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo de investigación se realizó con el fin de establecer estrategias y puntos de partida para la aplicación de técnicas de mejoras y producción más limpia en la industria del cuero, estableciendo e implementando lineamientos que pueden ser empleados en la operación de desencale. La finalidad de este proyecto es la minimización de los impactos generados por esta industria y así lograr el cumplimiento normativo de la legislación ambiental colombiana logrando la conservación, preservación y protección de los recursos naturales para el beneficio de las generaciones presentes y futuras de la industria del cuero, contribuyendo con el medio ambiente y la sociedad.

Para la elaboración de este proyecto y así identificar y conocer la operación de desencale se diseñó a escala de laboratorio esta etapa, para así evidenciar los impactos que esta genera y también realizar la toma de muestras de cada agua proveniente de las réplicas realizadas de los dos procesos que hacen parte del desencale, para posteriormente hacer el análisis de tipo cuantitativo de cada una de ellas, donde se logró determinar ajustes de pH, Sulfuros, DBO, DQO y sólidos en suspensión.

Posteriormente del análisis que se realizó a las aguas residuales de desencale, se evaluaron los diversos procesos de tratamiento del agua donde se comparó cuál era el más eficiente y se determinó el uso que se podía dar para la reutilización del agua tratada, identificando los usos pertinentes como: vertimientos para flora y fauna, uso doméstico, uso agrícola, determinando nuevamente los parámetros que fueron hallados al agua sin tratar.

Como resultados obtenidos, el tratamiento óptimo para mejorar la calidad del agua del proceso de desencale es realizar a la primera agua filtración con filtros tipo malla mesh 200, seguido de floculación y una doble filtración con arena sílice y carbón activado, colocando en porciones pequeñas hipoclorito de sodio y realizar lo mismo a la segunda para así poder reutilizarla en la agricultura, preservación de flora y fauna o verterlas directamente a un cuerpo de agua o al alcantarillado ya sea dentro de la misma industria o en las actividades diarias que se realizan en los lugares aledaños a las curtiembres, no se puede utilizar para consumo humano. Lo cual hace factible la implementación de esta técnica en la industria del cuero, además de los ahorros producidos por la utilización de esta agua en las actividades de la industria, reduce el impacto ambiental negativo tanto en el sistema de alcantarillado, como al cauce receptor del agua residual.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Tratar a escala de laboratorio y evaluar la capacidad de reutilización el agua residual de la etapa de desencale en la producción de cuero del sector San Benito localidad Tunjuelito (Bogotá).

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Identificar las operaciones unitarias y el funcionamiento de la etapa de desencale del proceso productivo del cuero, con el fin de estandarizar las condiciones mínimas necesarias para reproducir la operación a nivel de laboratorio.

- ✓ Determinar los parámetros fisicoquímicos del agua residual en el proceso de desencale de una industria curtidora del sector de San Benito: pH, Sulfuros, Amonio, DBO y DQO, Sólidos en suspensión.

- ✓ Evaluar la eficiencia de los filtros de malla 100 y 200 código mesh en acero inoxidable para retirar los sólidos en suspensión. (El código mesh es una referencia norteamericana que se refiere al número de orificios que hay por pulgada lineal en filtros de malla de acero inoxidable).

- ✓ Dimensionar y construir un bombo para reproducir la operación de desencale a escala de laboratorio, con el fin de realizar un tratamiento a las aguas residuales resultantes.

- ✓ Evaluar los siguientes procesos de tratamiento del agua residual para la etapa de desencale con el fin de que cumpla con los parámetros de calidad para vertimientos según el decreto 1594/1984: floculacion con alumbre, tratamiento con filtros absorbentes, tratamiento con carbón activo, tratamiento con sílica gel y oxidación con peróxido de hidrógeno.

- ✓ Evaluar el reúso del agua residual tratada con base en los parámetros de calidad obtenidos. Se evaluará la posibilidad de reutilizar esta agua en el lavado de las pieles saladas que ingresan al proceso, debido a que la carga contaminante de las pieles en esta parte inicial del proceso es elevada que no se requiere agua de alta pureza o en otras actividades dentro o fuera de la industria.

3. MARCO DE REFERENCIA

3.1. MARCO CONTEXTUAL

ESTADO DEL SECTOR DE CURTIEMBRES EN COLOMBIA

Las primeras actividades del sector curtiembres en Colombia datan de los años 20 al departamento de Antioquia y de los años 50 con curtiembres establecidas en los municipios de Villapinzón y Chocontá en el departamento de Cundinamarca. Posteriormente algunos productores de esta última región se desplazaron a las afueras de Bogotá cerca al río Tunjuelito, zona conocida actualmente como San Benito [1].

CURTIEMBRES EN SAN BENITO

Este sector está representado por la Cooperativa de Curtidores Coopicur Ltda y la Corporación Ecológica de San Benito COESA. Aproximadamente 20% de las curtiembres realiza curtición al tanino para suelas, un 60-70% realiza producción de cuero en azul alternado con la producción de cuero terminado para productos como calzado, confección, automotriz, talabartería y procesamiento de carnaza. Las empresas son en general familiares y la mitad posee un grado de mecanización bajo del 20%. Se estima que el 85% de las curtiembres tienen menos de 10 empleados, 12% entre 11 y 50, y solo 3% entre 51 y 200 empleados [1].

En 1997, se comenzó un proceso de concertación para la disminución del 50% de los impactos. Algunas de las actividades implementadas por las curtiembres consistieron en el cambio de redes de alcantarillado y redes eléctricas y transformadores, postes, pavimentación e instalación de cajas de inspección, rejillas, trampas de grasas y sólidos, canales subterráneos de filtración, programas de disminución de ruido y emisiones atmosféricas de las calderas [1].

Actualmente las curtiembres en San Benito procesan **775,593.58 pieles/año**, lo que indica un procesamiento de **70,000 pieles/mes**, generando grandes impactos negativos por residuos sólidos y vertimientos residuales [2]. Además de las grandes cantidades de insumos químicos necesarios para la ejecución del proceso de curtido.

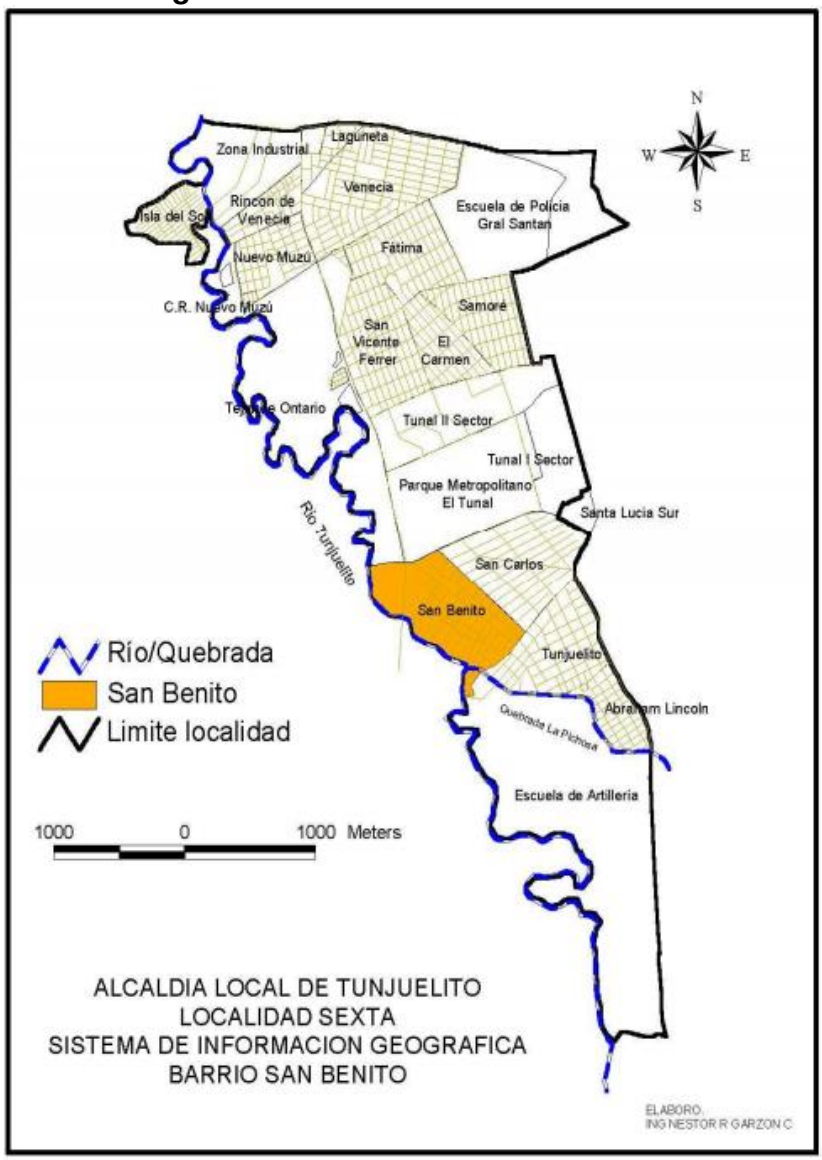
En los últimos años se ha visto una disminución en de la industria del curtido, debido a la suspensión temporal o cierre definitivo, por la poca atención que se le presta a las aguas provenientes de cada una de las operaciones necesarias para procesar las pieles y transformarlas en materia prima para diferentes industrias [3].

3.1.1. Características Biofísicas y Socioeconómicas

LOCALIZACIÓN

El Barrio San Benito se encuentra situado al suroccidente de la ciudad de Bogotá, en la Localidad 6ª del Distrito Capital, denominada Tunjuelito. Está demarcado geográficamente entre la carrera 16B y la carrera 20 sur, y entre la calle 58 y la calle 60 sur. Limita al norte con el parque metropolitano el Tunal, por el oriente con el barrio San Carlos, por el sur con el barrio Tunjuelito y por el occidente con el Río Tunjuelito. (Ver Imagen 1.).

Imagen 1. Localización Barrio San Benito



Fuente: [4]

CARACTERÍSTICAS Y USO DEL SUELO

El barrio San Benito está ubicado en un área definida como de topografía plana irregular por su cercanía a la ronda del Río Tunjuelito y a la quebrada la Chiguaza. Afectado tectónicamente, clima seco y árido y con desarrollo de procesos erosivos que se manifiestan en el fenómeno de carcavamiento [5].

Aspectos Físicos: Se caracteriza por estar ubicado en una zona quebrada conformada por tres zonas geotécnicas: Una zona de inundación baja (I P); una zona de arcillas y limos (I BP) [3].

Hidrografía: La red hídrica está compuesta por el río Tunjuelito y la Quebrada Chiguaza, la cual desemboca en el río a la altura de la Carrera 17, el cual sirve de límite entre el barrio y la localidad de Ciudad Bolívar (Barrio Meissen) [3].

Superficie: El barrio cuenta con un área bruta de 46.96 hectáreas, de éstas 37.77 hectáreas se encueran ocupada por viviendas y 8.99 hectáreas corresponde a área libre [3].

3.2. MARCO TEÓRICO

3.2.1. Características generales del proceso de curtición

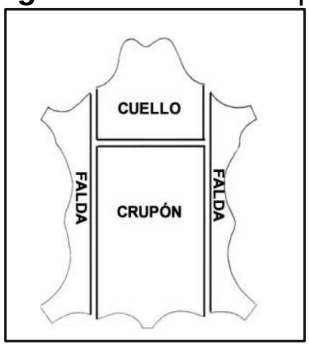
La operación de curtido de pieles tiene como objetivo principal transformar la piel de cualquier animal dotándola de las características de resistencia, durabilidad y manejabilidad para luego ser empleadas por otras industrias para la elaboración de artículos de uso industrial y doméstico. La principal piel procesada es la de ganado vacuno por tener una alta superficie aprovechable en comparación de la de otros animales [6].

3.2.2. Descripción de la materia prima: la piel.

La piel es la parte externa del cuerpo, la cual protege, regula la temperatura y almacena grasas necesarias para el metabolismo de animales, en su mayoría está recubierta por pelo o lana. La piel desollada se llama piel fresca o piel en verde.

En la piel fresca existen zonas de estructura bastante diferenciadas en lo que tiene que ver con espesor y compacidad. Se pueden diferenciar tres grandes partes: Cuello, Crupón, Falda [7] (ver imagen 2.).

Imagen 2. Partes de la piel



Fuente: [7].

Tabla 1. Composición de la piel de un vacuno recién desollada

Componente	Concentración (%)
Agua	64
Proteínas	33
Grasas	2
Sustancias minerales	0.5
Otras sustancias	0.5

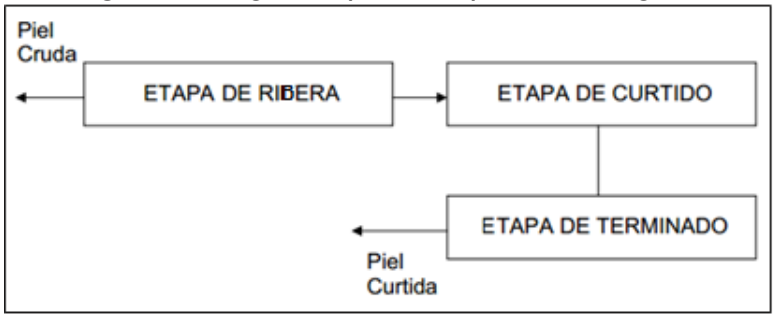
Fuente: Elaboración propia, tomada de [8].

3.2.3. Proceso Productivo del cuero

La técnica de curtición de cuero está compuesta por 3 etapas que son:

1. Etapa de Ribera: Consta de operaciones desde el momento de recepción de la materia prima hasta el dividido de las pieles.
2. Etapa de Curtido: Comprende la estabilización de la piel mediante el uso de agentes curtientes que proporcionan características de resistencia y preservación.
3. Etapa de Terminado: Su finalidad es darle a la piel la apariencia y calidad de acuerdo al uso que se destine.

Imagen 3. Diagrama proceso producción general



Fuente: [9].

3.2.4. Descripción de las operaciones involucradas en los diferentes procesos

3.2.4.1. Operación de la Etapa de Ribera

También conocida como etapa de pelambre. En esta etapa el cuero es preparado para ser curtido, por lo que su principal objetivo es limpiar la piel para facilitar la etapa de curtido, donde son muy comunes para la mayoría de las pieles la implementación de las mismas operaciones las cuales son: Remojo, Encalado y Pelambre, Descarando y Dividido (cuando se producen vaquetas).

La mayor cantidad (65% aprox.) de los efluentes líquidos generados en curtiembres proviene de los procesos de ribera (remojo, pelambre, descarne y división). El resto proviene del curtido, lavado final y de la limpieza de la planta. En esta etapa los efluentes líquidos presentan altos valores de pH, considerable contenido de cal y sulfatos libres, así como sulfuros y una elevada DBO debido a la presencia de materia orgánica y grasas animales provenientes de los sólidos suspendidos generados durante este proceso.

- **Remojo:** Proceso para rehidratar la piel, eliminar la sal y otros elementos como sangre, excretas y suciedad en general.

- **Pelambre:** Esta operación se realiza para hinchar la epidermis, retirar el pelo del cuero, saponificar las grasas naturales y entumecer las fibras para facilitar el efecto del curtido. Para llevarla a cabo se utiliza un baño con agitación periódica en una solución que contiene sulfuro de sodio (Na2S) y Cal hidratada (Ca (OH)2), durante un periodo que varía entre 17 y 20 horas [10].

- **Descarne:** Esta operación involucra la remoción mecánica o manual de los tejidos adiposos, subcutáneos, musculares y el sebo adherido a la cara interna de la piel para permitir una penetración más fácil de los productos de curtido. Los efluentes líquidos resultantes del descarne presentan concentraciones altas de sólidos en suspensión y pH ácido [11].

- **Dividido:** En nuestro proceso se realiza después del pelambre, y consiste en dividir en dos capas la piel hinchada y depilada separando la flor, que es la parte de la piel que está en contacto con la carne. En Colombia, algunas curtiembres aprovechan retazos en buen estado en curtición para obtener cuero gamuzado de menos calidad y costo. La gran mayoría de este residuo es comercializado para la fabricación de gelatinas [11].

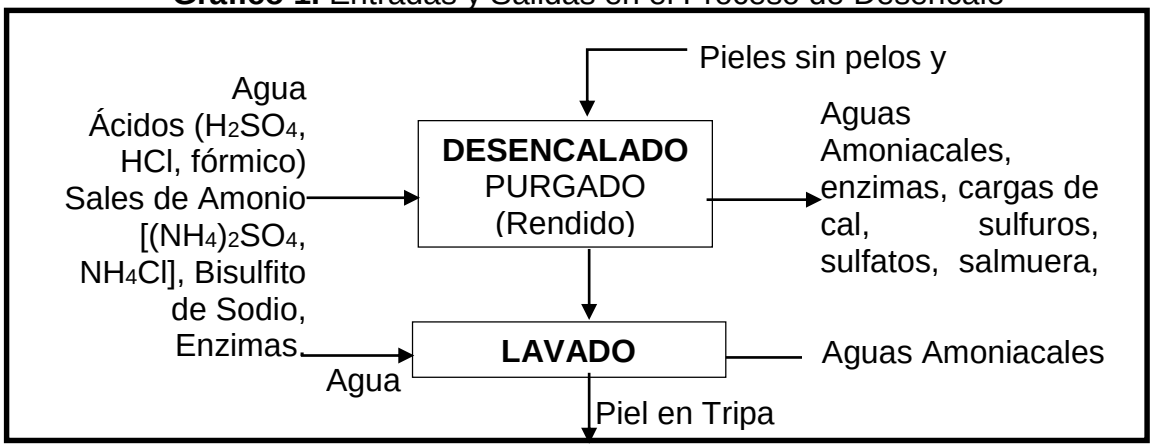
3.2.4.2. Operación de la Etapa de Curtido

En esta etapa las pieles reaccionan con productos químicos, estabilizando su composición orgánica, evitando de esta manera procesos de descomposición y putrefacción [12]. El curtido comprende las siguientes etapas:

- **Desencalado y Purga:** Proceso que remueve el sulfuro de sodio y la cal de la piel, contenidos en el baño de pelambre y que produce el deshinchamiento de las pieles. Con este propósito se utilizan sales de reacción ácida como el sulfato de amonio. También se adicionan enzimas proteolíticas y bacterianas con el fin de modificar la proteína de las fibras de la piel y convertirla en un material suave y flexible que facilite la penetración de los curtientes [13]. La organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación en el libro Técnicas de Curtación Rural, Roma (1961) definió: La cal se encuentra en la piel en tripa apelambrada en diversas formas: combinada por enlace salino con los grupos carboxílicos del colágeno, disuelta en los líquidos que ocupan los espacios interfibrilares, depositada en forma de lodos sobre las fibras y en forma de jabones cálcicos formados por saponificación de las grasas en el apelambrado. Una parte de la cal puede ser eliminada sin emplear productos desencalantes propiamente dichos, pues un lavado a fondo de la piel en tripa con agua separa el hidróxido calcio disuelto en los líquidos que retienen el tejido fibroso y el depositado sobre las fibras después de unas 3-4 horas de lavado ya no progresa el desencalado [14].

Como agentes desencalantes se emplean preferentemente ácidos o sales de amonio. Es conveniente emplear agentes desencalantes que al neutralizar los productos alcalinos den substancias solubles, fácilmente eliminables por lavado con agua y que no tengan efectos de hinchamiento o poder hidrotrópico sobre el colágeno [14].

Gráfico 1. Entradas y Salidas en el Proceso de Desencale



Fuente: Autor, tomado de [2].

- **Piquelado:** Consiste en la acidulación de las pieles, con el objeto de evitar el hinchamiento y para fijar las sales de cromo entre las células. Esta operación no se lleva a cabo en el curtido vegetal. Por su contenido ácido puede ser utilizado con fines de neutralización en un efluente alcalino [10].

- **Curtido:** Consiste en la estabilización de la estructura de colágeno que compone al cuero, usando productos químicos naturales o sintéticos. Adicionalmente, la curtición imparte un particular “tacto” al cuero resultante. Entre los químicos utilizados, el cromo es el más importante [10].

3.2.4.3. Operación de la Etapa de Terminado

Se involucran operaciones que permiten que la piel pueda ser curtida mediante la utilización de productos químicos y transformada finalmente en cuero; al final de esta etapa se obtiene el denominado “wet blue” y la piel pasa a denominarse cuero.

- **Recurtido:** Consiste en someter el cuero nuevamente a agentes curtientes como el cromo con el objetivo de afianzar el fijado de las fibras del cuero al curtiente.

- **Teñido y engrase:** Consiste en darle al cuero el color deseado mediante colorantes y restituirle las grasas perdidas mediante la aplicación de engrasantes dándole al cuero mayor estabilidad, textura y brillo, para la fijación de los engrasantes y colorantes se emplea ácido fórmico o sulfúrico; el secado consiste en eliminar la humedad de los cueros en forma mecánica; por último el terminado consiste en aplicar al cuero tratamientos de superficie para darle mayor resistencia al medio ambiente, mejorar el brillo y la textura.

3.2.5. Descripción de la etapa de desencale a escala laboratorio

Una vez realizada la descripción general de la etapa de curtido, resulta importante para el presente proyecto de investigación definir de manera más detallada las condiciones de funcionamiento del proceso de desencale, para así disminuir la variabilidad del producto y de las aguas residuales dándole un mejor uso planteando soluciones pertinentes para la mejora en la producción del cuero. Estas condiciones se presentan a continuación:

- **Primer Agua Residual:** Se realiza un lavado de 30 minutos a la piel que viene de la operación de Ribera, con el fin de retirar residuos de pelo que haya quedado en la piel.

1. Calcular las cantidades de agua con base al peso de las muestras de piel y adicionarlos al bombo.

1.1. En general en los procesos de curtido las cantidades de agua en cada etapa se basan en el peso de la piel, por consiguiente la cantidad de agua utilizada para primer lavado es igual al 100% del peso de la piel:

$$Cantidad\ de\ Agua(mL)\ = Peso\ de\ las\ muestras\ de\ piel(Kg) \times 100$$

2. Colocar el bombo en funcionamiento por 30 minutos

3. Escurrir. En las principales curtiembres esta agua que sale de este primer lavado en la etapa de desencale es vertida al alcantarillado puesto que la mayoría del agua es absorbida por la piel.

4. Una vez terminada la operación se realizan los controles operacionales correspondientes y se estudia el tratamiento que se puede llevar a cabo con esta agua

- **Segunda Agua Residual:** Se realiza un segundo lavado de 90 a 120 minutos, con el fin de que se remueva el calcio de la piel, utilizando principalmente sales de amonio (sulfato de amonio). Además el desencale permite neutralizar la piel, detener su hinchamiento y remover sulfuro remanente mediante lavados con agua y la adición de reactivos químicos (por lo general, se utiliza bisulfito de sodio).

1. Calcular las cantidades de agua e insumos químicos con base al peso de las muestras de piel y adicionarlos al bombo.

La cantidad de agua utilizada en el segundo lavado es igual al 100%, la cantidad de sulfato de amonio es igual al 1% y la cantidad de bisulfito de sodio al 0,5%:

1.1. $Cantidad\ de\ Agua(mL) = Peso\ de\ las\ muestras\ de\ piel(Kg) \times 100$
1.2. $Cantidad\ de\ Sulfato\ de\ Amonio = peso\ de\ las\ muestras\ de\ piel * 1\%$
1.3. $Cantidad\ de\ Bisulfito\ de\ Sodio = peso\ de\ las\ muestras\ de\ piel * 0{,}5\%$

2. Poner en funcionamiento el bombo alrededor de 90 a 120 minutos.

3. Una vez terminada la operación se realizan los controles operacionales correspondientes revisión de la piel, toma de muestra del agua residual para su posterior utilización. Adicionalmente los pasos seguidos fueron los siguientes:

- Determinación sulfuros, DBO, DQO, pH
- Determinación de Potencia del motor
- Pre-tratamiento (Filtración)

3.2.6. Fundamento teórico de los tratamientos seleccionados las aguas residuales

3.2.6.1. Coagulantes y floculantes

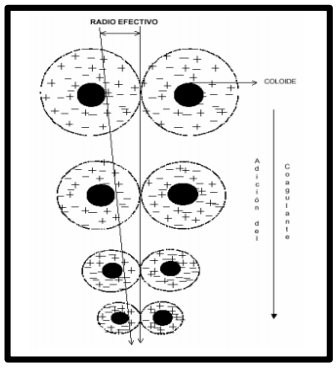
La turbiedad del agua es principalmente causada por partículas muy pequeñas, llamadas partículas coloidales. Estas partículas permanecen en suspensión en el agua por tiempo prolongado y pueden atravesar un medio filtrante muy fino. Por otro lado aunque su concentración es muy estable, no presentan la tendencia de aproximarse unas a otras, debido a las cargas iguales que poseen normalmente un contaminante produciendo su repulsión mutua [15].

Para eliminar estas partículas se recurre a los procesos de coagulación y floculación, la coagulación tiene por objeto desestabilizar las partículas en suspensión es decir facilitar su aglomeración. En la práctica este procedimiento es caracterizado por la inyección y dispersión rápida de productos químicos. La floculación tiene por objetivo favorecer con la ayuda de la mezcla lenta el contacto entre las partículas desestabilizadas. Estas partículas se aglutinan para formar un floc que pueda ser fácilmente eliminado por los procedimientos de sedimentación y filtración [15].

- **Coagulación:** Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado. La coagulación es el tratamiento más eficaz pero también es el que representa un gasto elevado de reactivos cuando no está bien realizado. Es igualmente el método universal porque elimina una gran cantidad de sustancias de diversas naturalezas y de peso de materia que son eliminados al menor costo, en comparación con otros métodos [15].

El termino coagulo se refiere a las reacciones que suceden al agregar un reactivo químico (coagulante) en agua, originando productos insolubles. La coagulación comienza al agregar el coagulante al agua y dura fracciones de segundo.

Imagen 4. Esquema del fenómeno de la coagulación



Fuente: [16]

La adición de un coagulante neutraliza las cargas, produciendo un colapso de la “nube de iones” que rodean los coloides de modo que puedan aglomerarse.

Los coagulantes más utilizados son productos químicos que al adicionar al agua son capaces de producir una reacción química con los componentes químicos del agua con cargas positivas como los iones metálicos y con cargas negativas especialmente con los iones que producen la alcalinidad del agua como los carbonatos ($CO_3^{=}$) y bicarbonatos (HCO_3^{-}), para formar un precipitado voluminoso de hidróxido que se obtiene por los severos órdenes de supersaturación del agua, por encima de la solubilidad de la sal metálica. Los contaminantes disueltos son removidos por adsorción del sólido precipitado y los contaminantes particulados son removidos por atrapamiento dentro de una masa de sólido precipitado. Los principales coagulantes utilizados para desestabilizar las partículas y producir el floc son: Sulfato de Aluminio, Aluminato de Sodio, Cloruro de Aluminio, Cloruro Férrico, Sulfato Férrico, Policroruro de Aluminio [15].

- **Floculación:** La floculación es la aglomeración de partículas desestabilizadas en microflóculos y después en los flóculos más grandes que tienden a depositarse en el fondo de los recipientes construidos para este fin, denominados sedimentadores. El proceso de floculación es precedido por el de coagulación, por eso suele hablarse de procesos de coagulación - floculación [17].

Para la elaboración de este tratamiento se tuvo en cuenta:

- **Policloruro de Aluminio:** Coagulante inorgánico a base de sales de aluminio polimerizadas, es ampliamente utilizado en una variedad de procesos industriales. es utilizado principalmente para remover color y materia coloidal en sistemas acuosos, plantas potabilizadoras, clarificación de efluentes industriales y como reemplazo de sulfato de aluminio, cloruro de aluminio, cloruro férrico, sulfato férrico y otras sales inorgánicas convencionales no polimerizadas [18].

- **Alumbre:** Coagulante inorgánico efectivo en clarificación de agua cruda durante procesos industriales y de potabilización. Puede ser usado como auxiliar de coagulación en la desestabilización de emulsiones de aceite en agua, remoción de colorantes en aguas residuales y en potabilización [18].

3.2.6.2. Oxidantes.

Son utilizados con el fin de oxidar la materia orgánica como la percloración etapa donde se añade cloro para eliminar microorganismos, que en parte oxida la materia orgánica y rompe enlaces en los coloides naturales. Para oxidar en este tratamiento se tiene en cuenta:

- **Hipoclorito de Sodio NaClO:** Es una solución clara de ligero color amarillento y un olor característico, es un compuesto que puede ser utilizado para desinfección del agua. Se usa a gran escala para la purificación de superficies, blanqueamiento, eliminación de olores y desinfección del agua [19].

- **Peróxido de Hidrogeno (Agua Oxigenada) H_2O_2:** Es un compuesto químico con características de un líquido altamente polar, fuertemente enlazado con el hidrógeno tal como el agua, conocido por ser un poderoso oxidante. Los usos principales de H_2O_2 son numerosos, por ejemplo el control del olor, el retiro de DBO/DQO, la oxidación de compuestos orgánicos, la oxidación de metales y la desinfección [19].

3.2.6.3. Filtros absorbentes

Se utilizarán con el fin de retener contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos. Para esto se utilizara:

- **Carbón activado granular:** Es materia carbonizada puede ser a partir de madera, la cual puede ser de origen vegetal o mineral. Se le llama activado debido a que toda la materia carbonizada tiene propiedades adsorbentes, pero el estado de activación que se da a este tipo especial de carbón le confiere propiedades especiales que lo hacen tener una gran capacidad para adsorber ciertas substancias. El carbón granular consiste de partículas de tamaño de entre 1-3 mm y éste se coloca dentro del cuerpo de un tanque de manera cómo lecho filtrante que le permitirá atraer compuestos que contienen átomos de carbono, también como conocidos como compuestos orgánicos. Este carbono cargado atrae sólo a los compuestos orgánicos u otros contaminantes cargados y los mantiene en el filtro cuando el agua pasa a través del mismo. Al no permitir que los contaminantes pasen con el agua [20].

- **Arena sílice:** Son utilizadas especialmente como lecho filtrante para depuración y potabilización de las aguas (para la retención de los flóculos de tamaños muy pequeños que no son separados por sedimentación/decantación). También se utiliza principalmente para eliminar las impurezas granulares, sólidos en suspensión, coloides y otras sustancias en el agua como iones [21].

3.3. MARCO CONCEPTUAL

Glosario:

Afluente: Cuerpo de agua cuya desembocadura no se produce en el mar, sino que lo hace en un río superior o de mayor importancia. El afluente o tributario se une al efluente en el sitio o zona conocida como confluencia [22].

Agua Residual: Agua que ha recibido un uso y cuya calidad ha sido modificada por la incorporación de agentes contaminantes. Son conocidas también como aguas negras o servidas, son líquidos procedentes de usos domésticos, comerciales, agropecuarios y de procesos industriales, o una combinación de ellas, sin tratamiento posterior a su uso, a los que se les suma eventualmente, aguas superficiales, pluviales y subterráneas [23].

Agua Residual Industrial: Son aquellas que proceden de cualquier actividad de producción industrial o negocio en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua. Son enormemente variables en cuanto a caudal y composición, difiriendo las características de los vertidos no sólo de una industria a otra sino también dentro de un mismo tipo de industria. Son mucho más contaminadas que las aguas residuales urbanas, además, con una contaminación mucho más difícil de eliminar, pueden tener mayores cargas de metales pesados como las procedentes de industrias galvánicas y elevadas cargas de materia orgánica en industria de alimentos.
Su alta carga unida a la enorme variabilidad que presentan, hace que el tratamiento de las aguas residuales industriales sea complicado, siendo preciso un estudio específico para cada caso [23].

Aspecto Ambiental: Elementos, actividades, productos o servicios de una organización que pueden interactuar con el ambiente. Un aspecto ambiental significativo es aquel que tiene o puede tener un impacto sobre el ambiente [24].

Autodepuración: Proceso natural por el cual los sistemas acuáticos reducen la carga contaminante presente ya sea por causas antrópicas y/o naturales; consiste en procesos químicos y biológicos que producen la degradación de la materia orgánica, convirtiéndola en compuestos más simples, para lo que es necesaria la presencia de oxígeno [23]

Autorregulación: Propiedad de los ecosistemas, capacidad de recuperación o compensación frente a un impacto o perturbación externa que producen modificaciones estructurales y dinámicas [23].

Bombo o Fulón: Contenedor cilíndrico de madera, que gira suspendido por su eje central a través de un motor eléctrico, donde las pieles giran produciendo un roce entre ellas y un golpeteo contra las paredes del Fulón, haciendo que los productos químicos implementados en cada una de las operaciones, penetre los poros de la piel y se lleven a cabo los cambios en la misma [25].

Cal: Sustancia alcalina de color blanco o blanco grisáceo que al contacto del agua, se hidrata o se apaga, con desprendimiento de calor. Su fórmula química es óxido de calcio (CaO). Cuando se hidrata forma hidróxido de calcio o cal apagada ($Ca(OH)_2$) [26].

Carnaza: Capa inferior de la piel o cuero, constituida por tejido adiposo y tejido muscular [27].

Contaminación: Es la alteración del estado de equilibrio de un ecosistema por la adición de sustancias que en condiciones normales no se encuentran presentes, o que si lo están, han aumentado o disminuido significativamente las concentraciones normales. Estas sustancias pueden ser de tipo químico, biológicos, sonoro, visual, material, y pueden encontrarse en el aire y atmosfera, en el agua y en el suelo.

La contaminación puede ser de carácter artificial o natural, esta última se puede deber a incendios, erupciones volcánicas, entre otros, pero los más frecuentes se producen por restos animales, vegetales, y minerales que pueden combinarse con cuerpos de agua y alterar las condiciones naturales de este. La artificial es producida por las malas prácticas del hombre tanto en la industria como en el desarrollo de las actividades rutinarias de vida de la persona [28].

Contaminación del agua: La acción y el efecto de introducir materias, o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica. Esta puede producirse por actividades domésticas, industriales, o agrícolas [28].

Contaminante: Cualquier factor cuya presencia en un determinado ambiente y circunstancia, constituyan o desencadenen contaminación. Toda materia, sustancia, o sus combinaciones, compuestos o derivados químicos y biológicos, (humos, gases, polvos, cenizas, bacterias, residuos, desperdicios y cualquier otro elemento), así como toda forma de energía (calor, radiactividad, ruido), que al entrar en contacto con el aire, el agua, el suelo o los alimentos, altera o modifica su composición y condiciona el equilibrio de su estado normal [29].

Curtido: Comprende la estabilización de la piel mediante el uso de agentes curtientes que proporcionan características de resistencia y preservación [27].

Capacidad de asimilación y dilución: Capacidad de un cuerpo de agua para aceptar y degradar sustancias, elementos o formas de energía, a través de procesos naturales, físicos químicos o biológicos sin que se afecten los criterios de calidad e impidan los usos asignados [30].

Carga contaminante: Es el producto de la concentración másica promedio de una sustancia por el caudal volumétrico promedio del líquido que la contiene determinado en el mismo sitio; en un vertimiento se expresa en kilogramos por día (kg/d) [28].

Concentración de una sustancia, elemento o compuesto en un líquido: La relación existente entre su masa y el volumen del líquido que lo contiene [30].

Cuerpo de agua: Sistema de origen natural o artificial localizado, sobre la superficie terrestre, conformado por elementos físicos-bióticos y masas o volúmenes de agua, contenidas o en movimiento [30].

DBO_5: Demanda Bioquímica de Oxigeno (en mg/l). Es la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer biológicamente la materia orgánica carbonácea. Se determina en laboratorio a una temperatura de 20º C y en 5 días. La técnica analítica para determinarlo se encuentra explicada en el anexo 5 [22].

Descarga: Vertido de aguas residuales crudas o tratadas en un cuerpo receptor [30].

Desencale: Proceso que remueve el sulfuro de sodio y la cal de la piel, contenidos en el baño de pelambre y que produce el deshinchamiento de las pieles. Con este propósito se utilizan sales de reacción ácida como el sulfato de amonio. También se adicionan enzimas proteolíticas y bacteriales con el fin de modificar la proteína de las fibras de la piel y convertirla en un material suave y flexible que facilite la penetración de los curtientes [31].

DQO: Demanda Química de Oxígeno (en mg/l). Cantidad de oxigeno necesario para descomponer químicamente la materia orgánica e inorgánica. Se determina en laboratorio por un proceso de digestión con un oxidante fuerte como el dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) en un lapso de 3 horas [22].

Degradación: Es la pérdida de las cualidades de un ecosistema que incide en la evolución natural del mismo, provocando cambios negativos en sus componentes y condiciones como resultado de las actividades humanas [30].

Desechos sólidos: Cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido que se abandona, bota o rechaza después de haber sido consumido o usado en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios e instituciones de salud y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico. Se dividen en aprovechables y no aprovechables [30].

Flóculos: Partícula o grumo de materia orgánica formado por agregación de sólidos en suspensión [22].

Indicador: Medida cuantitativa que puede usarse como guía para controlar y valorar la calidad de las diferentes actividades. Es decir, la forma particular (normalmente numérica) en la que se mide o evalúa cada uno de los criterios [1].

Indicador ambiental: Variables que señalan la presencia o condición de un fenómeno que no puede medirse directamente y afecta al medio ambiente [1].

Impacto ambiental: Cualquier cambio en el ambiente, sea adverso o beneficioso, resultante de las actividades, productos o servicios de una organización. Alteración favorable (Impacto Positivo) o desfavorable (Impacto negativo) en el medio o en alguno de los componentes del medio producido [24].

Lodo: Suspensión de un sólido en un líquido proveniente de tratamiento de aguas, residuos líquidos u otros similares [32].

Materia Orgánica: Es aquella que se encuentra conformada por moléculas orgánicas que contienen carbono, la podemos hallar en las raíces, en los animales, en los organismos muertos y en los restos de alimentos tratamiento-de-agua-potable/municipal-e-industrial [32].

Muestra puntual: Una muestra recogida en un lugar y momento determinado que representa la composición de la fuente en ese punto, tiempo y circunstancias particulares en las que se realizó su captación [33].

Norma de vertimiento: Conjunto de parámetros y valores que debe cumplir el vertimiento en el momento de la descarga [22].

Parámetro: Es aquel formado por una función establecida sobre los valores numéricos de una comunidad. Se trata, por lo tanto, de una cifra representativa que permite modelar un plano real. La utilidad de un parámetro se encuentra ante la dificultad para manipular un elevado número de datos individuales de una misma sociedad [22].

pH: (Potencial de Hidrogeno). Medida química de la acidez o alcalinidad de una solución o sustancia. Representa el logaritmo negativo en base 10 de la actividad de los iones de hidrónio de solución en moles por litro. Si es inferior a 7, corresponde a una solución ácida, si es mayor (hasta 14) corresponde a una solución alcalina y si es igual a 7es una solución neutra.

Políticas ambientales: Es el conjunto de los esfuerzos políticos para conservar las bases naturales de la vida humana y conseguir un desarrollo sustentable [34].

Punto de descarga: Sitio o lugar donde se realiza un vertimiento al cuerpo de agua, al alcantarillado o al suelo [22].

Reúso del agua: Utilización de los efluentes líquidos previo cumplimiento del criterio de calidad [22].

Prevención: Conjunto de medidas y acciones dispuestas con anticipación al fin de evitar la ocurrencia de un impacto ambiental desfavorable o de reducir sus consecuencias sobre la población, los bienes, servicios y el ambiente [9].

Pre-tratamiento: Proceso previo que tiene como objetivo remover el material orgánico e inorgánico suspendido o material orgánico flotante del agua antes de los siguientes tratamiento. Procesos de tratamiento localizados antes del tratamiento primario [23].

Producción Limpia: Reorientación de los sectores productivos, dentro de una dimensión ambiental hacia formas de gestión y uso de tecnologías ambientalmente sanas, aumentando la eficiencia en el uso de recursos energéticos e hídricos, sustitución de insumos, optimización de procesos, modificación de productos y minimización de basuras y residuos sólidos [11].

Soluciones individuales de saneamiento: Sistemas de recolección y tratamiento de aguas residuales implementados en el sitio de origen [11].

Sulfuros: Son compuestos de diversos minerales combinados con el azufre. En química, un sulfuro es la combinación del azufre con un elemento químico como los iones sodio o calcio para formar el sulfuro correspondiente. Hay unos pocos compuestos covalentes con el azufre, como el disulfuro de carbono, y el sulfuro de hidrógeno que son también considerados como sulfuros [35].

Tratamiento: Conjunto de operaciones que buscan reducir o eliminar la contaminación del agua o el suelo. Puede hablarse de tratamiento de aguas (para mitigar las características no deseables en este líquido) o tratamiento de residuos (para minimizar el material a confinar, ya sea a través del reciclaje u otros métodos) [36].

Tratamiento convencional: Se entiende como métodos para potabilizar las aguas, con los siguientes procesos y operaciones: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección [36].

Titulación: es un método para determinar la cantidad de una sustancia presente en solución. Una solución de concentración conocida, llamada solución valorada, se agrega con una bureta a la solución que se analiza. En el caso ideal, la adición se detiene cuando se ha agregado la cantidad de reactivo determinada en función de un cambio de coloración en el caso de utilizar un indicador interno, y especificada por la siguiente ecuación de la titulación.

la titulación es un proceso en el cual la solución estándar (del patrón primario) se combina con una solución de concentración desconocida para determinar dicha concentración, la curva de titulación es la gráfica que indica como el pH de la solución cambia durante el transcurso de la misma (el pH se gráfica contra el

volumen de base o ácido agregado). Entonces podría entenderse como final de la titulación al momento en que el pH llegase a 7, sin embargo, esto está en función de la “fuerza” del ácido o la base que se están titulando [37].

Vertimiento: Descarga final a un cuerpo de agua, a un alcantarillado o al suelo, de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido [23].

3.4. MARCO INSTITUCIONAL

Las organizaciones que tienen relación con la ejecución de este proyecto son el gremio de curtiembres especialmente las ubicadas en la ciudad de Bogotá (San Benito) puesto que el modelo de replica que se tomo fue el utilizado en las curtiembres de este sector y serán las beneficiadas si toman en cuenta este manejo eficiente que se le da al principal recurso utilizado, el agua; la universidad Santo Tomás (sede central de Bogotá), quien es el que brinda la oportunidad y las instalaciones para el desarrollo de este tipo, contribuyendo con la realización de toda la parte experimental de este proyecto; y la población del área de influencia directa del sector productivo, ubicada en la localidad de Tunjuelito.

- **Gremio de curtiembres en San Benito:** En la ciudad de Bogotá la mayor presencia de curtiembres es en sector de San Benito, contribuyendo económicamente a este sector. Pero este desarrollo económico y crecimiento industrial, ha traído consigo consecuencias perjudiciales para el medio ambiente, aunque se genera empleo para más de 2 mil personas de forma directa, se evidencia un deterioro ambiental en la calidad del agua, usos del suelo y la generación de malos olores, lo que damnifica tanto al gremio como a los mismos ciudadanos presentes en el barrio San Benito.

- **Universidad Santo Tomás:** Promueve la formación integral de las personas, en el campo de la educación superior, mediante acciones y procesos de enseñanza-aprendizaje, investigación y proyección social, para que respondan de manera ética, creativa y crítica a las exigencias de la vida humana y estén en condiciones de aportar soluciones a la problemática y necesidades de la sociedad y del país [32].

- **Población del área de influencia directa del sector productivo:** Como el barrio que mayor influencia tiene en la ciudad de Bogotá, es San Benito ubicado en la localidad de Tunjuelito, tiene un predominio de afectaciones en la población que habita este sector, ya que las prácticas de curtido convencionales producen efectos perjudiciales en la población, puesto que la falta de tratamiento de las aguas residuales, la inadecuada disposición final de los residuos, genera taponamiento del sistema de drenaje del barrio, lo que causa inundaciones frecuentes en la zona, sin tener en cuenta los cambios

químicos producidos en las corrientes acuáticas del Rio Tunjuelo y la quebrada Chiguaza, ya que los vertimientos provenientes de la industria presentan variaciones de pH entre 2,5 y 12,0, afectando de forma significativa la vida acuática en la cuenca baja del rio Bogotá, concentraciones elevadas de sulfuros y materia orgánica [33].

3.5. MARCO LEGAL

Marco normativo y legislación ambiental aplicable, para el control de vertimientos a nivel nacional y distrital, que cubre las actividades de la industria curtidora colombiana.

Tabla 2. Marco legal aplicable a vertimientos en el proceso productivo del cuero

Norma	Año y Nivel de la norma	Artículos de mayor importancia	Nombre de la reglamentación Descripción
Ley 99	1993 Nacional		Por la cual se crea el MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, se ordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables. Se organiza el SINA y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1449	1977	Art. 2	En relación con la conservación, protección y aprovechamiento de las aguas, establece lineamientos para los propietarios de predios
Decreto 1541	1978	Art 211, 212, 218 y 219.	Control de Vertimientos de agua residual sin previo tratamiento.
		Art.220 a 225	Vertimiento por uso doméstico y municipal y doméstico.
		Art 226 a 230.	Vertimiento por uso industrial.
Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento Básico	RAS 2000	Titulo F	Se reglamentan y estipulan los parámetros necesarios para el diseño, implementación y mantenimiento de un sistema de tratamiento de agua residual.

Decreto 1594	1984	Art 20 - 21	En los cuales se consideran las sustancias de interés sanitario y de vital importancia en cuanto a vertimientos se refiere.
		Art. 29	Se tendrán en cuenta los siguientes usos del agua: Consumo humano y doméstico; Preservación de flora y fauna; Agrícola; Pecuario; Recreativo; Industrial; Transporte
		Art. 37 - 40	Criterios de calidad para destinación del recurso en los distintos usos del agua.
Ley 373	1997		Se establecen parámetros para la creación de programas de uso eficiente y ahorro del agua.
Decreto 2667	2012	Art 22	Se establecen parámetros para determinar tasas retributivas y el monto del recaudo, por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos en cuanto a la carga contaminante Monitoreo de vertimientos.
Decreto 2811	1974		Código nacional de los recursos naturales renovables RNR y no renovables y de protección al medio ambiente. Regula el manejo de los RNR, la defensa del ambiente y sus elementos. Usos de agua y residuos líquidos.
		Art 72	Se definen las normas de vertimiento a los cuerpos de agua, así como las concentraciones para el control de la carga de las sustancias de interés sanitario.
		Art 141	Se establecen los procedimientos para que las autoridades conjuren situaciones de alto riesgo para la salud y por lo tanto se les faculta para modificar, incluir, ampliar o restringir las normas de vertimiento o lo criterios de calidad.
Decreto 1299	2008		Por el cual se reglamenta el departamento de gestión ambiental de las empresas a nivel industrial y se dictan otras disposiciones.
Decreto 901	1997		Tasas retributivas por vertimientos líquidos puntuales a cuerpos de agua.

<table>
<tr><td rowspan="4">Decreto 3930</td><td rowspan="4">2010</td><td>Art 41 – 59</td><td>Establece lineamientos para permisos de vertimientos, renovación de los mismos y sanciones por incumplimiento.</td></tr>
<tr><td>Art 61- 64</td><td>Gestión de vertimientos en cuanto a tecnologías limpias y su aplicación.</td></tr>
<tr><td>Art 65 - 73</td><td>Marca los parámetros de la reglamentación de vertimientos y sistemas de tratamientos.</td></tr>
<tr><td>Art 74 - 79</td><td>Registro y control de permisos para vertimientos.</td></tr>
<tr><td>Decreto 4728</td><td>2010</td><td></td><td>Se realizan modificaciones parciales en el decreto 3930</td></tr>
<tr><td>Resolución 1074</td><td>1997</td><td>Art. 3</td><td>Todo vertimiento de residuos líquidos a la red de alcantarillado público y/o a un cuerpo de agua, deberá cumplir con los estándares establecidos en la siguiente tabla:
<table>
<tr><th>PARÁMETRO</th><th>EXPRESADA COMO</th><th>NORMA(mg/L)</th></tr>
<tr><td>DBO5</td><td>(mg/l)</td><td>1000</td></tr>
<tr><td>DQO</td><td>(mg/l)</td><td>2000</td></tr>
<tr><td>Ph</td><td>Unidades</td><td>5 - 9</td></tr>
<tr><td>Sólidos sedimentables</td><td>SS (mg/l)</td><td>2.0</td></tr>
<tr><td>Sólidos suspendidos Totales</td><td>SST (mg/l)</td><td>800</td></tr>
<tr><td>Sulfuro de carbono</td><td>Sulfuro de carbono (mg/l)</td><td>1.0</td></tr>
</table>
(*) Se tomaron solo los parámetros que se van a tener en cuenta durante este proyecto</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Resolución 3956</td><td rowspan="3">2009 SDA</td><td>Art 5 – 7</td><td>Generalidades del permiso de vertimientos.</td></tr>
<tr><td>Art 8 y 9</td><td>Se definen las causales de suspensión y revocatoria del permiso de vertimientos.</td></tr>
<tr><td>Art 10 y 11</td><td>Se determinan los tipos de vertimientos permitidos a corrientes principales.</td></tr>
</table>

		Art 12 – 15	Se clasifican los tipos de vertimientos no permitidos.
		Art 16 – 20	Se establecen los parámetros para análisis y muestreo de los efluentes
		Art 21 y 22	Visitas de inspección y sanciones pertinentes
Resolución 339	1999	Art 4	Control de vertimientos por parte del DAMA.
Resolución 3957	2009 SDA	Capítulo 5	Por lo cual se establece la norma técnica, para el control y manejo de los vertimientos realizados a la red de alcantarillado público del Distrito Capital. Vertimientos Permitidos.
Decreto 4742	2005	Art 1	Modifica el art 12 del decreto 155 de 2004, donde se calcula el monto a pagar por la utilización del agua.

Fuente: Elaboración propia

4. DESARROLLO CENTRAL

En este capítulo se representan y describen las características principales de la metodología que fue utilizada en la realización de esta investigación para la obtención de las aguas residuales de la operación de desencale y así determinar su posterior reúso en las diferentes tipos de agua como: vertimientos para flora y fauna, uso doméstico, uso agrícola o en la misma industria, con base al decreto 1594 de 1984. Este involucra matriz de experimentos, escenarios experimentales, variables a medir y proceso de medición.

4.1. MATRIZ DE EXPERIMENTOS

4.1.1. Matriz de Determinación de parámetros fisicoquímicos

Para determinar los parámetros fisicoquímicos a tener en cuenta, se planteó la siguiente matriz experimental.

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos del agua residual del proceso de desencale a nivel laboratorio

PARÀMETRO	MÈTODO	DETERMINACIÒN
pH	Electrométrico	X
Sulfuros	Titulométrico	X
DBO_5	Prueba DBO 5 días. Espectrofotometría	X
DQO	Titulométrico - Espectrofotometría. Reflujo cerrado	X
Sólidos en Suspensión	Gravimetría. STS secados de 103-105ºC	X

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Matriz de Evaluación del porcentaje de remoción de sólidos suspendidos en la filtración

Para evaluar la remoción (%) de sólidos suspendidos, se planteó la siguiente matriz experimental, donde se utilizaron las aguas residuales de los dos lavados para realizar la filtración con los dos tipos de malla:

Tabla 4. Porcentaje de Remoción

TAMAÑO DE MALLA MESH* (mm)	MUESTRA	% DE REMOCION
100	M1 AR1	X
	M1 AR2	
	M2 AR1	
	M2 AR2	
	M3 AR1	
	M3 AR2	
200	M1 AR1	X
	M1 AR2	
	M2 AR1	
	M2 AR2	
	M3 AR1	
	M3 AR2	

Fuente: Elaboración propia.

(*) Mesh: Referencia norteamericana que se refiere al número de orificios que hay por pulgada lineal en filtros de malla de acero inoxidable

(**) M: Muestra

(***) AR: Agua Residual

4.1.3. Matriz de experimentación y evaluación de procesos de tratamiento de agua residual

Para evaluar los procesos de tratamiento de agua residual (2 aguas residuales) por cada ensayo (3 ensayos) en la etapa de desencale, se planteó la siguiente matriz experimental:

Tabla 5. Procesos de Tratamiento de Agua Residual

Muestra	Coagulantes y Floculantes		Filtros Absorbentes		Oxidantes	
	Alumbre	Policroruro	Carbón Activado	Arena Sílice	Hipoclorito de sodio	Peróxido de hidrógeno
M1 AR1	X	X	X		X	
						X
M1 AR1			X	X		
M1 AR2	X	X	X		X	
						X
M2 AR1	X	X	X			

M2 AR1				X		
M2 AR1			X	X	X	
						X
M2 AR2			X			
M2 AR2	X	X		X		
M2 AR2			X	X	X	
						X
M3 AR1	X	X	X			
M3 AR2			X			
M3 AR2	X	X		X		
M3 AR2			X	X	X	
						X

Fuente: Elaboración propia.

(*)M: Muestra
(*)AR: Agua Residual

4.1.4. Matriz de evaluación de la capacidad de reutilización del agua

Se determinan nuevamente los parámetros hallados al agua sin tratar para evaluar la capacidad de reutilización del agua, para esto se planteó la siguiente matriz experimental

Tabla 6. Parámetros para la evaluación del agua

Muestra	pH	DQO mg/L	DBO_5 mg/L	ST mg/L	Turbiedad UNT	Conductividad mS/cm	Sulfuros mg/L
M1 AR1	X	X	X	X	X	X	X
	X	X	X	X	X	X	X
M1 AR1	X	X	X	X	X	X	X
M1 AR2	X	X	X	X	X	X	X
	X	X	X	X	X	X	X
M2 AR1	X	X	X	X	X	X	X

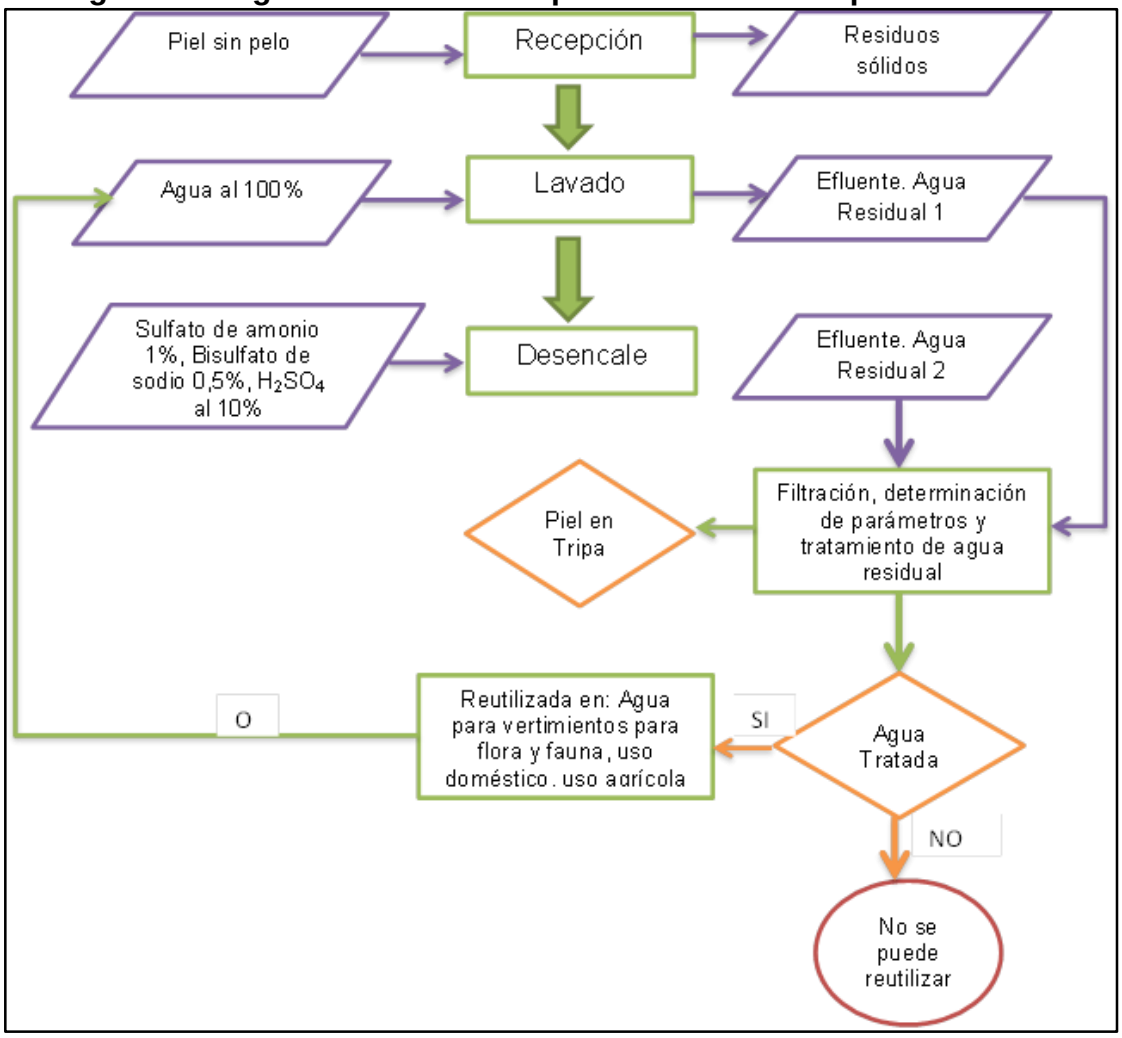
M2 AR1	X	X	X	X	X	X	X
M2 AR1	X	X	X	X	X	X	X
	X	X	X	X	X	X	X
M2 AR2	X	X	X	X	X	X	X
M2 AR2	X	X	X	X	X	X	X
M2 AR2	X	X	X	X	X	X	X
	X	X	X	X	X	X	X
M3 AR1	X	X	X	X	X	X	X
M3 AR2	X	X	X	X	X	X	X
M3 AR2	X	X	X	X	X	X	X
M3 AR2	X	X	X	X	X	X	X
	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: Elaboración propia

4.2. ESCENARIO EXPERIMENTAL

Se planteó un escenario experimental en el cual se realiza a escala laboratorio el proceso de desencale, este consiste en utilizar la piel sin pelo proveniente de la etapa de pelambre. Esto es presentado detalladamente mediante el siguiente diagrama.

Figura 1. Diagrama escenario experimental de la etapa de desencale



Fuente: Elaboración propia.

(*) Los porcentajes presentados en el diagrama son respecto al peso de la piel del proceso.

4.3. VARIABLES

Las variables a medir en el escenario planteado anteriormente son de tipo cuantitativo y cualitativo, las cuales corresponden a las características fisicoquímicas del efluente de la operación de desencale (sulfuros y pH) y la visualización del deshinchamiento de la piel y el color que esta toma al agregar agentes desencalantes; estas variables fueron seleccionadas ya que permiten determinar qué cantidad de ácido se debe adicionar (H_2SO_4) para neutralizar el agua puesto que esta parte es importante en el proceso de desencale y así garantizar el aprovechamiento de los insumos en la operación sin necesidad de aumentar en gastos, identificar la calidad del producto obtenido, manifestar el cumplimiento normativo ambiental colombiano y formular un tratamiento final del

agua residual. Se realizaron determinaciones de sulfuros, DQO, DBO_5, sólidos totales, turbiedad y conductividad para los efluentes generados por esta etapa y así se realizó la comparación con el tratamiento previo que estas aguas tuvieron, definiendo la reutilización de estas.

4.4. PROCESOS DE MEDICIÓN

El proceso de medición efectuado consistió en la determinación de las características fisicoquímicas de las aguas residuales al finalizar cada operación de desencale y posterior al tratamiento del agua, como primera observación se toma el pH del agua que tiene que encontrarse neutro para dar por finalizada esta etapa, posteriormente se realizó un corte transversal a la piel para observar que esta también se encuentre neutra y no presente hinchamiento eliminando su estado parecido a una goma, y finalmente aplicando los Standard Methods publicados por la *American Public Health Association y American wáter Works Association* [34] *(***Ver Tabla 7***),* se realiza la determinación de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales antes y después del tratamiento.

Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos medidos en las aguas residuales como resultado del proceso de desencale

Parámetro Fisicoquímico	Código SM*	Método
pH	4500B	Electrometría
Sulfuros	4500E	Titulometría
DBO_5	5210B	Espectrofotometría visible
DQO	5220C	Espectrofotometría visible
Solidos totales en suspensión	2540D	Gravimetría
Conductividad	2510B	Conductimetría
Turbiedad	2130B	Turbimetría

Fuente: Elaboración propia.

(*) SM: Estándar Métodos

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL DESENCALE, DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE ESTE PROCESO Y DE SU CAPACIDAD DE REUTILIZACIÓN

5.1. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN BOMBO PARA REALIZAR LA OPERACIÓN DE DESENCALE A ESCALA DE LABORATORIO

Para el diseño y posterior construcción del bombo se tuvieron en cuenta las características principales y más importantes de un fulón en una curtiembre para luego a escala más pequeña realizar el dimensionamiento y construcción de un bombo a nivel planta piloto, con la visita técnica realizada a la curtiembre “El Reno” en el barrio San Benito, se encontraron las características estructurales y de funcionamiento requeridas para el desarrollo de la operación de desencale a escala de laboratorio. Los parámetros de diseño tenidos en cuenta para determinar la potencia del motor requerida fueron: Velocidad de rotación se tomaron como referencia 6 rpm debido a que es la velocidad de giro utilizada en la operación de desencale, y, el peso total que soportará el motor correspondiente al peso del bombo más su contenido, según su capacidad.

5.1.1. Estructura

Se identificaron los materiales más adecuados como el acrílico para permitir observar el proceso de desencale en elaboración de un bombo, teniendo en cuenta también el soporte de este (Ver Imagen 4 y Ver figura 2).

Imagen 4. Características Estructurales del Bombo

Fuente: Autor.

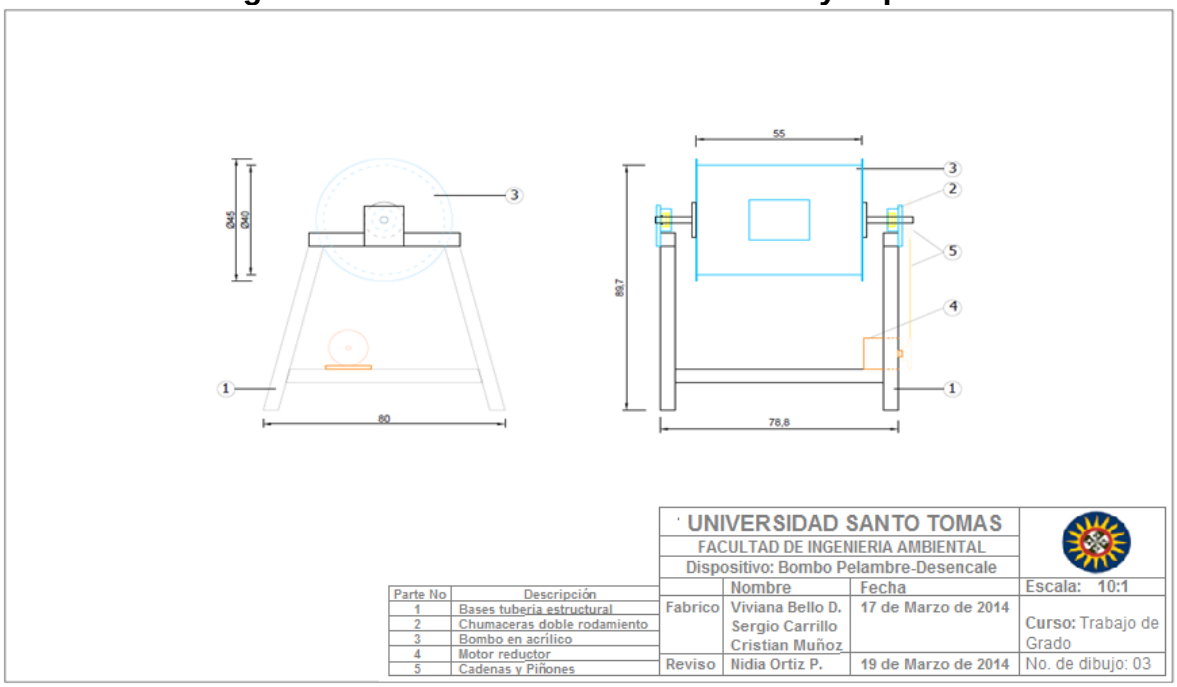
1. Bombo: Con un diámetro de 45 cm y de largo 55 cm. Se escogió el material acrílico especialmente transparente con el fin de observar el proceso, también por

la resistencia al uso de productos químicos como agentes desencalantes y ácido para neutralizar el pH en esta operación de desencale.

2. Soporte: Con medidas de 80 x 60 x 70 cm. Material acero, puesto que este material ayuda a que haya una resistencia mecánica.

3. Chumaceras: El material de estas es de nylon debido a la disponibilidad del material y tiene una resistencia mecánica importante.

Figura 2. Plano de dimensiones bombo y soporte



Fuente: Elaboración propia.

5.1.2. Funcionamiento del bombo (Ver anexo 1)

El funcionamiento del bombo está dado por el motor, su potencia. El tipo y número de piñones que son necesarios para trabajar a una velocidad de 6 revoluciones por minuto (rpm) y el tamaño de la cadena puesto que los piñones pueden cambiar su tamaño para reducir la velocidad y para esto es necesario realizar un cambio de cadena.

5.1.2.1. Motor.

Es necesario para que se realice un movimiento mecánico al bombo y así se realice la operación de desencale. La potencia del motor requerida se definió a partir del diámetro del bombo, la velocidad de rotación de la operación de desencale, y la masa total que soportara el motor correspondiente a la masa del

material del bombo más el supuesto que estuviera lleno de agua; su cálculo se presenta a continuación:

Ecuación 1. Potencia de un motor [35]:

$$\boldsymbol{Potencia\ \ Motor} = \pi * D\ * rpm * m * g \text{ (Ecuación 1)}$$

Dónde:
π: Pi. Relación entre la longitud de una circunferencia y su diámetro.
D: Diámetro (m).
rpm: Revoluciones por minuto (min^{-1}).
m: Masa (Kg).
g: Constante gravitacional (m/s^2).

Obteniendo así:

$$\boldsymbol{Potencia\ \ Motor} = \pi * 0{,}45m * 6\ rev/min * 1min/60\ s * m * 9{,}8m/s^2$$

- La masa total (**m**) hace referencia a la suma de la masa del acrílico y de la cantidad de agua máxima contenida en el bombo, así:

Ecuación 2. Masa del acrílico:

$$\boldsymbol{Masa\ \ Acrílico} = Densidad\ del\ acrílico * Vol.Acrílico \text{ (Ecuación 2)}$$
$$\boldsymbol{Masa\ \ Acrílico} = 1190\ Kg/m^3 * Vol.Acrílico$$
$$\boldsymbol{Masa\ \ Acrílico} = 1190\ Kg/m^3 * 0{,}0044\mathrm{m}^3$$
$$\boldsymbol{Masa\ \ Acrílico} = 5{,}25\ Kg$$

$$\boldsymbol{Vol.Acrílico} = Vol\ tapas\ externas + Vol\ tapas\ internas + Vol\ cuerpo\ cilindrico\ hueco$$

$$\boldsymbol{Vol.Acrílico} = (numero\ de\ tapas\ externas * \pi * h * r^2) + (numero\ de\ tapas\ internas * \pi * h * r^2) + (\pi * h * (R_{ext}^2 - r_{int}^2))$$

$$\boldsymbol{Vol.Acrílico} = (2 * 3{,}1416 * 0{,}004m * (0{,}225m)^2) + (2 * 3{,}1416 * 0{,}008m * (0{,}095m)^2) + (3{,}1416 * 0{,}54m * ((0{,}2m)^2 - (0{,}196m)^2))$$
$$\boldsymbol{Volumen\ acrilico} = 0{,}0044\mathrm{m}^3$$

Ecuación 3. Masa de la cantidad de agua máxima contenida en el bombo

$$\boldsymbol{Masa\ de\ agua} = densidad\ del\ agua * vol\ agua\ en\ el\ bombo \text{ (Ecuación 3)}$$
$$\boldsymbol{Masa\ de\ agua} = 1000\ Kg/m^3 * 0{,}065M^3$$
$$\boldsymbol{Masa\ de\ agua} = 65{,}17\ Kg$$

Ecuación 4. Masa Total bombo lleno

$$\boldsymbol{Masa\ total} = masa\ acrilico + masa\ del\ agua\ en\ el\ bombo \quad \text{(Ecuación 4)}$$
$$\boldsymbol{Masa\ total} = 5{,}25\ kg + 65{,}17\ Kg$$
$$\boldsymbol{Masa\ total} = 70{,}42\ kg$$

- Para determinar la potencia del motor fue necesario determinar la masa total remplazando en la ecuación No. 1, obtenemos:

$$\boldsymbol{Potencia\ motor} = 3{,}1416 * 0{,}45m * 6\ rev/min * 1\ min/60\ s * 70{,}42\ Kg * 9{,}8\ m/s^2$$

$$\boldsymbol{Potencia\ motor} = 97{,}56\ w * 1\ hp/746\ w$$
$$\boldsymbol{Potencia\ motor} = 0{,}13\ hp$$

- La potencial motor es la potencia teórica, sin embargo se requiere la potencia real del motor, la cual se determinó así:

Ecuación 5. Potencia real motor

$$\boldsymbol{Potencia\ real\ motor} = \frac{Potencia\ teorica}{0{,}7}$$

$$\boldsymbol{Potencia\ real\ motor} = 0{,}18\ hp$$

La potencia del motor requerida para realizar la operación de desencale a nivel de laboratorio es de 0,18 hp y 6 de velocidad de rotación. Pero teniendo en cuenta la disponibilidad económica y comercial de un motor con dichas características se selecciona un motor de segunda de ¼ hp a 2 rpm marca Dayton y posteriormente por medio de piñones se ajustan las velocidades de rotación requeridas.

5.1.2.2. Piñones y Cadena.

Para definir el tipo y número de piñones requeridos, teniendo en cuenta la velocidad del motor y de las operaciones de desencale, la cual es de 6 rpm respectivamente, también se debe tener en cuenta la carga en movimiento del bombo para así establecer el paso y tamaño de la cadena.

Con esta información anteriormente explicada se estipula lo siguiente:

1. Como el sistema que se emplea para la realización de la etapa de desencale, necesita un piñón Motorreductor con el fin de utilizar diferentes velocidades y así emplear el bombo en diferentes etapas del proceso productivo. Se realizó la definición del piñón de salida del Motorreductor de tal forma que al establecer

futuras relaciones con los piñones de pelambre y desencale resulten piñones con un área de manzana suficiente para colocar prisioneros permitiendo a estos asegurar los piñones al eje. Para esto se encontró adecuado utilizar un piñón paso 40 B de 36 dientes.

2. Se determina el piñón del eje del bombo a partir del piñón de salida del Motorreductor definido anteriormente y las velocidades de rotación del Motorreductor y de las operaciones desencale, se calculó la relación de velocidades de la siguiente manera:

Ecuación 6. Relación de velocidades [36].

$$\boldsymbol{R1 * Z1 = R2 * Z2}$$ **(Ecuación 6)**

Dónde:
R1= velocidad de giro piñón conductor (rpm).
R2= Velocidad de giro piñón conducido (rpm).
Z1= Numero de dientes piñón conductor (dientes).
Z2= Numero de dientes piñón conducido (dientes)**.**

Reemplazando en la ecuación 6:

$$2\ rpm * 36\ dientes = 6\ rpm * \boldsymbol{Z2}$$

$$\frac{2\ rpm * 36\ dientes}{6\ rpm} = \boldsymbol{Z2}$$

$$\boldsymbol{Z2} = 12\ dientes$$

- Con estos datos obtenidos se establece que el piñón requerido para el eje del bombo es de 12 dientes y paso 40 B, para lograr desarrollar la operación de desencale a una velocidad de 6 rpm.

3. Para determinar el tamaño de la cadena, era necesario conocer los ítems anteriormente establecidos. Realizando el siguiente cálculo:

Ecuación 7. Tamaño de la cadena [36].

$$\boldsymbol{Tamaño\ de\ la\ cadena} = 2C + \frac{S}{2} + \frac{K}{C}$$ (Ecuación 7)

Dónde:
C= Distancia entre los centros de los ejes dividida por el paso de la cadena.
S= Suma de dientes del piñón pequeño con el grande.
D= diferencia entre el número de dientes del piñón pequeño con el grande.
K= según sea la cantidad **D** este aparece en la tabla de valores de K (ver anexo 1).
Reemplazando en la ecuación 7:

$$\boldsymbol{Tamaño\ de\ la\ cadena} = 2(18.89") + \frac{48}{2} + \frac{14.59}{18.89"}$$

$$\boldsymbol{Tamaño\ de\ la\ cadena} = 62.55"$$

- Este resultado obtenido se multiplica por el paso de la cadena es decir 1” y se encuentra que es necesario utilizar una cadena de 62.55 pulgadas (1.59 metros).

5.2. DESENCALE CONVENCIONAL (Ver anexo 2)

Se realizaron tres pruebas de desencale replicando el procedimiento como el de una curtiembre, a escala de laboratorio. Se desarrolló la operación de lavado posterior al pelambre para así realizar debidamente la etapa de desencale. Al finalizar estas se realizó un filtrado con tipo malla mesh y posteriormente un tratamiento a las aguas residuales que fueron generadas en estas etapas de curtido, con el fin de disminuir el consumo de agua para diferentes actividades y facilitar la mejora de cuerpos de agua aledaños a las curtiembres si se implementa este sistema de tratamiento.

En las tablas 8, 9 y 10 se presentan las cantidades de materia prima e insumos químicos utilizados en cada prueba realizada en la réplica de la etapa de desencale.

Tabla 8. Cantidades de materia prima y productos químicos utilizados en la primera prueba de la etapa de desencale

Prueba Número		1	
Número de muestra		1	
Aguas Residuales		2	
Peso total de la muestra, piel (Kg)		2,8	
Insumos \ **Operación**		**Lavado**	**Desencale**
Agua	L	2,8	2,8
	%	100	100
Sulfato de amonio	Kg		0,028
	%		1
Bisulfito de sodio	Kg		0,14
	%		0,5
Ácido sulfúrico	L		0,035
	Concentración		10%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Cantidades de materia prima y productos químicos utilizados en la segunda prueba de la etapa de desencale

Prueba Número		1	
Número de muestra		1	
Aguas Residuales		2	
Peso total de la muestra, piel (Kg)		2,58	
Insumos \ **Operación**		**Lavado**	**Desencale**
Agua	L	2,58	2,58
	%	100	100
Sulfato de amonio	Kg		0,025
	%		1
Bisulfito de sodio	Kg		0,01291
	%		0,5
Ácido sulfúrico	L		0,027
	Concentración		10%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Cantidades de materia prima y productos químicos utilizados en la tercera prueba de la etapa de desencale

Prueba Número		1	
Número de muestra		1	
Aguas Residuales		2	
Peso total de la muestra, piel (Kg)		2,42	
Insumos \ **Operación**		**Lavado**	**Desencale**
Agua	L	2,42	2,42
	%	100	100
Sulfato de amonio	Kg		0,024
	%		1
Bisulfito de sodio	Kg		0,012
	%		0,5
Ácido sulfúrico	L		0,050
	Concentración		10%

Fuente: Elaboración propia.

5.2.1. Lavado.

Después de que la piel haya pasado por el proceso de pelambre y antes de realizar el desencale como tal, se debe realizar un lavado el cual debe llevar el 100 % de agua con respecto al peso de la piel, durante 30 minutos con el fin de remover algunos sulfuros aun presentes y residuos de pelo.

5.2.2. Desencale.

La finalidad de este proceso es eliminar la cal presente en la piel, para esto es necesario realizar durante 4 horas un proceso donde agentes desencalantes como el sulfato de amonio y el bisulfito hacen que este proceso se lleve a cabo, sin embargo como la piel viene en un estado alcalino es necesario neutralizar su pH y para esto es necesario adicionarle ácido sulfúrico diluido al 10%, hasta llegar a tener un pH entre 7-9.

5.2.3. Comprobación.

Para determinar si la etapa de desencale se realizó correctamente se tiene que realizar un corte y con fenolftaleína determinar si la piel se encuentra totalmente desencalada, si al colocar este indicador la piel no tiene ninguna presencia de color rosado esto indica que la piel cumplió la etapa de desencale correctamente.

5.3. FILTROS TIPO MALLA MESH

Se utilizó como filtro mallas mesh, seleccionando 2 filtros, en este caso se tuvieron en cuenta uno de malla 100 código mesh y otro de malla 200 código mesh, que corresponden a 100 y 200 orificios por pulgada lineal, con el fin de separar y retirar de forma mecánica los sólidos en suspensión presentes en el agua de operación de desencale en la producción del cuero. Como lo primero que se realiza en la etapa de desencale es un lavado a la piel que proviene de la etapa de pelambre, entonces se realizó una filtración para retener sólidos en suspensión que quedan del proceso de pelambre como piel o carnaza que no ha sido removida en su totalidad en esa etapa. Cuando se realiza la etapa de desencale como tal, después de realizar el lavado se procedió a realizar el procedimiento de desencale a escala de laboratorio, el agua que sale de ese proceso fue filtrada con los 2 tipos de mallas y se determinó cuál fue la más eficiente

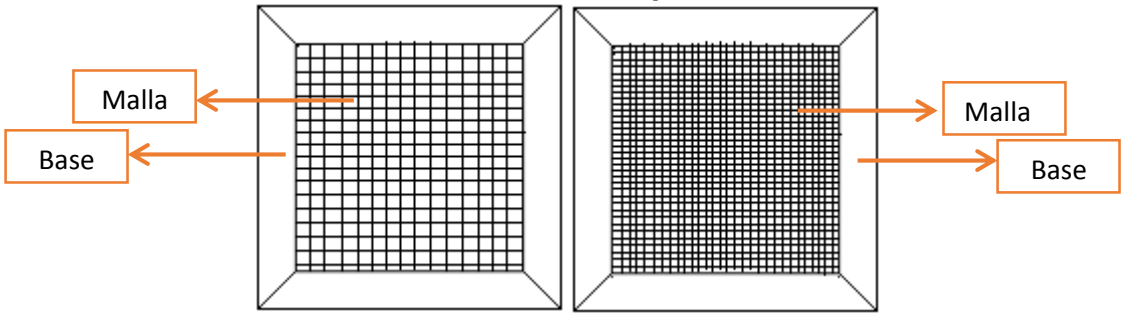
5.3.1. Ventajas de los filtros tipo malla mesh.

- Fácil extracción de residuos sólidos, lo cual permite realizar su adecuada gestión por medio del aprovechamiento o disposición final de los residuos
- Operación sencilla
- Bajos costos de operación y mantenimiento.
- Resistencia a la corrosión.
- Tiempo.

5.3.2. Diseño de los filtros.

Se realizaron 2 tipos de filtro. Cada filtro tiene un dimensionamiento de 25X25 cm de malla tipo mesh, un filtro es de 100 y el otro de 200 orificios por pulgada lineal.

Gráfico 2. Diseño filtros tipo malla mesh



Fuente: Elaboración propia.

5.3.3. Características de los filtros.

Tabla 11. Filtro Tipo Mesh 100

Calibre (mm)	0.100
Abertura (mm)	0.154
Área abierta (%)	36.8

Fuente: Elaboración propia, basados en malla tejida en acero inoxidable, tomado de [37].

Imagen 5. Filtro Tipo Malla Mesh 100

Fuente: Autor.

Tabla 12. Filtro Tipo Mesh 200

Calibre (mm)	0.0533
Abertura (mm)	0.074
Área abierta (%)	33.7

Fuente: Elaboración propia, basados en malla tejida en acero inoxidable, tomado de [37].

Imagen 6. Filtro Tipo Malla Mesh 200

Fuente: Autor.

5.3.4. Evaluación de la eficiencia de los filtros tipo mesh.

La eficiencia de los filtros tipo mesh, de malla 100 y 200, que equivalen a 100 y 200 orificios por pulgada lineal, se determinará con base en el porcentaje de reducción de los sólidos suspendidos. Teniendo en cuenta un agua residual sin filtración y esta misma filtrada por los dos tipos de filtros.

Tabla 13. Eficiencia de los filtros a partir de la remoción de sólidos suspendidos.

Muestra de Agua Residual	Filtración		Sólidos Totales mg/L	Sólidos Suspendidos mg/L	Remoción (%)	Sólidos disueltos mg/L
	SI	NO				
M1 AR1		X	10114,56	1154,56	-	8960
Malla 100	X		3829,82	419,82	36,36	3410
Malla 200	X		3901,64	831,64	72,03	3070
M1 AR2		X	26122,02	1122,02	-	25000
Malla 100	X		18830,71	430,71	38,39	18400
Malla 200	X		16392,41	792,41	70,62	15600
M2 AR1		X	18816,31	916,31	-	17900
Malla 100	X		8119,08	439,08	47,92	7680
Malla 200	X		5660,38	660,38	72,07	5000
M2 AR2		X	15354,09	1054,09	-	14300
Malla 100	X		13719,51	419,51	39,80	13300
Malla 200	X		11441,65	741,65	70,36	10700
M3 AR1		X	20387,36	987,36	-	19400
Malla 100	X		6140,35	440,35	44,60	5700
Malla 200	X		5517,66	717,66	72,69	4800

M3 AR2		X	20831,45	531,45	-	20300
Malla 100	X		17426,16	221,16	41,62	17205
Malla 200	X		12223,07	373,07	70,20	11850

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta las consideraciones expuestas en la tabla anterior es posible identificar que la remoción(%) del filtro tipo malla mesh 200 es mayor que el filtro malla mesh 100. Realizando un promedio de los datos del porcentaje de remoción de los 2 tipos de filtro, el filtro tipo malla mesh 200 es mayor en un 29 % con respecto al filtro tipo 100, por esta razón se selecciona este para realizar el pre-tratamiento del agua residual de la operación de desencale.

Las cantidades de sólidos totales y sólidos suspendidos presentadas en la tabla No. 13 son el resultado de un promedio de datos obtenidos en laboratorio, donde algunos datos como los de conductividad (mS/cm) fueron utilizados para determinar sólidos disueltos (mg/L) (**Ver anexo 3**). También es importante resaltar que visualmente no se presentó un alto grado de colmataje (sirve para controlar el filtro, grado de suciedad indica de que se debe cambiar la malla) en el filtro.

5.4. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE LA ETAPA DE DESENCALE

5.4.1. Sulfuros y pH.

La aplicación de la metodología para la determinación de sulfuros y pH se puede encontrar detalladamente en el **anexo 4**, para calcular la cantidad de sulfuros se utilizó SM4500E: Método Yodométrico (Sulfuros) y el pH utilizamos papel indicador para cada muestra. A continuación se muestran los resultados obtenidos en las diferentes muestras tomadas.

Tabla 14. Datos para determinar sulfuros de la muestra 1

Parámetros	**MUESTRA 1**	
	AR1	**AR2**
V1 (mL)=	5	5
V2 (mL)=	4,4	1
C1 (N)=	0,025	0,025
C2 (N)=	0,025	0,025
F=	10	10
Vm (mL)=	1	1
Sulfuros	**240 mg/L**	**1600 mg/L**

Fuente. Elaboración propia.

(*) F: Factor de dilución muestra

Tabla 15. Datos para determinar sulfuros de la muestra 2

Parámetros	MUESTRA 2	
	AR1	AR2
V1 (mL)=	5	5
V2 (mL)=	4,8	3
C1 (N)=	0,025	0,025
C2 (N)=	0,025	0,025
F=	10	10
Vm (mL)=	1	1
Sulfuros	80 mg/L	800 mg/L

Fuente. Elaboración propia.

(*) F: Factor de dilución muestra

Tabla 16. Concentración de Sulfuros y pH en las diferentes muestras

MUESTRA	AGUA RESIDUAL	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS (mg/L)	pH
1	1	240	14
	2	1600	8
2	1	80	13
	2	800	7
3	1	-	13
	2	-	7

Fuente. Elaboración propia.

La concentración promedio de sulfuros obtenida en el agua residual excede el valor máximo establecido según la Resolución 3957 de 2009 es 5 mg/L, como también se observa en la primera agua que es obtenida que viene alcalina y lo establecido en esta resolución es que debe estar en un rango de 5-9 unidades, por lo que se comprueba que no hay cumplimiento, esto muestra que se debe realizar un tratamiento para remover sulfuros, con el fin de acogerse a lo establecido por la normatividad. Es importante resaltar que en el agua hay una disminución de sulfuros puesto que este trabajo se realizó en conjunto con el proyecto de grado “REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA OPERACIÓN DE PELAMBRE EN EL PROCESO PRODUCTIVO DEL CUERO”, donde el objetivo principal es reincorporar el agua en la operación de pelambre aprovechando el sulfuro y la cal remanente, como la piel que fue utilizada para el proceso de desencale es la misma de este proyecto en la última réplica que se realiza la presencia de sulfuros es nula .

5.4.2. Demanda Biológica de Oxigeno (DBO_5):

El análisis de DBO_5 se realizó al agua residual obtenida en las 3 muestras es decir para 6 aguas residuales de desencale, para esto se aplicó el método SM 5210 B (**Ver Anexo 5**).

Para la determinación del DBO_5 se tiene en cuenta el oxígeno disuelto de la muestra antes de ser incubada y después de pasar los 5 días, teniendo en cuenta la cantidad de la muestra que fue utilizada y el volumen del frasco winkler donde se realizó esta prueba. A continuación se presentan los resultados obtenidos del promedio de datos de 3 ensayos:

Tabla 17. DBO_5 presente en el agua residual de la etapa de desencale

MUESTRA	$OD_{(Inicial)}$ mg/L O_2	$OD_{(final)}$ mg/L O_2	DBO_5 mg/L O_2
M1 AR1	3,1	0	930
M1 AR2	2,4	0,2	660
M2 AR1	3,7	0,3	1020
M2 AR2	2,9	0,2	810
M3 AR1	3,9	0,4	1050
M3 AR2	3,5	0,2	990

VOL MUESTRA	1	ml
VOL WINKLER	300	ml

Fuente. Elaboración propia

Tabla 18. Cumplimiento Normativo para vertimientos a la red de alcantarillado

MUESTRA	DBO_5 mg/L O2	Resolución 3957 de 2009	Decreto 1594 de 1984	Resolución 1074 de 1997
		DBO_5: 800mg/L	**DBO_5:** 1000mg/L	**DBO_5:** 1000mg/L
M1 AR1	930	No cumple	Cumple	Cumple
M1 AR2	660	Cumple	Cumple	Cumple
M2 AR1	1020	No cumple	No cumple	No cumple
M2 AR2	810	No cumple	Cumple	Cumple
M3 AR1	1050	No cumple	No cumple	No cumple
M3 AR2	990	No cumple	Cumple	Cumple

Fuente. Elaboración propia.

Al determinar la demanda biológica de oxigeno presente en el agua como resultado del proceso de desencale, se evidencia que no toda puede ser vertida a la red de alcantarillado y menos la primera agua, que es donde se realiza un corto

lavado de la piel en tripa. Para esto es necesario realizar un tratamiento, por esta razón se determinó realizar la prueba de DBO5 a las aguas posteriormente tratadas.

En la muestra número uno las dos aguas residuales no tienen inconveniente con la normativa esto se da, puesto que esta primera prueba tuvo más agua de lo adecuado puesto que no se realizó correctamente el procedimiento al colocar agua, la muestra que se obtuvo de estos procesos se encontraba diluida, esto muestra cómo se puede llegar a cumplir la norma, sin embargo esto no quiere decir que se disminuya la contaminación en su totalidad

El no cumplimiento de la normativa de vertimientos al alcantarillado en Colombia, se da porque no se tienen en cuenta especificaciones de los parámetros específicos de las diferentes industrias, se encuentra en la mayoría de las normas establecidas por el estado una pluralización y no algo específico de las diferentes actividades, como lo realiza la normativa distrital asemeja los inconvenientes que se evidencian en la ciudad y hacen más rigurosa la normativa con el fin de contribuir a la mejora desde las ciudades para llegar al cumplimiento nacional.

5.4.3. Demanda Química de Oxigeno (DQO):

Para la determinación de la DQO en el agua residual de la operación de desencale, en primer lugar se tomaron muestras de las aguas residuales obtenidas en cada operación, seguidamente a esto se aplicó el método del reflujo cerrado **(Ver anexo 5)** y posteriormente se realizó su lectura mediante el Espectrofotómetro visible SMART SPECTRO (**Ver anexo 6**).

La DQO (mg /L) se determinó a partir de la interpolación lineal entre el valor de la absorbancia, los valores de DQO y Absorbancia obtenidos para la curva de calibración del espectrofotómetro con una longitud de onda de 600nm (**Ver anexo 6**), multiplicando la DQO obtenida por el factor de dilución. A continuación se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 19. Datos curva de calibración DQO

x=	concentración
y=	absorbancia
a=	0,1346
b=	0,0019
R^2=	0,9996

Fuente. Elaboración propia.

Con los parámetros de la curva de calibración como se observa en la tabla No. 19 y detalladamente en el anexo 6, se halla la concentración de DQO por medio de la absorbancia para el cromo.

Los datos que se encuentran a continuación son el promedio de 3 réplicas que se realizaron para determinar la concentración de DQO.

Tabla 20. Resultados obtenidos de DQO en las aguas residuales de la operación de desencale

Muestra	Factor de Dilución	Transmitancia	Absorbancia	DQO (mg/L)
M1 AR1	10	5%	1,3101	**6186**
M1 AR2	10	7,60%	1,1207	**5190**
M2 AR1	10	11,40%	0,9423	**4251**
M2 AR2	10	47,20%	0,3267	**1011**
M3 AR1	10	10,30%	0,8856	**3952**
M3 AR2	10	24,70%	0,6156	**2531**

Fuente. Elaboración propia.

Actualmente el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible estableció la resolución 0631 el 17 de marzo del presente año donde se establecen los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público de diferentes actividades, donde tomamos la fabricación de artículos de piel, curtido y adobo de pieles, como se observa en la tabla 21.

Tabla 21. Normativa vigente para vertimientos realizados a la red de alcantarillado, parámetro DQO

Resolución 3957 de 2009	DQO: 1500 mg/L
Decreto 1594 de 1984	DQO: 2000 mg/L
Decreto 1074 de 1997	DQO: 2000 mg/L
Resolución 0631 de 2015	DQO: 1200 mg/L

Fuente. Elaboración propia.

Al observar la cantidad máxima permisible de vertimiento en cuanto a la demanda química de oxigeno (DQO), se concluye que es necesario realizar un tratamiento puesto que los niveles se encuentran elevados.

5.4.4. Relación DBO/DQO agua residual desencale.

La relación entre la DBO y la DQO nos indica cuanta materia orgánica es biodegradable. Para esto utilizamos la siguiente ecuación:

Ecuación 8. Relación DQO/DBO:

$$\boldsymbol{Relación} = \frac{DQO}{DBO}$$

Tabla 22. Relación DQO/DBO agua residual desencale

Muestra	DQO (mg/L)	DBO $_5$ mg/L	DQO/DBO
M1 AR1	6186	930	6,65
M1 AR2	5190	660	7,86
M2 AR1	4251	1020	4,17
M2 AR2	1011	810	1,25
M3 AR1	3952	1050	3,76
M3 AR2	2531	990	2,56

Fuente. Elaboración propia.

Sobre los resultados anteriormente presentados mediante la tabla 22 y la ecuación 8, es posible identificar que por cada unidad de materia orgánica de las aguas residuales de desencale la tasa para determinar qué tan biodegradable es, es muy baja, además se puede apreciar el aumento de la DBO_5, esto se da por la acumulación de materia orgánica en el efluente, es posible que esto se dé porque en la etapa anterior al desencale, es decir el pelambre que fue realizado también a escala laboratorio se realizaron unos reúsos con el agua y la piel que fue utilizada para la réplica de desencale hace parte del pelambre reusado.

5.5. DETERMINACIÓN DEL TIPO DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DE LA OPERACIÓN DE DESENCALE

5.5.1. Coagulantes y Floculantes

Se utilizó Policroruro de Aluminio, este polímero en dos proporciones diferentes y Alumbre en dos proporciones diferentes para las 6 muestras de agua residual de las 3 réplicas de desencale.

5.5.1.1. Policroruro de Aluminio

Para determinar qué cantidad de Policroruro de Aluminio sería necesaria se realizó la siguiente ecuación.

Ecuación 9. Cantidad de Policroruro de Aluminio

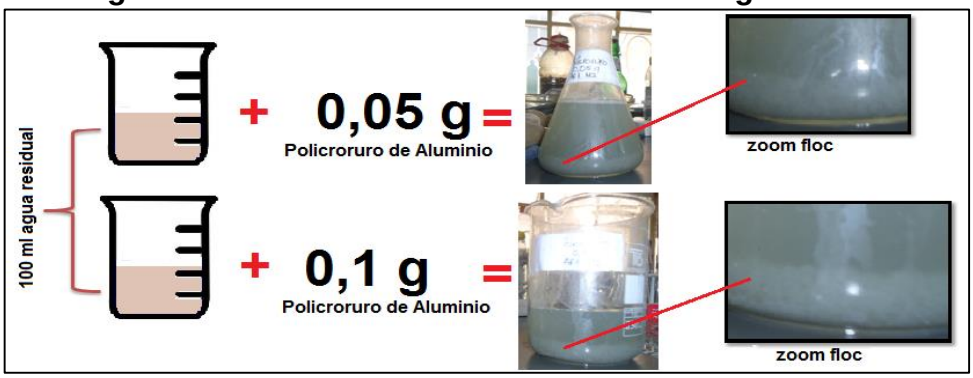
- Para 100 ml de agua residual

$$\mathbf{5}\ \frac{\boldsymbol{mg}}{\boldsymbol{L}} \times \mathbf{0,1}\ \boldsymbol{L} = \mathbf{50}\boldsymbol{mg} = \mathbf{0,050}\boldsymbol{g}$$

Procedimiento

En 100 ml de agua residual se colocó 0,050 g de Policroruro de Aluminio y para la misma muestra se duplico la cantidad de Policroruro y se obtuvo la formación de los flocs como se observa en la siguiente imagen.

Imagen 7. Policroruro de Aluminio a 100 ml agua residual



Fuente: Autor.

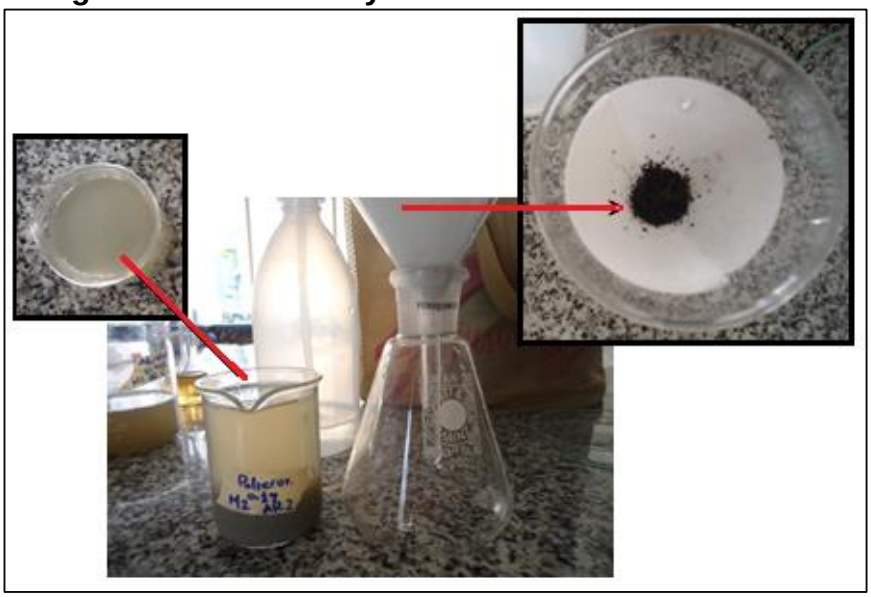
5.5.1.2. Alumbre

Observando la formación de los flocs, la coagulación y la clarificación del agua, se escogió que el Policroruro de Aluminio sería más eficiente para el tratamiento del agua residual de desencale.

5.5.2. Filtros Absorbentes

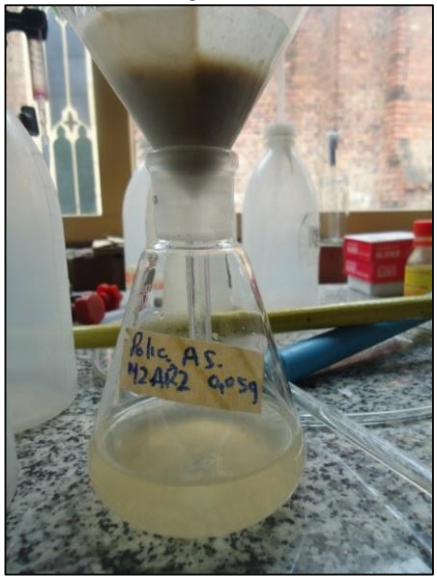
Después de la floculación a partir del Policroruro de Aluminio, las aguas residuales de los dos lavados se filtraron y trataron con carbón activado y arena sílice, pero en la primera prueba se determinó que el carbón activado no podía estar en polvo, porque los filtros con carbón activado en polvo que se utilizaron no alcanzan a retirar bien el carbón y el agua queda oscura; entonces se usó carbón activado granular donde se observa mejora del agua en cuanto al color y no se filtraba el carbón.

Imagen 8. Tratamiento y Filtración con carbón activado



Fuente: Autor.

Imagen 9. Tratamiento y filtración con arena sílice



Fuente: Autor.

5.5.3. Oxidantes

Después filtrar el agua, finalmente agregar hipoclorito de sodio a una muestra y a otra muestra igual adicionar agua oxigenada. Con el fin de purificar superficies, blanqueamiento, eliminación de olores y desinfección del agua. Debido a la presencia de soda cáustica en el hipoclorito de sodio, el valor del PH aumenta. Cuando el hipoclorito de sodio se disuelva en agua, se generan dos substancias, que juegan el papel de oxidantes y desinfectantes. Estos son acido hipocloroso (HOCl) y el ion de hipoclorito el cual es menos activo (OCl-). El Ph del agua determina la cantidad de ácido hipocloroso que se forma. Cuando se utiliza

hipoclorito de sodio, se utiliza el ácido acético para disminuir el PH, sin embargo se utilizó ácido sulfúrico (H_2SO_4). Cuando se utiliza ácido sulfúrico la producción de gases dañinos es menor. El ácido sulfúrico es un ácido fuerte que reacciona vigorosamente con bases y esto es muy corrosivo.

5.6. EVALUACIÓN DE REUTILIZACIÓN

Para la realizar la evaluación de reutilización que se le puede dar al agua posteriormente a su tratamiento, fue necesario realizar nuevamente la determinación de los parámetros fisicoquímicos con los diferentes métodos utilizados y así definir el uso que estas aguas según la normativa pueden tomar después de realizar el tratamiento pertinente.

Al finalizar el tratamiento anteriormente planteado se analizó cada agua tratada determinando: pH, turbiedad, conductividad, sólidos totales, sólidos en suspensión DQO y DBO.

5.6.1. pH

Después de la los tratamientos establecidos se determinó el pH que cada agua arrojó, donde se evidencia si el tratamiento cumple con lo establecido en la normativa vigente.

Tabla 23. Cumplimiento normativo de pH

MUESTRA	pH	Resolución 3957/2009	Decreto 1594 de 1984		Resolución 1074/1997
		pH: 5-9	Consumo humano y uso doméstico pH:5-9	Uso agrícola y preservación de flora y fauna pH: 4,5 - 9	pH: 5-9
M1 AR1 CA	6	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
M1 AR1 CA+AS	5	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
M1 AR2 CA	6	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
M2 AR1 AS	6	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
M2 AR1 CA	6	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
M2 AR1 AS+CA	6	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
M2 AR1 CA+AS	6	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
M2 AR2 AS	7	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
M2 AR2 CA	7	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
M2 AR2 CA+AS	6	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
M3 AR1 CA	7	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
M3 AR2 CA	7	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
M3 AR2 AS	7	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
M3 AR2 CA+AS	7	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple

M3 AR2 AS+CA	7	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

(*) M: Muestra
(*) AR: Agua Residual
(*) CA: Carbón Activado
(*) AS: Arena Sílice

Se observa que las aguas con cualquier tratamiento planteado, cumple la normativa, teniendo en cuenta el pH.

5.6.2. Turbiedad

La turbiedad es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Su intensidad puede servir para apreciar la concentración de materias en suspensión. La turbiedad es considerada una buena medida de la calidad del agua.

Después que fueron tratadas y filtradas se obtuvo la siguiente información en cuanto a la turbidez.

Tabla 24. Turbiedad en las aguas residuales

MUESTRA	TURBIEDAD NTU
M1 AR1 CA	30
M1 AR1 CA+AS	33
M1 AR2 CA	35
M2 AR1 AS	40
M2 AR1 CA	34
M2 AR1 AS+CA	14
M2 AR1 CA+AS	75
M2 AR2 AS	17
M2 AR2 CA	5,5
M2 AR2 CA+AS	22
M3 AR1 CA	46
M3 AR2 CA	35
M3 AR2 AS	6
M3 AR2 CA+AS	5,5
M3 AR2 AS+CA	0,8

Fuente: Elaboración propia.

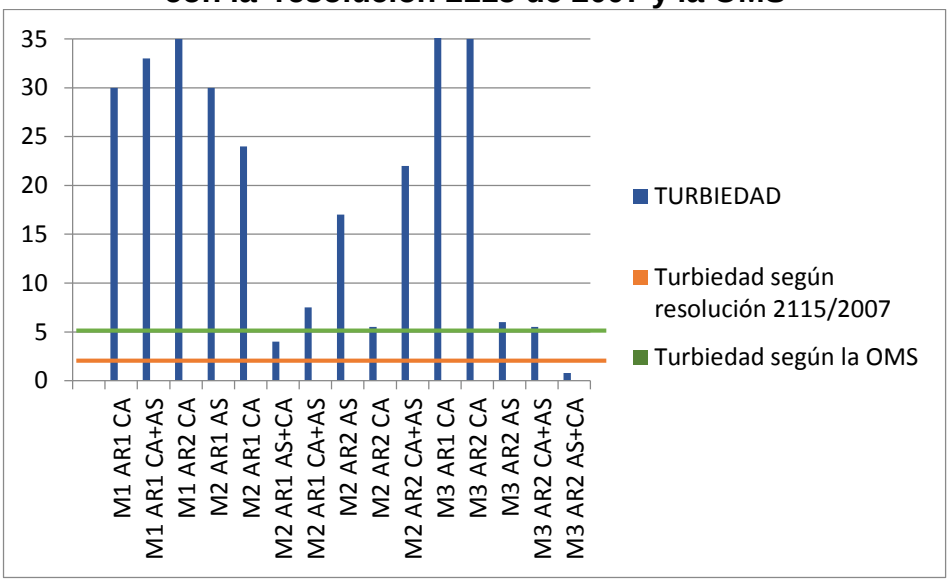
(*) NTU: Unidad nefelométrica de turbidez

Según la OMS (Organización Mundial para la Salud), la turbidez del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso las 5 NTU, y estará idealmente por debajo de 1 NTU.

Según Resolución 2115 de 2007 Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico son los que se relacionan a continuación:

La turbiedad según la resolución 2115 de 2007…… 2 NTU

Gráfico 3. Turbiedad en NTU presente en las aguas tratadas comparándola con la resolución 2115 de 2007 y la OMS



Fuente: Autor.

Al realizar una comparación con los niveles máximos permisibles en la resolución 2115 de 2007 y lo establecido en la OMS, respecto a la turbiedad, se evidencia que no está entre los parámetros aptos para consumo humano y uso doméstico como se puede observar en el grafico 3. Sin embargo también se encuentran valores bajos de turbiedad después de los tratamientos establecidos. La turbiedad del agua es un parámetro de importancia estética, a nadie le gusta el aspecto del agua sucia, es importante eliminar la turbiedad para desinfectar efectivamente el agua y más si se desea consumir esta. También la turbidez interfiere en procesos de tratamiento de las aguas como es en la desinfección con agentes químicos o con radiación ultravioleta, disminuyendo la efectividad biosida de éstos lo cual representa un riesgo en el consumidor.

5.6.3. Conductividad

La conductividad es una medida indirecta de la cantidad de sales o sólidos disueltos que tiene el agua. Si el agua tiene un número grande de iones disueltos

su conductividad va a ser mayor. Cuanto mayor es la cantidad de sólidos o sales disueltas en ella, mayor es la conductividad del agua. Para hallar la conductividad como se realizó en el anexo 3, donde se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 25. Conductividad de las aguas tratadas

MUESTRA	CONDUCTIVIDAD mS/cm
M1 AR2 CA	12,0
M2 AR2 AS	20,4
M3 AR1 CA	20,5
M1 AR1 CA	6,4
M1 AR1 CA+AS	4,8
M3 AR2 CA	23,0
M3 AR2 AS	19,6
M3 AR2 CA+AS	21,1
M3 AR2 AS+CA	22,8
M2 AR2 CA	19,2
M2 AR2 CA+AS	16,7
M2 AR1 AS	10,7
M2 AR1 CA	10,8
M2 AR1 AS+CA	10,6
M2 AR1 CA+AS	9,8

Fuente: Elaboración propia.

(*) mS/cm: Siemens por centímetro (1 mS/cm = 640 ppm TSD)

5.6.4. Sólidos presentes en las aguas tratadas

Las cantidades de solidos totales y solidos suspendidos presentadas en las siguientes tablas son el resultado de un promedio de datos obtenidos en laboratorio, donde algunos datos como los de conductividad (mS/cm) anteriormente evidenciados (Tabla 26) fueron utilizados para determinar sólidos disueltos (mg/L) (**Ver anexo 3**).

Tabla 26. Sólidos disueltos a partir de los datos de conductividad

MUESTRA	CONDUCTIVIDAD mS/cm	SDT en ppm	solidos disueltos mg/L
M1 AR2 CA	12	7680	7680
M2 AR2 AS	10,4	6650	6650
M3 AR1 CA	12,5	8000	8000
M1 AR1 CA	4,8	3070	3070
M1 AR1 CA+AS	4,4	2820	2820
M3 AR2 CA	15	9600	9600

M3 AR2 AS	9,6	6140	6140
M3 AR2 CA+AS	3,1	1980	1980
M3 AR2 AS+CA	2,8	1790	1790
M2 AR2 CA	12,2	7810	7810
M2 AR2 CA+AS	4,7	3010	3010
M2 AR1 AS	8,7	5570	5570
M2 AR1 CA	10,8	6910	6910
M2 AR1 AS+CA	1,6	1020	1020
M2 AR1 CA+AS	3,8	2430	2430

Fuente: Elaboración propia

Al realizar la comparación de los sólidos disueltos, suspendidos y totales que las aguas tratadas presentan, se determinó cual tratamiento era apropiado y ayudaba a la remoción de los sólidos, teniendo en cuenta el decreto 1594 de 1984 donde se muestra el uso que puede tener el agua respecto a sus parámetros fisicoquímicos presentes.

Tabla 27. Criterios de admisibilidad de sólidos según el decreto 1594 de 1984

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola			
Sólidos disueltos totales	SDT	mg/l	3 000
Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico			
Sólidos disueltos totales	SDT	mg/l	1000
Criterios de calidad admisibles para aguas de uso de preservación de flora y fauna			
Sólidos disueltos totales	SDT	mg/l	2000
Descarga al sistema de alcantarillado			
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	220
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Descarga a un cuerpo de agua dulce			
Sólidos Sedimentables	SS	ml/l	1,0
Sólidos	SST	mg/l	100

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola			
Suspendidos Totales			
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600

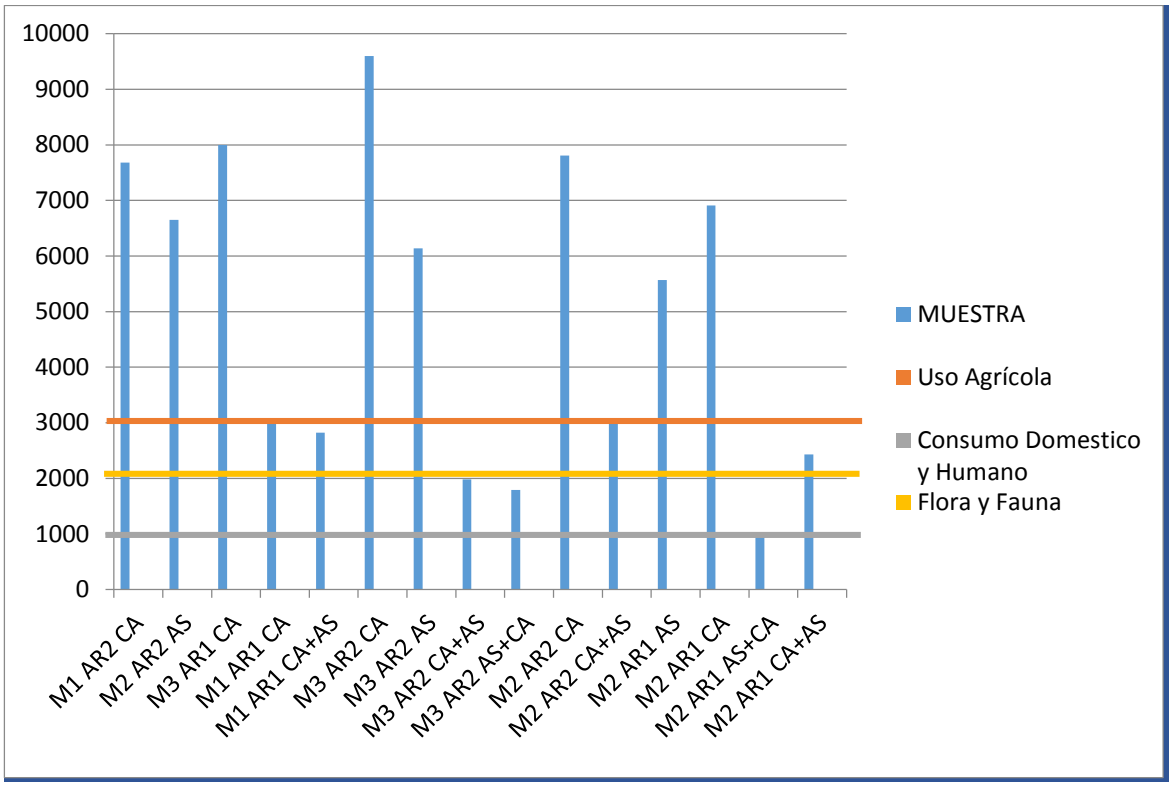
Fuente: Tomado de [38].

Tabla 28. Sólidos Totales en las aguas tratadas

Muestra	Peso vaso vacío	Peso vaso con agua	Peso seco	Cantidad de agua (peso vaso con agua – peso vaso vacío)	Peso Sólidos totales (g)	Totales mg/L (peso sólidos totales/cantidad de agua)*1000000
M1 AR1 CA	97,0379	98,1451	97,0442	1,1072	0,0063	**5690,03**
M1 AR1 CA+AS	96,892	97,9266	96,9002	1,0346	0,0082	**7925,77**
M1 AR2 CA	62,0265	63,1175	62,7035	1,091	0,677	**620531,62**
M2 AR1 AS	65,7341	66,714	65,83	0,9799	0,0959	**97867,13**
M2 AR1 CA	66,1269	67,225	66,9776	1,0981	0,8507	**774701,76**
M2 AR1 AS+CA	62,2892	63,3274	62,432	1,0382	0,1428	**137545,75**
M2 AR2 AS	50,3249	51,4308	50,6439	1,1059	0,319	**288452,84**
M2 AR2 CA	50,6265	51,6487	50,8738	1,0222	0,2473	**241929,17**
M2 AR2 CA+AS	48,7524	49,9084	48,8231	1,156	0,0707	**61159,17**
M3 AR1 CA+AS	62,2832	63,4004	62,3205	1,1172	0,0373	**33387,04**
M3 AR2 AS	67,0054	68,1087	67,438	1,1033	0,4326	**392096,44**
M3 AR2 CA+AS	66,8876	67,9834	67,0002	1,0958	0,1126	**102755,98**
M3 AR2 AS+CA	66,5079	67,6154	66,575	1,1075	0,0671	**60586,91**

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4. Cumplimiento normativo de las muestras de agua tratadas en cuanto a sólidos disueltos



Fuente. Autor

Según el decreto 1594 de 1984 establece los parámetros a tener en cuenta para utilizar el agua, tomando los sólidos disueltos del agua tratada se puede determinar el posterior uso y el mejor tratamiento, después de obtener la reducción de sólidos.

En el gráfico 4 se pudo observar que el agua que fue tratada no podrá ser utilizada para consumo humano o uso doméstico dentro de las empresas de curtiembres que realizan el tratamiento anteriormente planteado. Cuando se realiza doble filtración con arena sílice y carbón activado las aguas muestran una disminución en los sólidos disueltos y es así donde estas aguas evidencian el cumplimiento de este parámetro para así poderlas utilizar nuevamente en: la agricultura, para la preservación de flora y fauna o reincorporar en este sistema industrial, sin embargo se deben tener en cuenta otros parámetros para determinar la reutilización de las aguas residuales tratadas.

Si se habla de realizar una descarga ya sea a un cuerpo de agua dulce o al sistema de alcantarillado los niveles permisibles anteriormente mostrados en la tabla 28 no deberán excederse 1600 mg/l de sólidos totales y al revisar los datos de la tabla 29 ningún valor está por debajo o igual a 1600 mg/l, por lo que los

vertimientos posteriores al tratamiento no podrán ser dirigidos al alcantarillado directamente o a un cuerpo de agua.

5.6.5. Demanda Química de Oxigeno (DQO)

Para la determinación de la DQO en las aguas tratadas se realizó la misma lo mismo que en el método del reflujo cerrado **(Ver anexo 5)** y posteriormente se realizó su lectura mediante el Espectrofotómetro SMART SPECTRO con una longitud de onda de 600 nm, el equipo fue previamente calibrado (**Ver anexo 6**).

La DQO (mg /L) se determinó a partir de los valores de la absorbancia obtenidos para cada ensayo y utilizando la curva de calibración del espectrofotómetro (**Ver anexo 6**), multiplicando la DQO obtenida por el factor de dilución utilizado al preparar las muestras en el laboratorio para la digestión con dicromato de potasio. En la tabla 30 se presentan los resultados obtenidos:

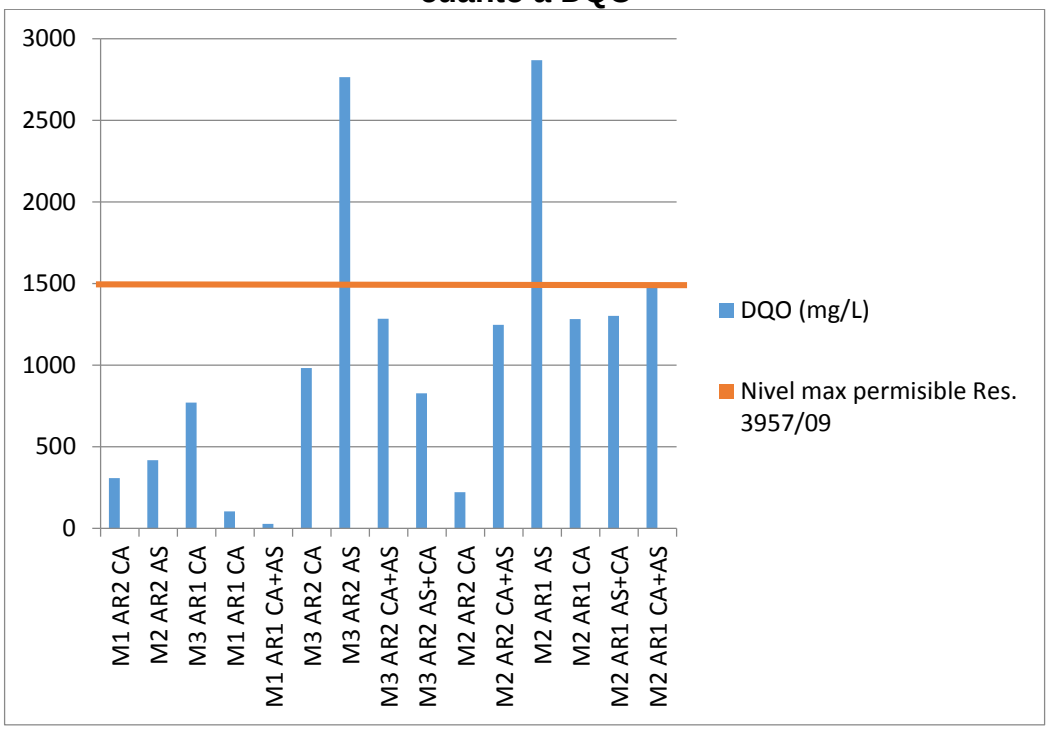
Tabla 29. DQO presente en las aguas tratadas

Muestra	Dilución	Transmitancia	Absorbancia	DQO (mg/L)
M1 AR2 CA	10	64,4%	0,1929	306,84
M2 AR2 AS	10	61,3%	0,2138	416,84
M3 AR1 CA	10	52,5%	0,2809	770,00
M1 AR1 CA	10	70,2%	0,1544	104,21
M1 AR1 CA+AS	10	72,6%	0,1396	26,32
M3 AR2 CA	10	47,8%	0,3213	982,63
M3 AR2 AS	10	28,8%	0,6598	2764,21
M3 AR2 CA+AS	10	43,3%	0,3785	1283,68
M3 AR2 AS+CA	10	51,2%	0,2917	826,84
M2 AR2 CA	10	66,6%	0,1767	221,58
M2 AR2 CA+AS	10	37,9%	0,3717	1247,89
M2 AR1 AS	10	21,0%	0,6798	2869,47
M2 AR1 CA	10	41,9%	0,3784	1283,16
M2 AR1 AS+CA	10	38,9%	0,3821	1302,63
M2 AR1 CA+AS	10	31,5%	0,4193	1498,42

Fuente: Elaboración propia.

Al realizar la comparación con la normativa, según la resolución 3957 de 2009 se tuvieron en cuenta los valores de referencia para los vertimientos industriales realizados a la red de alcantarillado, el valor de la DQO máxima permisible es de 1500 mg/L.

Gráfico 5. Cumplimiento normativo de las muestras de agua tratadas en cuanto a DQO



Fuente. Autor

Para realizar algún vertimiento directamente al alcantarillado la mayoría de las aguas tratadas pueden ser vertidas, sin embargo al realizar solo la filtración con arena sílice la DQO no se reduce y es relevante la cantidad de DQO en mg/L que queda en las aguas, esto indica que las aguas residuales que solo han tenido una filtración requieren de otro tratamiento adicional o realizar una doble filtración.

5.6.6. Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO)

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es una prueba usada para la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas municipales, industriales y en general residuales; su aplicación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores. Es necesario distinguir entre el ensayo de la DBO y otros ensayos que se le realizan a las aguas contaminadas como los ensayos del TOC (Carbón Orgánico Total) y de la DQO (Demanda Química de Oxígeno). Los resultados de estos ensayos guardan ciertas relaciones entre sí, pero tienen significados diferentes. La DBO_5 se mide como mg/l o ppm de O_2 consumidas durante un período de 5 días a 20 °C en la oscuridad. La DBO es la medida utilizada por las

agencias reguladoras en todo el mundo para medir el impacto de la contaminación causada por las aguas residuales.

A título meramente indicativo según la Secretaria Distrital de Ambiente (SDA) se pueden dar los siguientes parámetros

Estado del agua..... DBO_5; mg/l

Agua Pura.....0 - 20 mg/l
Agua Levemente Contaminada.....20 - 100 mg/l
Agua Medianamente Contaminada.....100 - 500 mg/l
Agua Muy Contaminada.....500 - 3000 mg/l
Agua Extremadamente Contaminada……...3000 - 15000 mg/l

Tabla 30. DBO presente en las aguas tratadas

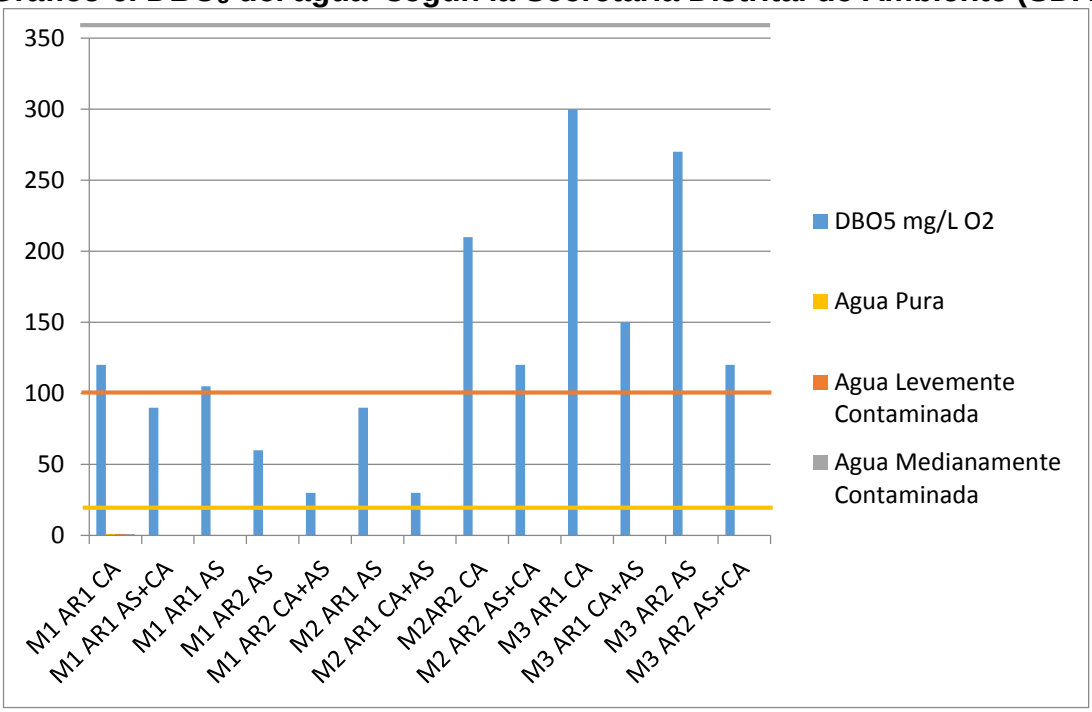
VOL MUESTRA	1	ml
VOL WINKLER	300	ml

MUESTRA	**$OD_{(Inicial)}$ mg/L O_2**	**$OD_{(final)}$ mg/L O_2**	**DBO_5 mg/L O_2**
M1 AR1 CA	0,6	0,2	120
M1 AR1 AS+CA	0,4	0,1	90
M1 AR1 AS	0,6	0,25	105
M1 AR2 AS	0,3	0,1	60
M1 AR2 CA+AS	0,2	0,1	30
M2 AR1 AS	0,4	0,1	90
M2 AR1 CA+AS	0,1	0	30
M2AR2 CA	0,8	0,1	210
M2 AR2 AS+CA	0,5	0,1	120
M3 AR1 CA	1,2	0,2	300
M3 AR1 CA+AS	0,7	0,2	150
M3 AR2 AS	1	0,1	270
M3 AR2 AS+CA	0,5	0,1	120

Fuente: Elaboración propia.

(*) DBO_5= ((OD inicial - OD final)/vol muestra)*vol winkler
(**) OD= Oxígeno Disuelto

Gráfico 6. DBO_5 del agua según la Secretaria Distrital de Ambiente (SDA)



Fuente. Autor

Según la clasificación de la SDA en cuanto a la cantidad de DBO_5 presente en el agua después de ser tratada, ésta sigue estando contaminada pero en un rango muy bajo respecto al DBO_5 es decir se encuentra levemente contaminada y algunas aguas presentan un grado medio de contaminación, sin embargo el tratamiento que se realizó no es netamente para la purificación del agua si no para el uso posterior que se le puede dar a ésta, por esta razón al realizar doble filtración con carbón activado y arena sílice los resultados que se obtienen son mejores para reutilizar estas aguas que se encuentran bastante contaminadas.

De acuerdo con el decreto 1594 de 1984 la demanda bioquímica de oxígeno para desechos industriales debe ser: Remoción > 20% en carga Remoción > 80% en carga. Para esto se tuvo en cuenta la DBO_5 que contenían a las aguas antes de ser tratadas, es decir a la salida de cada proceso y a las posteriormente tratadas relacionando la remoción que hubo, para determinar la remoción (%) se realizó un promedio entre la DBO_5 sin tratamiento y con tratamiento puesto que fueron realizadas 3 réplicas.

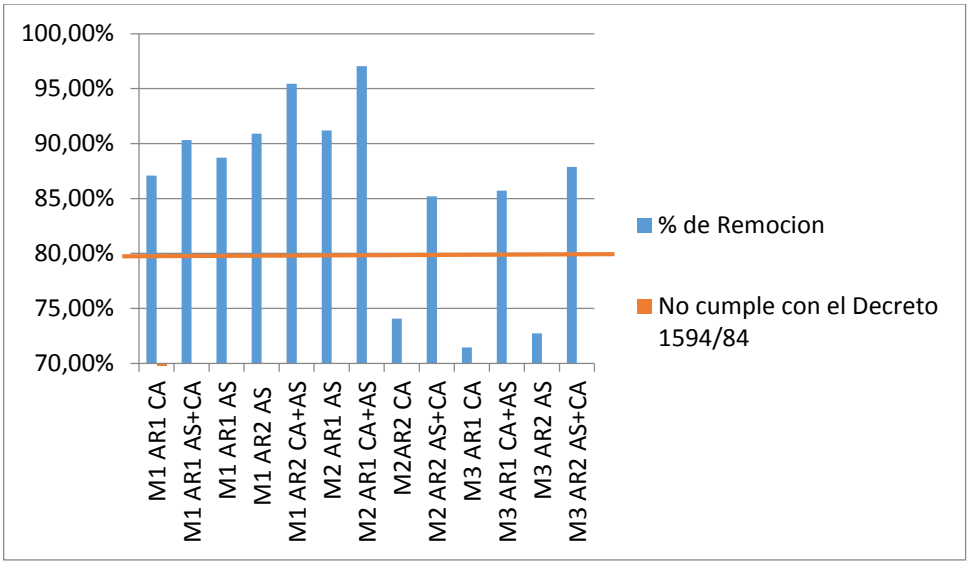
Tabla 31. % de remoción de DBO5 al realizar los debidos tratamientos

Sin tratamiento		Con tratamiento		Remoción (%)
MUESTRA	DBO_5 mg/L	MUESTRA	DBO_5 mg/L	
M1 AR1	930	M1 AR1 CA	120	**87%**

		M1 AR1 AS+CA	90	**90%**
		M1 AR1 AS	105	**89%**
M1 AR2	660	M1 AR2 AS	60	**91%**
		M1 AR2 CA+AS	30	**95%**
M2 AR1	1020	M2 AR1 AS	90	**91%**
		M2 AR1 CA+AS	30	**97%**
M2 AR2	810	M2AR2 CA	210	**74%**
		M2 AR2 AS+CA	120	**85%**
M3 AR1	1050	M3 AR1 CA	300	**72%**
		M3 AR1 CA+AS	150	**86%**
M3 AR2	990	M3 AR2 AS	270	**73%**
		M3 AR2 AS+CA	120	**88%**

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 7. Cumplimiento normativo de remoción (%) de DBO_5 en las aguas tratadas



Límites máximos permitidos para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.

Tabla 32. DBO_5 permisible para aguas de consumo humano y para uso domestico

Parámetro	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO_5	mg/l	2,0

Fuente: Elaboración propia

Cuando se calculó el nivel de concentración de DBO se realizó un tratamiento donde las aguas fueron analizadas nuevamente identificando cual era el uso que se podía dar a estas aguas comparándolo con el decreto 1594 de 1984. Esto indica que para consumo las aguas tratadas no pueden ser utilizadas porque se excede el límite permisible que establece el decreto 1594 de 1984. Para utilizar el agua como vertimiento de preservación de flora y fauna, uso agrícola o nuevamente en la industria este decreto dice que, la remoción debe ser del 80% como se evidencia en la tabla 32 y en el gráfico 9, las aguas que no podrán ser utilizadas son las que solamente han pasado por una filtración y también se observa como las aguas que fueron tratadas por doble filtración son las que presentan mayor remoción por lo tanto hace mejor estos tratamientos.

5.7. Impacto social, humanístico y ambiental del proyecto:

Tratando y aprovechando las aguas generadas por las curtiembres del sector de San Benito en la Localidad de Tunjuelito de la ciudad de Bogotá se reduce el riesgo de contaminación del suelo, del agua superficial y subterránea de la zona pues se podría evitar su inadecuado vertimiento, puesto que esta industria del curtido ha sido catalogada como una de las que más carga contaminante genera a los cuerpos de agua y sistemas de alcantarillado público. Por esta razón los beneficios ambientales y sociales de la aplicación de técnicas de producción más limpia, son bastante elevados. Hace varios años las curtiembres de San Benito, han venido vertiendo sus aguas al sistema de drenaje público de la cuidad, causando taponamientos y daños por corrosión a la línea de alcantarillado, lo que con el tiempo ha provocado inundaciones en el barrio y sus alrededores, además de la generación de malos olores por la combinación de aguas provenientes de la operación de pelambre y desencale por su contenido de sulfuros y altos niveles de acidez presentes en estas aguas residuales.

Observando los resultados obtenidos con el desarrollo del proyecto se podría adquirir un mayor beneficio social ambiental y económico al unir tecnologías como el “tratamiento y reutilizacion de las aguas residuales de la etapa de desencale” con otras tecnologías que hagan parte de esta industria, donde se estarían disminuyendo los elevados consumos de agua. Si las aguas que son tratadas van a reincorporarse en la producción del cuero, también se estaría mejorando la calidad de vida de los habitantes aledaños a las curtiembres del sector de San

Benito puesto que la composición y concentración de sustancias no permitidas de los vertimientos estarían por debajo de los niveles permisibles establecidos en la normativa lo que haría un ambiente sano para la comunidad evitándose los malos olores y los vectores básicos que integran el medio ambiente, estos atraen; ambientalmente si las aguas que se desean utilizar son para uso agrícola o para vertimiento en la preservación de flora y fauna hacen parte de un uso adecuado que se puede tener en cuenta en el sector. No solo se estaría dando cumplimiento de las normas ambientales en cuanto a vertimientos, sino se estaría ayudando así a la industria del cuero y a las personas y demás gremios que dependen de ella. Sin dejar de lado los beneficios indirectos por el no taponamiento del sistema de drenaje y la producción de malos olores producidos afectan a la comunidad del barrio.

5.8. Planificación del proyecto

En esta sección se definió una lista de actividades de acuerdo a los objetivos planteados en el proyecto con sus respectivos tiempos de duración, fechas de inicio y finalización de las mismas mediante el uso del programa Microsoft Project 2010, en el que además se estableció un horario de trabajo de lunes a viernes de 6:00 am a 12:00 pm y de 1:00 p.m. a 3:00 p.m. En la tabla 34 se presenta el cronograma del proyecto generado.

Tabla 33. Cronograma del Proyecto

N°	Nombre de tarea	Duración semanas	Comienzo	Fin	Predecesoras
1					
2	Revisión Bibliográfica	4	lun 03/02/14	vie 28/02/14	1
3	Diseño bombo a escala de laboratorio	1	lun 03/03/14	vie 07/03/14	2
4	Fabricación del bombo a escala de laboratorio	3	lun 10/03/14	vie 28/03/14	3
5	Determinación de los Parámetros Fisicoquímicos	4	lun 10/03/14	vie 04/04/14	3
6	Compra y montaje de los filtros	2	lun 24/03/14	vie 04/04/14	3
7	Ensayo de laboratorio para replicar la	2	Lun 07/04/14	Vie 25/04/14	4,5,6

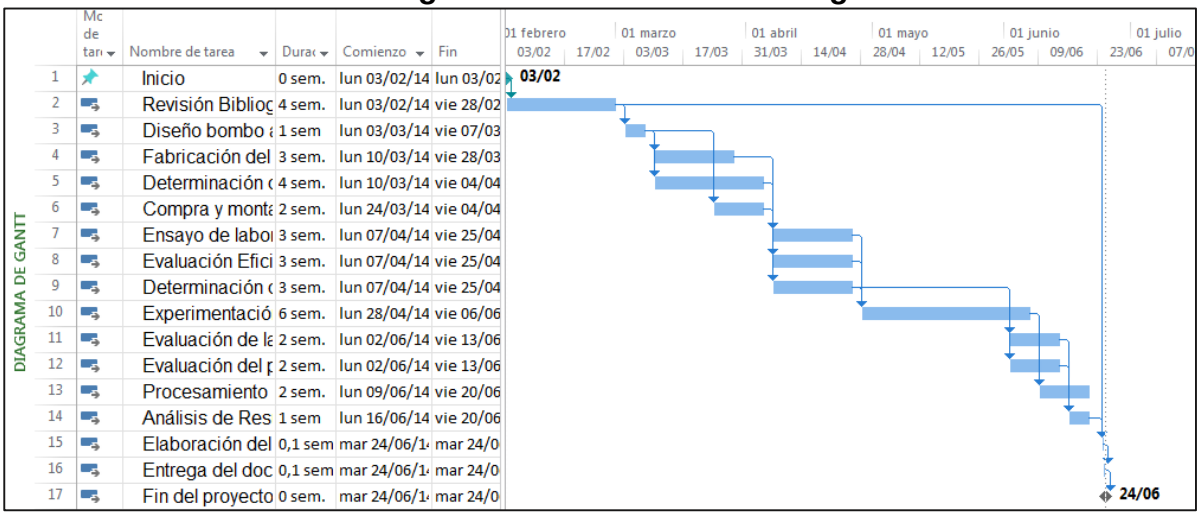
	operación de lavado y desencale				
8	Evaluación Eficiencia de Filtros. Filtrando el agua residual con malla tipo 100 y 200 mesh	2	Lun 07/04/14	Vie 25/04/14	7
9	Determinación de sulfuros y pH en el agua residual obtenida de cada ensayo	2	Lun 07/04/14	Vie 25/04/14	7,8
10	Experimentación y Evaluación de Procesos de Tratamientos de Agua Residual	6	Lun 28/04/14	Vie 06/06/14	9
11	Evaluación de la Capacidad de Reutilización del Agua con base en resultados	2	Mar 03/06/14	vie 13/06/14	10
12	Evaluación de la remoción(%) en los filtros	2	Mar 03/06/14	vie 13/06/14	10
13	Procesamiento de los datos y obtención de los resultados	2	lun 09/06/14	vie 20/06/14	10,11,12
14	Análisis de Resultados y Conclusiones	2	mar 24/06/14	mar 24/06/14	13
15	Elaboración del documento “Tratamiento Y Reutilizacion A Escala De Laboratorio De Las Aguas Residuales De La Etapa De	16	Lun 03/03/14	mar 24/06/14	2,14

	Desencale En La Producción Del Cuero Del Sector De San Benito, Localidad De Tunjuelito (Bogotá).”				
16	Entrega del documento final	1			

Fuente: Elaboración propia

El proyecto tiene como fecha de inicio el 03 de febrero de 2014 y fecha de finalización el 24 de junio de 2014. Las actividades mencionadas se irán desglosando en el desarrollo de los siguientes capítulos. La secuencia de las actividades planteadas se presenta por medio del siguiente diagrama de Gantt.

Ilustración 1. Cronograma de actividades – Diagrama de Gantt



Fuente: Elaboración propia

5.8.1. Ruta crítica y holgura

En la siguiente tabla se puede observar la ruta crítica del proyecto, la cual está conformada por las actividades que se encuentran subrayadas en amarillo; estas actividades se deben desarrollar en los tiempos de duración establecidos para no generar un atraso en el proyecto, en comparación a las actividades número 6, 8 y 16 que tienen una demora permisible de una semana.

Tabla 34. Ruta crítica y Holgura

Modo de tarea	ACTIVIDAD
1	
2	Revisión Bibliográfica

3	Diseño bombo a escala de laboratorio
4	Fabricación del bombo a escala de laboratorio
5	Determinación de los Parámetros Fisicoquímicos
6	Compra y montaje de los filtros
7	Ensayo de laboratorio para replicar la operación de lavado y desencale
8	Evaluación Eficiencia de Filtros. Filtración de agua residual con malla tipo 100 y 200 mesh
9	Determinación de sulfuros y pH en el agua residual obtenida de cada ensayo
10	Experimentación y Evaluación de Procesos de Tratamientos de Agua Residual
11	Evaluación de la Capacidad de Reutilización del Agua con base en resultados y en las normas
12	Evaluación de la remoción (%) de los filtros
13	Procesamiento de las datos y obtención de los resultados
14	Análisis de Resultados y Conclusiones
15	Elaboración del documento
16	Entrega del documento final
17	Fin del proyecto

Fuente: Elaboración propia

6. CONCLUSIONES

- El tratamiento pertinente que se debe llevar a cabo en las aguas residuales de la etapa de desencale es realizar una filtración con filtros tipo malla 200 mesh, seguido de floculación y una doble filtración con arena sílice y carbón activado, colocando en porciones pequeñas hipoclorito de sodio

- Se encontró que después de realizar tratamientos del agua residual del proceso de desencale, con alumbre o con policloruro de aluminio y filtración con carbón activado y arena sílice, es posible reutilizar las aguas residuales de la etapa de desencale, con base en los parámetros obtenidos de pH, DQO, DBO_5 y sólidos en suspensión, en diferentes actividades como agricultura, para la preservación de flora y fauna o reincorporar estas aguas en el sistema de curtido, también se puede hacer el vertimiento de estas aguas ya tratadas en un cuerpo de agua o al alcantarillado puesto que cumplen con los requisitos permisibles de los parámetros fisicoquímicos del decreto 1594 de 1984 y la Resolución 0631 de 2015.

- Se encontró que la remoción (%) obtenido con el filtro tipo malla Mesh 100 es menor comparándolo con el filtro tipo Mesh 200 donde se obtienen mejores resultados de remoción ya que este último retiene un 30% más de sólidos suspendidos.

- El agua, a pesar de tener elevados contenidos de materia orgánica, no es biodegradable en 5 días debido a la baja proporción que en las diferentes muestras presentó la relación DQO/DBO = 7, lo cual indica que por cada 7 partes de materia orgánica, solamente 1 es biodegradable.

7. RECOMENDACIONES

- Tratar el agua realizando primero que todo una filtración con filtros tipo mesh malla 200, seguido de floculación y una doble filtración con arena sílice y carbón activado, colocando en porciones pequeñas hipoclorito de sodio, para verterla bajo normas ambientales, de acuerdo a lo establecido en la resolución 3957 de 2009, o según el decreto 1594 de 1984 se podrá utilizar estas aguas en la preservación de flora y fauna, en agricultura o reutilizarla en esta misma industria

- Para realizar la filtración del agua residual de desencale a nivel industrial, el filtro se ubique de forma inclinada para evitar el colmataje de la malla, logrando la caída del agua en el tanque de almacenamiento y el arrastre de solidos suspendidos hacia la parte inferior del filtro

- Para evitar sanciones legales por incumplimiento de la normatividad ambiental, es necesario continuar trabajando en la minimización de residuos del sector curtiembre, no solo tener en cuenta esta etapa de desencale si no todas las etapas por las cuales está compuesta esta industria.

- Se recomienda fomentar la reutilización de aguas residuales, integrándolas a los procesos o dándoles un uso adecuado que no altere el entorno dado que esta industria no solo genera problemas ambientales sino a la comunidad, operando de manera controlada, para obtener resultados con la calidad requerida.

8. BIBLIOGRAFIA

[1] Centro Nacional de Producción Más Limpia, "Diagnostico Ambiental del Sector Curtiembre de Colombia," *Anexo 1*, no. 5, Marzo 2004.

[2] Secretaria Distrital de Ambiente, "Parque Industrial Ecoeficiente de San Benito," Bogota, 2007.

[3] Ana Mercedes Garzón Rodríguez, "Sistema Integrado de Cuentas Ambientales para el Sector Curtiembre de San Benito ," Universidad de San Buenaventura , Bogotá, Trabajo de Investigación 2007.

[4] Nestor Garzón C. (2007) segodis.gov.co. [Online]. http://www.segodis.gov.co/Tunjuelitobarrio_san_benito_htm

[5] ALCALDIA DE TUNJUELITO, "Datos y estadísticas barriales. Reseña histórica de San Benito," Alcaldia de Tunjuelito, Bogotá, 2003.

[6] Departamento Nacional de Planeación , "Cadenas Productivas Estructura, comercio internacional y protección ," Bogotá, Trabajo de Investigación 2004.

[7] CUERONET. (2009) cueronet.com. [Online]. http://www.cueronet.com/tecnica/div_superficie.htm

[8] J. Salmeron, "Generación y tratamiento de residuos en la industria del curtido de valencia ," 1995.

[9] Departamento Nacional de Planeación , "Diagnostico y Control de la Contaminación Industrial ," Bogotá , Proyecto de Investigación 2006.

[10] Comisión Nacional del Medio Ambiente. (1999, Abril) CONAMA. [Online]. americalatina.landcoalition.org

[11] Centro Nacional de Producción Más Limpia. (2004, Febrero) tecnologiaslimpias.org. [Online]. http://www.tecnologiaslimpias.org/curtiembres/estrategiasdiagnostico.pdf

[12] Leonardo Poveda and Mauricio Sanchez , "Propuesta para el diseño, estructuración e implementación del departamento de gestión ambiental en la industria de curtiembres localizadas en el barrio San Benito," Universidad Minuto de Dios, Bogotá , Tesis Pregrado 2009.

[13] Luciano Vasquez Daza, "Las Curtiembres en el Barrio San Benito de Bogotá ," Pontificia Universidad Javeriana , Bogotá , Tesis magister 2012.

[14] Helin J Molina B. and Victor M Ladino G., "Estudio y Optimización del Método de Pelambre Químico de Pieles de Cabra en la Industria Curtidora," Bogotá, Tesis pregrado 2000.

[15] Yolanda Andía Cardenas, "Tratamiento de Agua. Coagulación y Floculación," SEDAPAL, Lima, Curso 2000.

[16] Nestor A Gomez P, "Remoción de Materia Orgánica por Coagulación - Floculación ," Manizales , 2005.

[17] Francisco Javier Perez de la Cruz and Mario Andres Urrea M, "Abastecimiento de Aguas. Potabilización de Aguas," Universidad Politecnica , Cartagena, informativo 2005.

[18] Cinetica Quimica S.A. de C.V. (2009) cineticaquimica.com.mx. [Online]. http://www.cineticaquimica.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=147&lang=es

[19] lenntech. (2014) Water Treatment Solutions. [Online]. http://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/quimica/desinfectantes.htm

[20] GUEST, "Tratamiento con Carbón Activado ," *Ingenieria de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas*, vol. 6, pp. 1-6, Noviembre 2008.

[21] ENOHS Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento. (2012, Mayo) Criterios Básicos para el Estudio y el Diseño. [Online]. http://es.scribd.com/doc/92310508/Criterios-de-dise-o-Obras-h-dricas-de-saneamiento#scribd

[22] Carlos H Londoño A, "CUENCAS HIDROGRAFICAS: Bases conceptuales - Caracterización - Planificación - Administración," Universidad del Tolima, Ibague, Tesis 2001.

[23] José Guzman, Vanessa Renderos, and Luis Guerrero, "ASPECTOS IMPORTANTES SOBRE MANEJO SANITARIO DE AGUAS RESIDUALES," Ministerio de Salud Publica y Asistencia Social, El Salvador, tecnico 2005.

[24] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, "Por el cual se reglamenta el Titulo VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales," Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bogotá, Decreto 2041, 2014.

[25] curtiembres bufalo s.a. (2009, Diciembre) cbufalo.com.co. [Online]. http://www.cbufalo.com.co/espanol/index.html

[26] Real Academia Española. (2010) lema.rae.es. [Online]. http://lema.rae.es/drae/srv/search?id=WVw0DoqwFDXX2eTxGdJO

[27] Zeshan Ali, Riffat Naseem Malik, and Abdul Qadir, "Heavy metals distribution and risk assessment in soils affected by tannery effluents.," Taylor&Francis, Londres, artículo 2013.

[28] Annalee Yassi, Tord Kjellstrom, Theo de Kok, and Tee L. Guidotti, "Salud Ambiental Básica," INHEM, OMS, PNUMA, Mexico D.F., Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente Primera Edición, 2002.

[29] INFOJARDIN. (2009) infojardin.net. [Online]. http://www.infojardin.net/glosario/concentracion/contaminante-contaminantes.htm

[30] Presidente de la Republica de Colombia, "En cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones ," Presidencia , Bogotá, Decreto 3930, 2010.

[31] A. Kasim, D. Novia, and S Mutiar, "Diminishing Chromium Use on Combined Chromium-Gambier Tanning Process Upon the Characteristics of Tanned Leather.," Andalas University, Indonesia, Artículo 2014.

[32] Universidad Santo Tomás.. (2012) USTA. [Online]. www.usta.edu.co

[33] Centro panamericano de Ingenieria sanitaria y ciencias del ambiente. (1993) Guia Tecnica para la minimizacion de residuos en curtiembres. [Online]. http://www.bvsde.paho.org/cdrom-repi86/fulltexts/bvsacd/scan/005343.pdf.

[34] American Public Health Association, American Public Health Association Publications, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.: APHA-AWWA-WEF, 1994.

[35] Paul A. Tipler, *Física Moderna*, José Dr. Aguilar, Ed. España: REVERTÉ, S.A., 2003.

[36] INTERMEC S.A., *La transmisión de potencia por cadena de rodillos*. Bogotá, Septiembre 2013.

[37] INCOLMALLAS. (2014, Junio) icomallas.com/. [Online]. http://www.icomallas.com/home.html

[38] Presidencia de la Republica de Colombia, "DECRETO 1594 DE 1984 ," Ministerio de Agricultura, Ministerio de Salud y Departamento Nacional de Planeación, Bogotá, Decreto 1594, 1984.

[39] Organización Panamericana de la Salud - Organización Mundial de la Salud, "Guía Técnica para la Minimización de Resiudos en Curtiembres," CEPIS, Lima, Guia Tecnica 1993.

[40] Intermec S.A, *La transmisión de potencia por cadena de rodillos, Quinta edición ampliada y actualizada*.

[41] Quimipiel, *Manual técnico para la industria del cuero*. Bogotá, 1995.

ANEXOS

ANEXO 1. VIDEO FUNCIONAMIENTO BOMBO

ANEXO 2. EVIDENCIA DEL DESENCALE A ESCALA LABORATORIO

Imagen 10. Lavado de la piel

Imagen 11. Agentes desencalantes

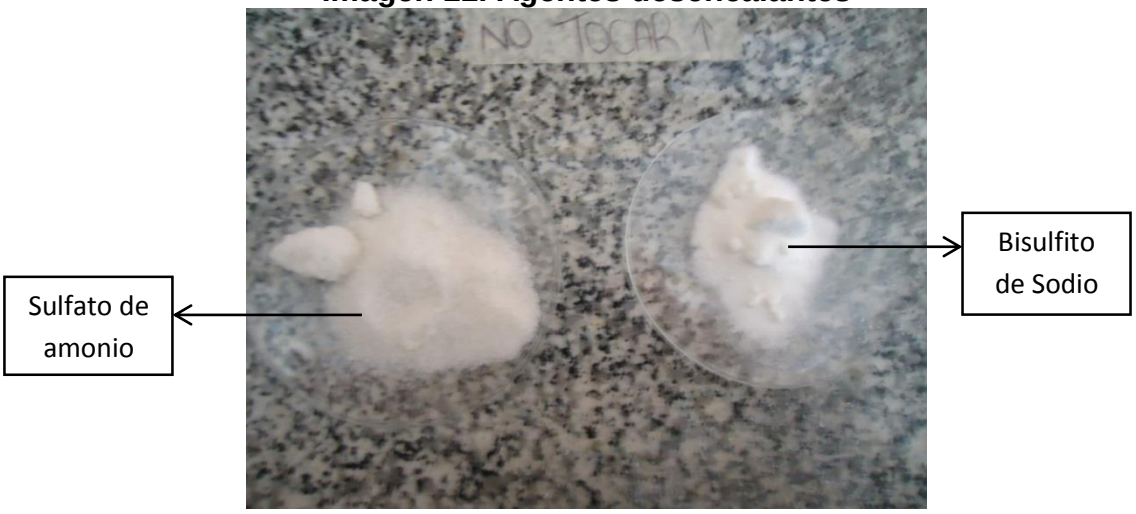
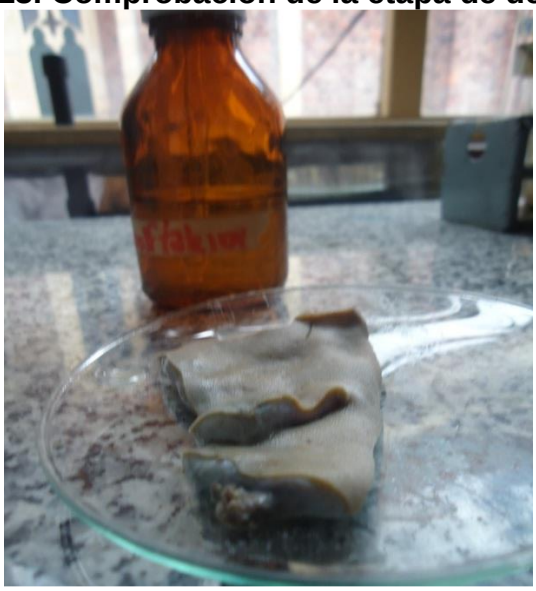


Imagen 12. Piel desencalada

Imagen 13. Comprobación de la etapa de desencale



ANEXO 3. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS EN LAS AGUAS RESIDUALES DE LA ETAPA DE DESENCALE

La determinación de los sólidos totales permite estimar los contenidos de materias disueltas y suspendidas presentes en un agua. Para determinar la cantidad de solidos totales presentes en las muestras de agua residual resultantes de la réplica de desencale se realizó una medición cuantitativa del incremento de peso que experimenta un vaso precipitado previamente tarado tras la evaporación de una muestra de 1ml de agua y secado a peso constante a 103-105ºC.

Tabla 35. Determinación de Sólidos Totales (mg/L)

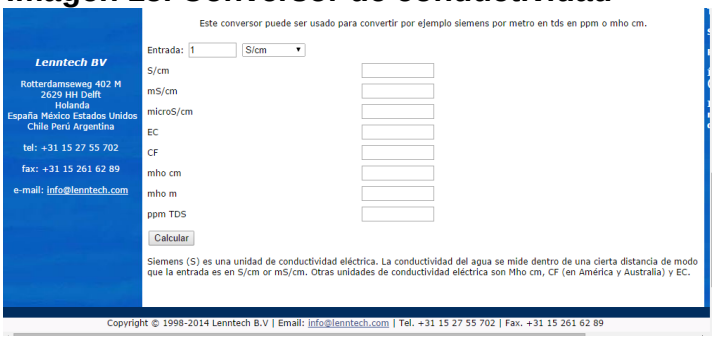
Muestra	peso vaso de precipitado	peso vaso con agua	peso seco	cantidad de agua	Peso Sólidos totales	Totales mg/L
M1 AR1	94,7	95,7	94,7	0,97	0,010	10114,6
Malla 100	98,0	99,2	98,0	1,2	0,005	3829,8
Malla 200	97,0	98,1	97,0	1,1	0,004	3901,6

Fuente: Autor.

Para determinar sólidos disueltos en mg/L, por medio de un conductímetro HI 8733 como se observa en la imagen No. 14 se determina la conductividad del agua, para después en una página de internet que permite convertir la conductividad en ppm TDS (Solidos Disueltos Totales) este resultado debe ser multiplicado por 1 y se obtendrán los sólidos disueltos totales presentes en el agua que se quiera analizar.

Imagen 14. Conductímetro y toma de conductividad

Imagen 15. Conversor de conductividad



Para determinar los sólidos suspendidos sólo se realiza la diferencia de los sólidos totales con los sólidos disueltos. Y de esta manera se puede establecer el porcentaje de remoción de solidos que pueden tener los distintos filtros o mallas.

ANEXO 4. SM4500E: MÉTODO YODOMÉTRICO (SULFUROS) [34]

Principio

En este método es necesario tener en cuenta las reacciones químicas que se utilizan durante la realización de este, estas son las siguientes:

- En esta reacción el yodo más el yoduro de potasio forma triyoduro de potasio:

$$\mathbf{I_2 + KI \rightarrow I_3K}$$

- Reacción del yodo con sulfuro: $\mathbf{I_3K + Na_2S \rightarrow S + 2INa + KI}$
  SULFURO SE VUELVE AZUFRE METALICO
- Reacción del exceso de yodo con tiosulfato de sodio:

$$\mathbf{I_3K\,(exceso) + 2Na_2S_2O_3 \rightarrow Na_2S_4O_6 + 2INa + KI}$$

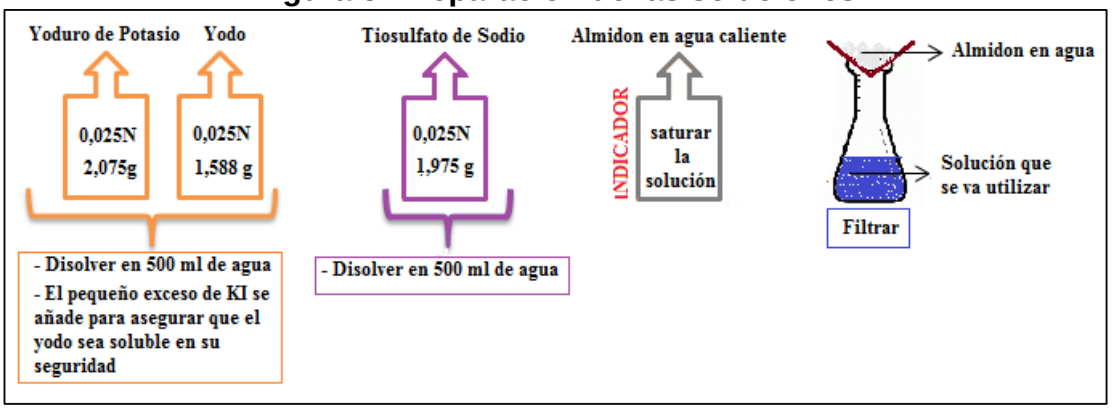
SE TITULA EL EXCESO DE YODO I_2 CON EL TIOSULFATO Y SE PRODUCE YODURO (QUE CON EL ALMIDON TIENE UN COLOR VIOLETA)

Materiales y reactivos

- 2 Matraz aforado de 500 ml.
- 1 Bureta de 50 ml.
- Pipetas de 1,5 y 10 ml.
- Ácido clorhídrico concentrado (HCl) 6 N
- Solución de almidón en agua.
- Yoduro de potasio (KI).
- Yodo (I_2)
- Tiosulfato de sodio ($Na_2S_2O_3$).

Preparar soluciones de:

Figura 3. Preparación de las soluciones



Fuente: Autor, tomado de [39].

Procedimiento:

1.

Tomar una muestra de 10 mL de la primera agua residual de la etapa de desencale, la cual corresponde al lavado de la piel y después realizar lo mismo para la siguiente agua que corresponde al proceso de desencale como tal.

→ Filtrar →

Diluir a 100mL con agua destilada (dilución de 1:10 o mas según se necesite para entrar en el rango de detección del método)

2.

Tomar 10 mL de la solución de yodo/yoduro en un frasco Erlenmeyer de 250 mL.

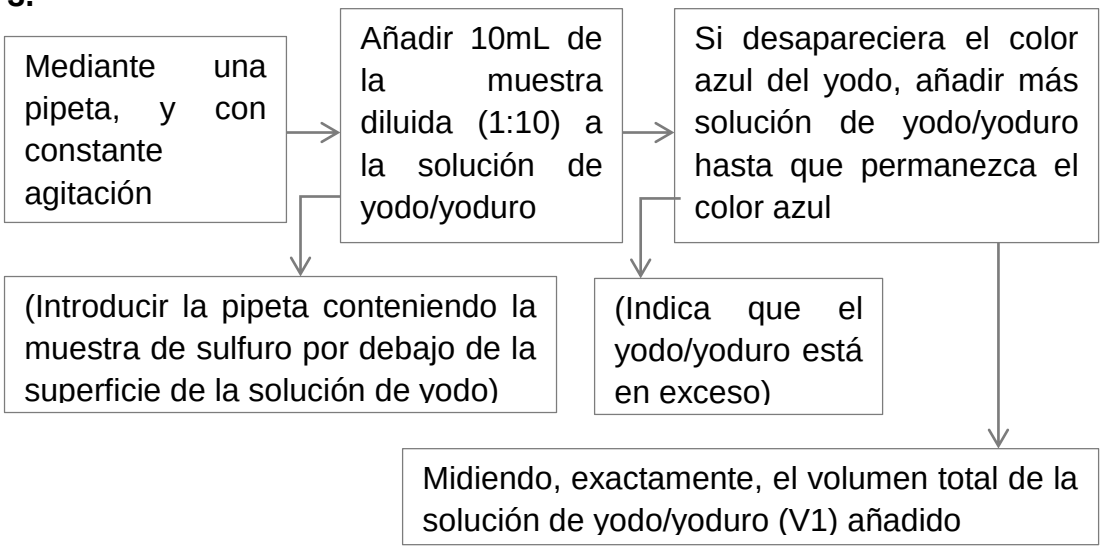
→ Añadir 2 mL de HCL 6 N →

Colocar un par de gotas de solución de almidón como indicador

↓

(Color azul en presencia de yodo)

3.



4. Titular la solución que contiene el exceso de yodo/yoduro, con un volumen de la solución de tiosulfato (V2), hasta que se desaparezca el color azul (punto equivalente), si el color fuera ligeramente amarillo agregar más gotas de la solución de almidón [39].

5. Calcular la concentración de sulfuro en la descarga del baño del pelambre con la fórmula [39]:

$$Sulfuro, S^{2-}\left[\frac{mg}{L}\right] = (V_1 * C_1 - V_2 + C_2) * 16000 * \frac{F}{V_m}$$

Dónde:
V_1= volumen de solución del yodo/yoduro (ml).
C_1= Normalidad de la solución yodo/yoduro (según la receta, C=0,025)
V_2= Volumen de la solución de tiosulfato de sodio ($Na_2S_2O_3$), (según la receta, **C=**0.025)
C_2= Normalidad de la solución de tiosulfato de sodio (Na2S2O3), (según la receta, **C=**0.025)
F= Factor de dilución de la muestra (según la receta 1:10, es decir F=10)
Vm= Volumen de la muestra (ml) (según la receta, 10 mL de la descarga del baño de pelambre)

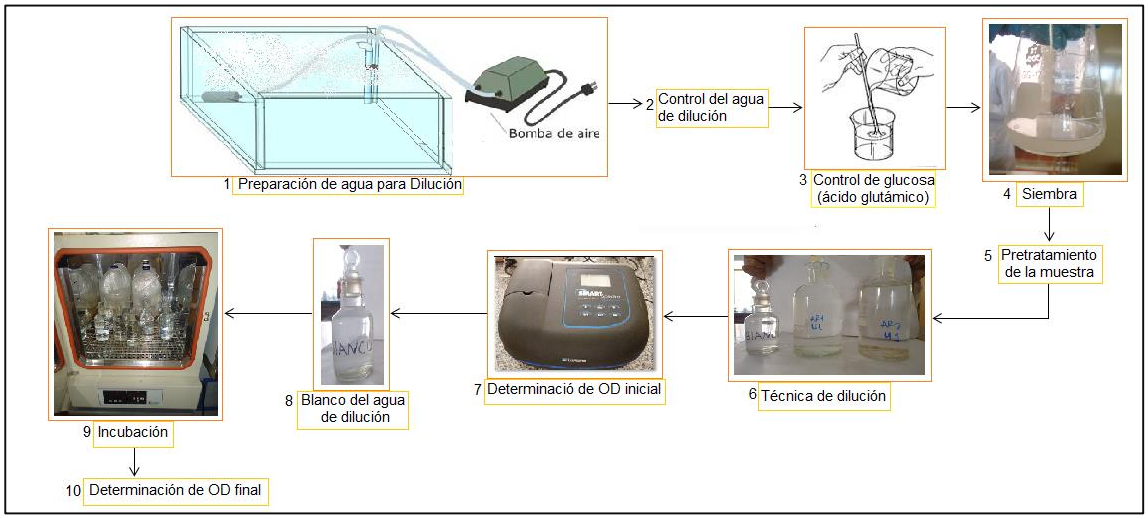
ANEXO 5. SM 5210B: Prueba ROB-5 días (DBO) [34]

Principio:
El método consiste en llenar con muestra, hasta rebosar, un frasco hermético del tamaño especificado, incubarlo a la temperatura establecida durante 5 días. El oxígeno disuelto se mide antes y después de la incubación, y el ROB se calcula mediante la diferencia entre OD inicial y el final. Debido a que el OD se determina inmediatamente después de hacer la dilución, toda la captación de oxígeno, incluida la que ocurre durante los primeros 15 minutos, se incluye en la determinación del ROB.

Materiales y reactivos:
- Botellas de incubación.
- Papel aluminio.
- Incubador de aire o baño de agua.
- Solución de fosfato.
- Agua destilada.
- Sulfato de magnesio.
- Cloruro de calcio.
- Cloruro férrico.
- Ácido sulfúrico.
- Hidróxido de sodio.
- Sulfito sódico.
- Inhibidor de la nitrificación.
- Acido glutámico.
- Cloruro de amonio.
- Fosfato disódico.

Procedimiento:

Gráfico 8. Procedimiento utilizado en la realización de DOB_5



Fuente. Elaboración propia.

(*) Las fotografías que se encuentran presentes fueron tomadas durante la realización del procedimiento de DBO_5.

Cálculo:

Cuando el agua de dilución no está sembrada

$$ROB_5\ {}^{mg}/_{l} = {}^{D_1 - D_2}/_{P}$$

Cuando el agua de dilución está sembrada:

$$\mathrm{ROB_5}\ {}^{\mathrm{mg}}/_{\mathrm{l}} = {}^{(\mathrm{D_1} - \mathrm{D_2}) - (\mathrm{B_1} - \mathrm{B_2}) * \mathrm{f}}/_{\mathrm{P}}$$

Dónde:

D_1= OD en la muestra diluida inmediatamente después de su preparación, mg/l.
D_2= OD en la muestra diluida después de 5 días de la incubación a 20°C, mg/l
P= fracción volumétrica decimal de la muestra utilizada.
B_1= OD del control de simiente antes de la incubación, mg/l
B_2= OD del control de simiente en la muestra diluida con respecto a la de control de simiente= (% de simiente en la muestra diluida)/((% simiente en el control de simiente). Después de la incubación, mg/l

ANEXO 6. CURVA DE CALIBRACIÓN DQO

Principio:

En la elaboración de la curva de calibración de demanda química de oxigeno (DQO) se tuvo en cuenta la característica de linealidad y las lecturas de DQO se realizaron por medio del equipo SMART SPECTRO / La Motte.

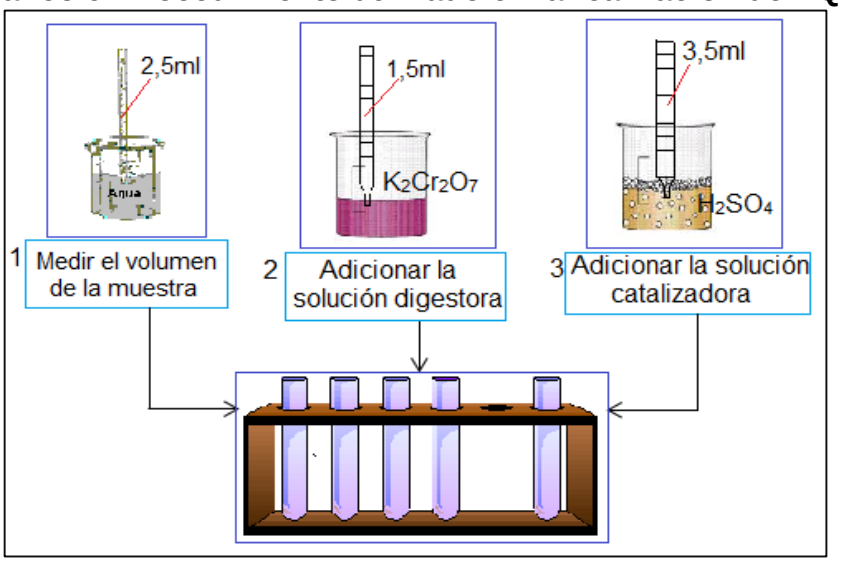
Propiedades del Equipo SMART SPECTRO/LaMotte

Espectrofotómetro de alta precisión
Selección automática de longitud de onda y programado con 80 diferentes parámetros para el análisis de calidad del agua.
Rango de Longitud de Onda: 350-1000 nm
Longitud de Onda de Precisión: ± 2 nm
Resolución de Longitud de Onda: 1 nm
Rango Fotométrico: 0-125 % T, -0.1-2.5A
Precisión Fotométrica: ± 0.005A
Fuente de Luz: halógeno de cuarzo
Cámaras de Muestra: células redondas de 25 mm , 10 mm cubeta cuadrada UDV , Contra reembolso
TAMAÑO: 35 cm x 28 cm x 17 cm)

El procedimiento utilizado para la realización de DQO se observa a continuación (**Ver Gráfico No. 9**).

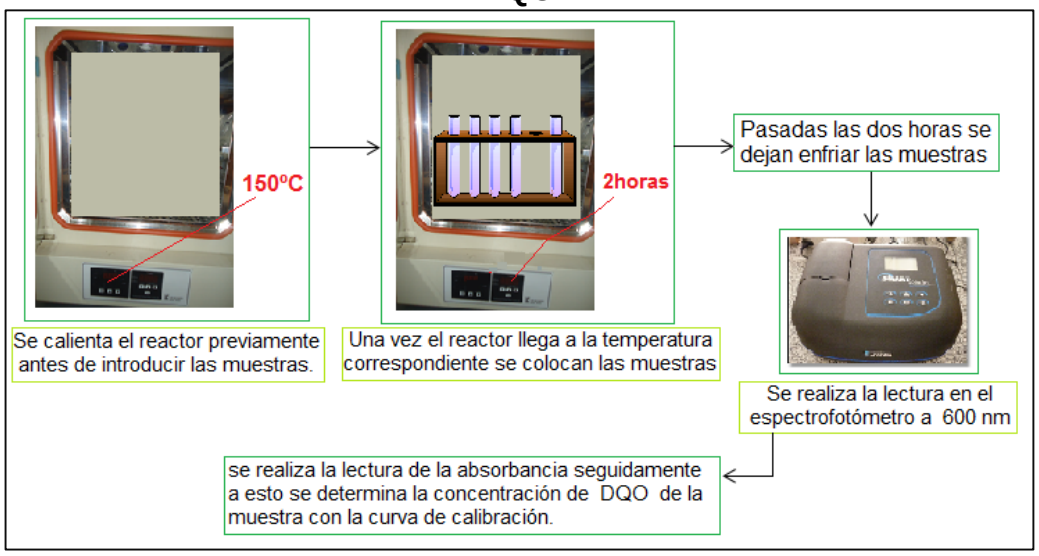
Procedimiento:

Gráfico 9. Procedimiento utilizado en la realización de DQO



Fuente. Elaboración propia.

Gráfico 10. Continuación del procedimiento utilizado en la realización de DQO



Fuente. Elaboración propia.

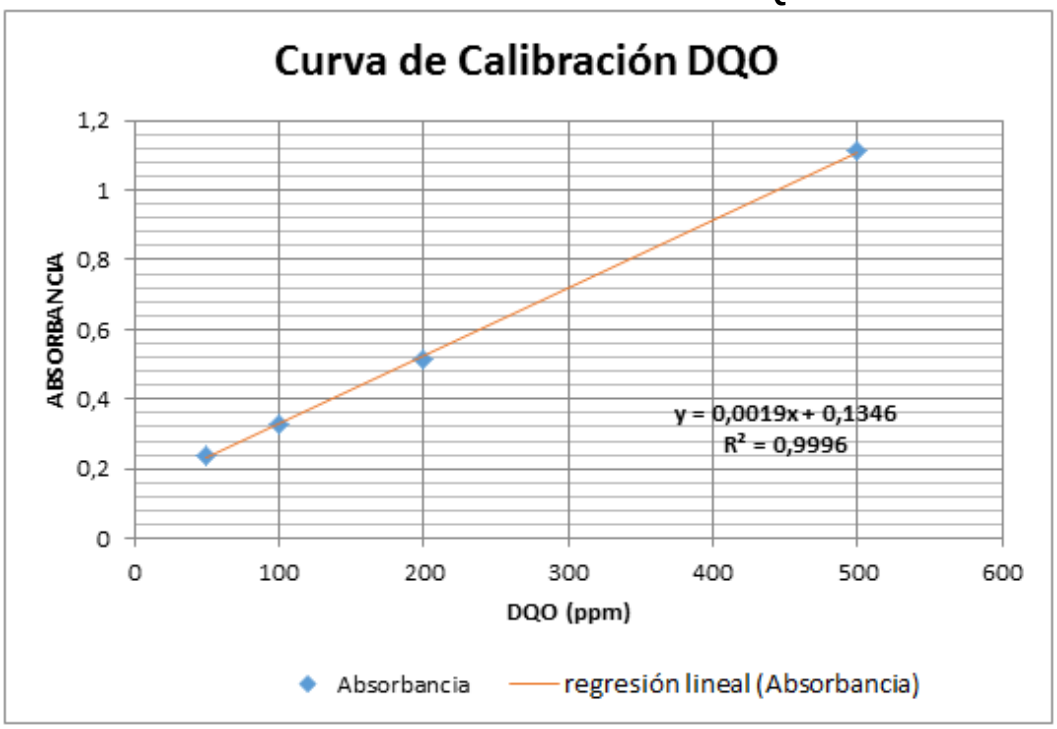
Linealidad

Tabla 36. Valores de Absorbancia

Blanco	DQO (ppm)	Absorbancia
B	500	1,1108
C	200	0,5129
D	100	0,3312
E	50	0,2373

Fuente: Elaboración propia de los autores.

Gráfico 11. Curva de calibración DQO



Fuente: Elaboración propia.

(*) La linealidad se acepta en este rango debido a que el coeficiente de correlación R^2 es mayor a 0,99.