

REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA OPERACIÓN DE PELAMBRE EN
EL PROCESO PRODUCTIVO DEL CUERO

SERGIO ANDRES CARRILLO NEIRA
CRISTIAN FERNANDO MUÑOZ LABRADOR

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ
2014

REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA OPERACIÓN DE PELAMBRE EN
EL PROCESO PRODUCTIVO DEL CUERO

PRESENTADO POR:

SERGIO ANDRES CARRILLO NEIRA
CRISTIAN FERNANDO MUÑOZ LABRADOR

MODALIDAD: TRABAJO DE GRADO

DIRIGIDO POR:

ING. NIDIA ELENA ORTIZ PENAGOS

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ

2014

NOTA DE ACEPTACIÓN

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

Bogotá D.C. _____

RESUMEN

La generación de cuero bovino como residuo sólido a causa del consumo de carne y productos derivados, hace necesaria la implementación de medidas de gestión ambiental encaminadas a la reducción de los impactos negativos, causados en cada una de las etapas presentes en el proceso de curtido y adecuación del cuero, como materia prima para las diferentes industrias que hacen uso de este material para confeccionar y fabricar productos útiles para el vivir diario de las personas.

En ese mismo orden y dirección, partiendo de lo mencionado en el párrafo anterior 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, DBO₅, DQO y sólidos suspendidos en las aguas residuales provenientes de la operación del Pelambre.

Para iniciar se realizó la caracterización físico-química del agua residual, para conocer las concentraciones de sulfuro y cal presentes en la misma, además de la DBO₅, la DQO y sólidos suspendidos; seguido del diseño y construcción del Bombo piloto, donde se replicó el proceso productivo del cuero con pequeños volúmenes de agua y piel, y las cantidades necesarias de Cal hidratada y Sulfuro de sodio, todo esto bajo el lineamiento básico seguido por los curtidores.

Continuando con el proceso, se plantean dos escenarios de investigación, en el primero se realiza un pelambre convencional y en el segundo se realiza un descarne previo al pelambre, lo que hace que sea necesario utilizar menos insumos.

Se replica la operación y se determinó la concentración remanente de sulfuro de sodio mediante titulación yodometrica y cal haciendo ajustes de pH, con el objetivo de reajustar estas concentraciones y reutilizar esta agua en una nueva operación de pelambre, determinando un numero de 3 pelambres, el primero con agua limpia y los dos restantes reutilizando el agua, sin afectar la calidad del producto, y el resultado del depilado. Para el segundo escenario el número de reúsos es el mismo, pero difiere del primero en cuanto a los valores de DBO₅, DQO y sólidos suspendidos.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
 - 2.1. OBJETIVO GENERAL
 - 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS
3. MARCO DE REFERENCIA
 - 3.1. MARCO CONTEXTUAL
 - 3.1.1. CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS Y SOCIOECONÓMICAS
 - 3.2. MARCO TEORICO
 - 3.2.1. DESCRIPCION DE LA PIEL
 - 3.2.1.1. PARTES DE LA PIEL
 - 3.2.1.2. TIPOS DE PIELES
 - 3.2.1.3. PIELES VACUNAS
 - 3.2.1.3.1. PIELES DE TERNERA
 - 3.2.1.3.2. PIELES DE NOVILLO
 - 3.2.1.3.3. PIELES DE VACA
 - 3.2.1.3.4. PIELES DE BUEY Y TORO
 - 3.2.2. DESCRIPCION DEL PELO
 - 3.2.2.1. ESTRUCTURA DEL PELO
 - 3.2.3. CONSERVACION DE LA PIEL
 - 3.2.3.1. SISTEMAS DE CONSERVACION
 - 3.2.3.1.1. CONSERVACION POR SECADO
 - 3.2.3.1.2. CONSERVACION POR SALADO
 - 3.2.4. ETAPAS DEL PROCESO PRODUCTIVO DEL CUERO
 - 3.2.4.1. PRETRATAMIENTO Y ALMACENAMIENTO
 - 3.2.4.2. ETAPA DE RIBERA
 - 3.2.4.3. ETAPA DE CURTIDO
 - 3.2.4.4. ETAPA DE ACABADO
 - 3.2.5. REACCIONES QUIMICAS EN LA OPERACIÓN DE PELAMBRE

- 3.3. MARCO CONCEPTUAL
- 3.4. MARCO INSTITUCIONAL
- 3.5. MARCO LEGAL
- 4. METODOLOGÍA
 - 4.1. MATRIZ DE EXPERIMENTOS
 - 4.1.1. MATRIZ DE EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN LA FILTRACIÓN
 - 4.1.2. MATRIZ DE EVALUACIÓN DEL NÚMERO DE REÚSOS DEL AGUA RESIDUAL DEL PROCESO DE PELAMBRE
 - 4.2. ESCENARIOS EXPERIMENTALES
 - 4.3. VARIABLES A MEDIR
 - 4.4. PROCESO DE MEDICIÓN
- 5. ANÁLISIS Y RESULTADOS
 - 5.1. DISEÑO BOMBO A ESCALA DE LABORATORIO PARA LA OPERACIÓN DE PELAMBRE
 - 5.1.1. CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES
 - 5.1.2. CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO
 - 5.1.2.1. POTENCIA DEL MOTOR
 - 5.1.2.2. CARACTERÍSTICAS PIÑONES Y CADENA.
 - 5.2. FILTROS TIPO MESCH
 - 5.2.1. SELECCIÓN DE LOS FILTROS
 - 5.2.2. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS FILTROS
 - 5.3. PELAMBRE CONVENCIONAL SIN DESCARNE PREVIO A LA OPERACIÓN DE PELAMBRE
 - 5.4. PELAMBRE CONVENCIONAL CON DESCARNE PREVIO A LA OPERACIÓN DE PELAMBRE
 - 5.5. RESULTADOS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS
 - 5.5.1 DETERMINACIÓN DE SULFUROS Y PH EN EL AGUA RESIDUAL DE LA OPERACIÓN DE PELAMBRE

- 5.5.2 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO) EN EL AGUA RESIDUAL DE LA OPERACIÓN DE PELAMBRE.
- 5.5.3 DETERMINACIÓN DE DBO5 EN EL AGUA RESIDUAL DE LA OPERACIÓN DE PELAMBRE.
- 5.5.4 DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES EN EL AGUA RESIDUAL DE LA OPERACIÓN DE PELAMBRE.
- 5.5.5 DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDAD EN EL AGUA RESIDUAL DE LA OPERACIÓN DE PELAMBRE.
- 5.6. IMPACTO SOCIAL, HUMANÍSTICO Y AMBIENTAL DEL PROYECTO
- 6. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO
 - 6.1. CRONOGRAMA DEL PROYECTO
 - 6.2. RUTA CRÍTICA Y HOLGURA
- 7. EVALUACION ECONOMICA
- 8. CONCLUSIONES
- 9. RECOMENDACIONES
- 10. BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO 1. TABLA DE LOS VALORES DE K SEGÚN SEA LA CANTIDAD D

ANEXO 2. CURVA DE CALIBRACIÓN DQO.

ANEXO 3. SM4500E: MÉTODO YODOMÉTRICO (SULFUROS).

ANEXO 4. SM 5210B: PRUEBA ROB-5 DÍAS (DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO).

ANEXO 5. SM. 2540: SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN SECADOS A 103- 105°C.

ANEXO 6.SM 5220D. DETERMINACION DE DQO REFLUJO CERRADO
METODO COLORIMETRICO.

LISTA DE TABLAS

1. TABLA N°1: MARCO LEGAL APLICABLE A VERTIMIENTOS EN EL PROCESO PRODUCTIVO DEL CUERO 13
2. TABLA N°2: MATRIZ EXPERIMENTAL PORCENTAJE DE REMOCIÓN 13
3. TABLA N°3: MATRIZ EXPERIMENTAL NÚMERO DE REÚSOS 134
4. TABLA N°4: PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS AL AGUA RESIDUAL DE PELAMBRE
5. TABLA N°5. CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES BOMBO Y SOPORTE
6. TABLA N°6. CARACTERÍSTICAS FILTROS TIPO MESCH 100 Y 200.
7. TABLA N°7. VALORES DE SST EN EL AGUA RESIDUAL DE LA OPERACIÓN DE PELAMBRE CON Y SIN FILTRACIÓN.
8. TABLA N°8. CANTIDADES DE MATERIA PRIMA Y PRODUCTOS QUÍMICOS UTILIZADOS EN EL PRIMER ENSAYO SIN REÚSO EN EL ESCENARIO EXPERIMENTAL 1.
9. TABLA N°9. CANTIDADES DE MATERIA PRIMA Y PRODUCTOS QUÍMICOS UTILIZADOS EN EL SEGUNDO ENSAYO CON REÚSO DEL AGUA RESIDUAL DE LA OPERACIÓN DE PELAMBRE EN EL ESCENARIO 1.
10. TABLA N°10. CANTIDADES DE MATERIA PRIMA Y PRODUCTOS QUÍMICOS UTILIZADOS EN EL TERCER ENSAYO CON REÚSO DEL

AGUA RESIDUAL DE LA OPERACIÓN DE PELAMBRE EN EL ESCENARIO 1.

11. TABLA N°11. CANTIDADES DE MATERIA PRIMA Y PRODUCTOS QUÍMICOS UTILIZADOS EN EL PRIMER ENSAYO SIN REÚSO EN EL ESCENARIO 2.
12. TABLA N°12. CANTIDADES DE MATERIA PRIMA Y PRODUCTOS QUÍMICOS UTILIZADOS EN EL SEGUNDO ENSAYO CON REÚSO DEL AGUA RESIDUAL DE LA OPERACIÓN DE PELAMBRE EN EL ESCENARIO 2.
13. TABLA 13. CANTIDADES DE MATERIA PRIMA Y PRODUCTOS QUÍMICOS UTILIZADOS EN EL TERCER ENSAYO CON REÚSO DEL AGUA RESIDUAL DE LA OPERACIÓN DE PELAMBRE EN EL ESCENARIO 2.
14. TABLA N°14. CANTIDADES DE MATERIA PRIMA Y PRODUCTOS QUÍMICOS UTILIZADOS EN EL CUARTO ENSAYO CON REÚSO DEL AGUA RESIDUAL DE LA OPERACIÓN DE PELAMBRE EN EL ESCENARIO 2.
15. TABLA N°15. CANTIDAD DE SULFUROS Y PH EN EL AGUA RESIDUAL DE LA OPERACIÓN DE PELAMBRE EN EL ESCENARIO 1
16. TABLA N°16. CANTIDAD DE SULFUROS Y PH EN EL AGUA RESIDUAL DE LA OPERACIÓN DE PELAMBRE EN EL ESCENARIO 2.
17. TABLA N°17. RESULTADOS OBTENIDOS DE DQO EN EL AGUA RESIDUAL DE LA OPERACIÓN DE PELAMBRE EN EL ESCENARIO 1.
18. TABLA N°18. RESULTADOS OBTENIDOS DE DQO EN EL AGUA RESIDUAL DE LA OPERACIÓN PELAMBRE DE PELAMBRE EN EL ESCENARIO 2.
19. TABLA N°19. RESULTADOS DE DBO₅ EN EL AGUA RESIDUAL DEL PRIMER Y ÚLTIMO ENSAYO DE PELAMBRE.
20. TABLA N°20. RESULTADOS DE SOLIDOS TOTALES EN EL AGUA RESIDUAL DE LA OPERACIÓN DE PELAMBRE

21. TABLA N°21. RESULTADOS CONDUCTIVIDAD EN EL AGUA RESIDUAL DE LA OPERACIÓN DE PELAMBRE.
22. TABLA N°22. CRONOGRAMA DEL PROYECTO
23. TABLA N°23 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES – DIAGRAMA DE GANTT.
24. TABLA N°24. RUTA CRÍTICA Y HOLGURA DEL PROYECTO DE REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA OPERACIÓN DE PELAMBRE EN EL PROCESO PRODUCTIVO DEL CUERO.
25. TABLA N°25. PESO TOTAL DE UN LOTE DE 3000 PIELES DE GANADO VACUNO.
26. TABLA N°26. COSTOS EN INSUMOS PARA UNA PRODUCCIÓN DE 3000 PIELES MENSUALES SIN REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE PELAMBRE.
27. TABLA N°27. PORCENTAJE DE AHORRO EN INSUMOS CON REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE PELAMBRE BAJO CONDICIONES EXPERIMENTALES DEL ESCENARIO 2.
28. TABLA N°28. COSTOS EN INSUMOS PARA UNA PRODUCCIÓN DE 3000 PIELES MENSUALES CON REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE PELAMBRE.
29. TABLA N°29. COSTOS DE INVERSIÓN MATERIALES Y EQUIPOS.
30. TABLA N°30. FLUJO DE CAJA REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE PELAMBRE.

LISTA DE GRAFICAS

1. GRAFICO 1. LOCALIZACIÓN BARRIO SAN BENITO
13
2. GRAFICO 2. PARTES DE LA PIEL
13
3. GRAFICO 3. DIAGRAMA ESCENARIO 1 PELAMBRE CONVENCIONAL SIN DESCARNE PREVIO A LA OPERACIÓN

4. GRAFICO 4. [DIAGRAMA ESCENARIO 2 PELAMBRE CONVENCIONAL CON DESCARNE PREVIO A LA OPERACIÓN.](#)
5. GRAFICO 5. [PLANO DE DIMENSIONES BOMBO Y SOPORTE](#)
6. GRAFICO 6. [DQO VS NÚMERO DE REÚSOS ESCENARIO 1](#)
7. GRAFICO 7. [DQO VS NÚMERO DE REÚSOS ESCENARIO 2](#)

LISTADO DE IMÁGENES

1. IMAGEN 1. BOMBO PARA PELAMBRE.
2. IMAGEN 2. FILTROS EN MALLA TIPO MESH.
3. IMAGEN 3. DEPILADO INCOMPLETO ESCENARIO 1
4. IMAGEN 4. CORTE DE PIEL.
5. IMAGEN 5. PIEL EN TRIPA.
6. IMAGEN 6. DEPILADO INCOMPLETO ESCENARIO 2.

1. INTRODUCCION

Este trabajo de investigación se realizó con el fin de dar puntos de partida para la aplicación de técnicas de producción más limpias en la industria del cuero,

otorgando lineamientos aplicables a la operación de Pelambre. Con lo que se busca el cumplimiento normativo de la legislación ambiental colombiana y el desarrollo sustentable de la industria del cuero con el medio ambiente y la comunidad.

Para lograr esto y conocer el proceso, se dimensiono a menor escala y se reprodujo la operación de pelambre a nivel laboratorio, con la intención de la toma de muestras de cada agua proveniente del ciclo secuencial de depilado de la piel; seguido del análisis de cada una de ellas, mediante métodos de titulación yodo-métrica para determinación de Sulfuros y ajustes de pH en cuanto a las concentraciones de Cal.

En este mismo orden y dirección, se ajustan las cantidades de Sulfuro de sodio y Cal necesarias en el agua utilizada en el primer ensayo de pelambre para continuar con el proceso secuencial, hasta llegar al número de repeticiones pertinentes que no causan ninguna afectación en la calidad de la piel, en cuanto a la eliminación de la raíz capilar desde la epidermis de la misma.

Obtenidos los resultados, se dice que el reúso del agua utilizada en la primera operación en las dos repeticiones siguientes, no afecta la calidad del cuero y elimina por completo el pelo desde la raíz en toda el área superficial de la piel. Por lo que es factible implementar esta técnica en la industria, además de los ahorros producidos por el recirculado del agua residual y los insumos remanentes en la misma, se reduce el impacto ambiental negativo tanto al sistema de alcantarillado, como al cause receptor del agua residual.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Evaluar la viabilidad de la reutilización de agua residual proveniente de la operación de pelambre en la etapa de ribera, al reincorporarla en la misma operación aprovechando el sulfuro y la cal remanentes.

2.2. Objetivos específicos

- Identificar las operaciones unitarias y el funcionamiento de la etapa de ribera del proceso productivo del cuero, con el fin de estandarizar las condiciones mínimas necesarias para reproducir la operación a nivel de laboratorio.
- Determinar la composición del agua residual de la operación de pelambre, como DBO, DQO, Sulfuros, pH, Amonio y sólidos en suspensión; obteniendo valores de referencia para comparaciones posteriores y para el ajuste de las concentraciones de sulfuro y cal remanentes.
- Evaluar la eficiencia de un filtro en acero inoxidable malla 100 y 200 código Mesh para realizar la separación mecánica de sólidos en suspensión del agua residual (pelo y carnaza).
- Dimensionar y construir un bombo para reproducir la operación de pelambre a escala de laboratorio, reutilizando el agua residual y ajustando las concentraciones de sulfuro y cal.
- Determinar la viabilidad de la operación del pelambre a nivel laboratorio reutilizando el agua residual sobre las pieles de ganado vacuno.
- Determinar el número de reúsos del agua residual del proceso de pelambre en la misma operación.
- Analizar la viabilidad de la implementación del reúso del agua residual en la operación de pelambre.

3. MARCO DE REFERENCIA

3.1. MARCO CONTEXTUAL

Los primeros pasos por la industria del cuero datan cerca de los años 20 para el departamento de Antioquia y años después en los 50 surgen curtiembres establecidas en Cundinamarca en los municipios de Villapinzón y Chocontá; posteriormente productores de Chocontá, se trasladan a las afueras de la ciudad de Bogotá en el barrio conocido actualmente como San Benito. Principalmente este sector se constituye por micro, pequeñas y medianas empresas, ubicados en los departamentos de Antioquia, Atlántico, Bolívar, Cundinamarca, Huila, Nariño, Quindío, Risaralda, Santander, Tolima, y valle del cauca. [1]

En particular de acuerdo con el reporte del SENA y su diagnóstico ambiental, en Colombia el 77% de las empresas son microempresas, el 19% pequeñas, y el 3% medianas empresas, y tan solo un 1% son grandes industrias, de estas el 81,3% están ubicadas en San Benito, Villapinzón y Chocontá. Donde cerca de 2000 personas dependen diariamente de la producción de estas. [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.

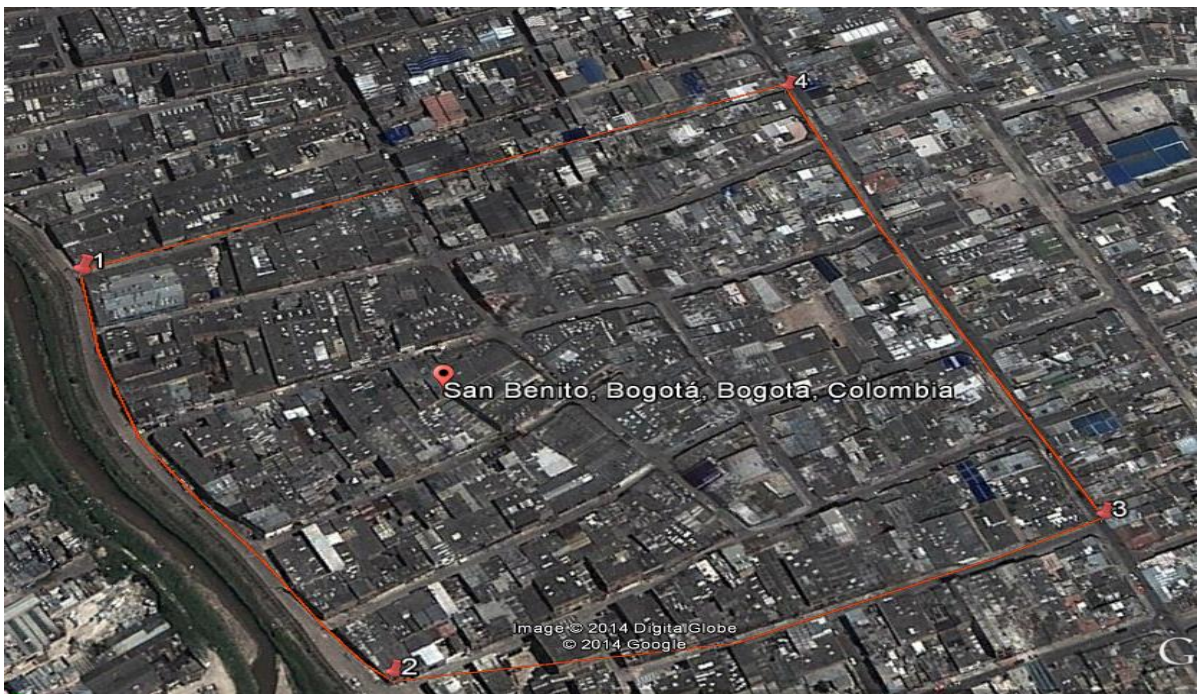
En los últimos años se ha visto una disminución en de la industria del curtido, debido a la suspensión temporal o cierre definitivo, por la poca atención que se le presta a las aguas provenientes de cada una de las operaciones necesarias para procesar las pieles y transformarlas en materia prima para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

3.1.1. CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS Y SOCIOECONÓMICAS

LOCALIZACIÓN

San Benito está ubicado al sur-occidente de la ciudad en la localidad de Tunjuelito, limita al sur con el barrio Tunjuelito, al oriente con el barrio San Carlos, por el occidente con Ciudad Bolívar, separados por el Rio Tunjuelito; y hacia el norte con el parque metropolitano el Tunal. (Ver mapa)

Imagen N°1 Localización Barrio San Benito.



Fuente: Google Maps (2014)

ASPECTO FISICO

El barrio cuenta con una área bruta de 46.96 hectáreas, de estas 37.77 están ocupadas por viviendas y el área restante 8.99 está libre de uso.

Se encuentra 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).

En cuanto a la hidrografía, la red hídrica está compuesta por el río Tunjuelito y la quebrada Chiguaza, esta última desemboca en el río a la altura de la carrera 17, que a su vez sirve como límite entre el barrio y la localidad de Ciudad Bolívar.

3.2. MARCO TEÓRICO

3.2.1. Descripción de la piel

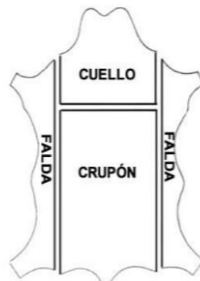
La piel es la parte externa del cuerpo, la cual protege, regula la temperatura y almacena grasas necesarias para el metabolismo de animales, en su mayoría está recubierta por pelo o lana [4].

3.2.1.1. partes de la piel

En pieles muy desarrolladas es posible distinguir fácilmente 3 zonas las cuales son:

- Cuello
- Crupón
- Falda

IMAGEN N°2: Partes de la piel



Fuente: Tomado de cueronet, comunidad virtual del cuero 2014.

En cuanto al peso de la piel, el Crupón representa el 45% aproximado del total de una piel fresca, siendo esta la más homogénea y compacta de las tres. Las faldas

tienen un 30% del peso, además de ser las que tienen más tejido adiposo. Y por último el cuello representa el 25% del peso, y es la parte que más tiene arrugas [4].

3.2.1.2. Tipos de pieles

A simple vista todas las pieles tienen cierta similitud entre ellas, pero pueden presentarse diferencias por distintos factores, ya sea por las regiones de procedencia, el entorno de crianza del animal o la más relevante y quizás importante de todas, la raza del animal. En breve se explica a continuación los diferentes tipos de pieles y como se pueden diferenciar [5].

3.2.1.3. pieles vacunas

Estas se clasifican de acuerdo al tamaño y naturaleza del animal [5].

3.2.1.3.1. *pieles de ternera*

Su principal característica de diferenciación, es el tamaño del poro puesto que este a diferencia de otras presenta poros pequeños, además de tener la flor fina [5].

3.2.1.3.2. *pieles de novillo*

Estas pieles suelen tener resistencia mecánica y poseen mejor flor que las de vaca [5].

3.2.1.3.3. *pieles de vaca*

Pieles delgadas, que a menudo presentan defectos de culata [5].

3.2.1.3.4. *pieles de buey y toro*

Se caracterizan por tener poros grandes con defectos en la flor, y arrugas profundas en el cuello [5].

3.2.2. descripción del pelo

3.2.2.1. estructura del pelo

La raíz del pelo se encuentra dentro de una bolsa que se forma por los pliegues de la epidermis, que recibe el nombre de folículo piloso y la base del pelo llega casi hasta el fondo de la capa capilar [6].

3.2.3. conservación de la piel

3.2.3.1. sistemas de conservación

Existen diferentes sistemas de conservación, de los cuales el más utilizado por la industria del cuero en el barrio San Benito, es la conservación por salado, pero a continuación se describen brevemente cada uno de los sistemas [6].

3.2.3.1.1. conservación por secado

Consiste en deshidratar la piel, para así evitar la putrefacción a causa de los microorganismos. Este sistema es utilizado con frecuencia en pieles ovinas, ya que las pieles vacunas secas son de menor calidad que las saladas [6].

3.2.3.1.2. conservación por salado

La sal inhibe la acción de las enzimas de la piel, evitando así el desarrollo bacteriano. Para la ejecución de este proyecto se utilizaron pieles saladas, estas fueron extendidas y rociadas con sal industrial, para posteriormente doblarla y almacenarla en grandes bodegas para su futuro tratamiento [6].

3.2.4. operaciones del proceso de curtido

A continuación se describen brevemente las operaciones necesarias para el proceso de curtido.

3.2.4.1. Descripción pre-tratamiento y almacenamiento

El procesamiento del cuero puede empezar poco después del sacrificio del animal, pero en algunas ocasiones las pieles se almacenan por largo tiempo, por lo que deben recibir un tratamiento especial para impedir el desarrollo microbiano y la putrefacción de las mismas.

- **Pieles Saladas:** La preservación se realiza inicialmente por inmersión en salmuera. Las pieles se apilan, intercaladas con una capa de sal. Con el fin de prolongar los tiempos de almacenamiento ya que de esta forma se pueden guardar por meses antes de someterlas al proceso de curtición.
- **Pieles Verdes:** Cuando el tiempo entre el sacrificio del animal y el procesamiento de la piel es corto, la curtición se puede iniciar sin ningún pre-tratamiento.

3.2.4.2. Descripción ribera

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).

- 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 (Na_2S) y Cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), durante un periodo que varía entre 17 y 20 horas [7].

Las aguas residuales de esta operación son las más concentradas de todas las generadas en el proceso de la adecuación del cuero y representan un 70% a 80% de toda la contaminación de la carga originada en los efluentes principalmente DQO, sólidos suspendidos y sulfuros. Presentan valores de pH (superiores a 11) y restos de sebo, carnaza, pelo, sulfuro y proteína solubles [8].

En cuanto al sulfuro de sodio en medio alcalino, no libera ácido sulfhídrico. Sin embargo en afluentes ácidos, es decir aguas con pH bajo, hay fuerte desprendimiento de ácido sulfhídrico con el olor característico y poder de corrosión. Con tan sólo un pH por debajo de 8,0 se inicia el desprendimiento de ácido sulfhídrico en suficiente cantidad para causar malestar por su fuerte olor a huevo podrido [8].

Esta etapa del proceso, además de aportar el 70% de la carga orgánica al efluente, aporta la totalidad de sulfuros residuales, el 45% de los residuos sólidos sin cromo, el 35% del nitrógeno total y representa el 50% del volumen del efluente. Por lo que es oportuno decir, que es necesario aplicar estrategias para reducir la contaminación a su máxima expresión.

- **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 [8].

- **Dividido**

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 [8].

3.2.4.3. Descripción curtido

El curtido comprende los siguientes pasos:

- **Desencalado y purga**

Es la preparación de las pieles para la curtición, mediante lavados de agua limpia, tratando de reducir la alcalinidad y removiendo los residuos de cal y sulfuros de sodio.

- **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 [7].

- **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 [7].

3.2.4.4. Descripción acabado

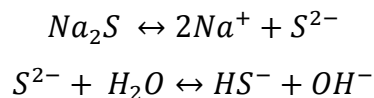
En esta etapa se puede procesar el cuero curtido al vegetal o al cromo. Estos son desaguados y retenidos para eliminar el exceso de humedad, además son estirados y preparados para luego secarlos. El proceso final consiste en anilinas o pigmentos

dispersos en un binder, típicamente caseína o polímeros acrílicos o poliuretánicos, los que son aplicados por felpa, pistola o rodillo [7].

3.2.5. Reacciones químicas en la operación de pelambre

3.2.5.1. Pelambre reductor con sulfuro y cal en Bombo

Es una de las operaciones que se lleva a cabo en la etapa de ribera, aunque no en todas las curtiembres se hace, es una de las etapas más contaminantes de todo el proceso por su alto contenido de sulfuros, aumento en la DBO₅ y DQO en el agua residual. Esta fase se realiza con el fin de eliminar por completo la presencia de pelo o lana de la piel, dejándola limpia y preparándola para las operaciones siguientes. En esta operación se emplea sulfuro de sodio y cal hidratada, el primero al reaccionar con el agua provoca las siguientes reacciones: [9]



Lo que indica que la presencia de reductora de los sulfuros, podría generar la ruptura de los puentes de disulfuro de la cistina y la hidrólisis de la queratina, por lo que se elimina la epidermis, las raíces capilares y el pelo, además la adición de la cal rompe los puentes de hidrogeno, formando enlaces más fuertes y haciendo que las proteínas se vuelvan solubles. La formación de grupos peptídicos (-CO-NH-), ayudan a que posteriormente se presenten mejores reacciones de los químicos en la piel, lo que mejora significativamente la calidad de la piel, en cuanto a textura, resistencia y elasticidad [9].

3.3. MARCO CONCEPTUAL

Glosario:

Agua Residual:

Llamadas también aguas servidas, negras y/o grises, se pueden definir como la combinación de los residuos líquidos procedentes tanto de residencias como de instituciones, lugares industriales y comerciales a los que pueden agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales.

Cabe anotar que en este tipo de agua existen numerosas colonias de microorganismos patógenos y causantes de enfermedades, sin dejar de lado los malos olores que se producen por estancamientos. Las aguas residuales poseen gran cantidad de nutrientes que ayudan al crecimiento de plantas acuáticas, que con el paso se convierten en dolor de cabeza, ya que no permite la autodepuración de ellas mismas y el paso de los rayos del sol, causando eutrofización en cuencas donde sean vertidas este tipo de aguas.

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 inorgánica, para lo que es necesaria la presencia de oxígeno.

Autorregulación:

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

Biodiversidad:

Variedad de especies animales y vegetales en su medio ambiente.

Bombo:

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.

Carnaza:

Capa inferior de la piel o cuero, constituida por tejido adiposo y tejido muscular.

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.

Contaminación del agua:

Esta puede producirse por actividades domésticas, industriales, o agrícolas. los principales receptores de desechos industriales, domésticos y/o agrícolas, son los ríos, canales y lagos, produciendo en estos efectos como la disminución de la cobertura vegetal, la cantidad de oxígeno disuelto, aumentos significativos de sustancias químicas y materia orgánica, produciendo efectos nocivos en la salud tanto animal como del hombre.

Contaminante:

Cualquier factor cuya presencia en un predeterminado ambiente y circunstancia, constituyan o desencadenen contaminación. Es la sustancia, o forma de energía que normalmente no está presente en el medio ambiente, al menos en los niveles que se encuentran con frecuencia y que aparentemente no causan efectos nocivos, pero si la concentración se incrementa con el tiempo puede producir efectos nocivos.

Costo Ambiental:

Es el valor económico que se le asigna a los efectos negativos de una actividad productiva para la sociedad.

Curtido:

Por definición es una transformación de cualquier piel en cuero, con el fin de impedir la putrefacción del y mejorar su apariencia y propiedades físicas, asegurando la estabilidad química y biológica del mismo.

DBO:

Cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aerobias o anaerobias facultativas: *Pseudomonas*, *Escherichia*, *Aerobacter*, *Bacillus*), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Se expresa en mg/l.

Descarne:

Capa inferior de una piel o cuero, separada mediante la máquina de dividir.

DQO:

Cantidad de oxígeno requerida para oxidar la materia orgánica a partir de un oxidante químico fuerte.

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.

Desechos sólidos:

Constituyen aquellos materiales desechados tras su vida útil, y que por lo general por si solos carecen de valor económico.

Se componen principalmente de desechos procedentes de materiales utilizados en la fabricación, transformación o utilización de bienes de consumo. Todos estos residuos sólidos, en su mayoría son susceptibles de reaprovecharse o transformarse con un correcto reciclaje.

Diagnóstico Ambiental:

Descripción de una situación ambiental, sobre la base de la utilización integrada de indicadores con origen en las ciencias naturales, exactas y sociales.

Ecosistema:

Sistema biológico formado por una comunidad de seres vivos y el medio ambiente en el que se desarrollan. Modelo conceptual que pretende explicar las relaciones de una comunidad biótica con su ambiente.

Flor:

Aspecto característico de los poros visibles sobre la superficie externa de una piel, después de eliminar el pelo o lana peculiar del animal del que se trate.

Hoja:

La mitad de todo un cuero con sus rebordes, incluyendo testuz, cuello y flancos, obtenida dividiéndola a lo largo de la línea del espinazo.

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.

Indicadores Ambientales:

Variables que señalan la presencia o condición de un fenómeno que no puede medirse directamente y afecta al medio ambiente.

Impacto Ambiental:

Alteración favorable (Impacto Positivo) o desfavorable (Impacto negativo) en el medio o en alguno de los componentes del medio producido por una acción o actividad. Esta acción puede ser un proyecto de ingeniería, un programa, una ley o una disposición administrativa con implicancias ambientales. El impacto es la diferencia entre la situación ambiente futuro modificado, como producto de la acción o actividad, y la situación del ambiente futuro tal como habría evolucionado normalmente en forma natural. Cualquier cambio en el ambiente sea adverso o

benéfico resultante de manera total o parcial de las actividades, productos o servicios de una organización.

Medio Ambiente:

Conjunto de áreas naturales y sus elementos constitutivos dedicados a usos no urbanos ni agropecuarios del suelo, que incluyen como rasgo fisonómicos dominante la presencia de bosques, estepas, pastizales, bañados, vegas, turbales, lagos y lagunas, ríos, arroyos, litorales y masas de agua marina y cualquier otro tipo de formación ecológica inexplorada o escasamente explotada.

Pelambre:

Proceso a través del cual se disuelve el pelo utilizando cal y sulfuro de sodio, produciéndose además, al interior del cuero, el desdoblamiento de fibras a fibrillas, que prepara el cuero para la posterior curtición. La cal se mezcla con sulfito de sodio para aflojar la lana y pelo, o disolver estos, produciendo un aflojamiento de la estructura fibrosa con el fin de preparar la piel para los procesos siguientes.

pH:

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 hidrogeno de solución en moles por litro. Si es inferior a 7, corresponde a una solución ácida y si es mayor (hasta 14) corresponde a una solución alcalina.

Políticas Ambientales:

Son el conjunto de objetivos, principios, criterios y orientaciones generales para la protección del medio ambiente de una solución particular.

Preservación:

Mantenimiento en su estado original de un recurso natural, una estructura o situación que ha sido heredada del pasado, sin cambios en su existencia.

Prevención:

Conjunto de disposiciones y medidas anticipadas para evitar el deterioro del ambiente.

Pre-tratamiento:

Proceso previo que tiene como objetivo remover el material orgánico e inorgánico flotante, suspendido o disuelto del agua antes del tratamiento final. Procesos de tratamiento localizados antes del tratamiento primario.

Producción Limpia:

Generación de productos de una manera sustentable, a partir de la utilización de materias primas renovables, no peligrosas, y de una manera energética eficiente, conservando a la vez la biodiversidad.

Protección Ambiental:

Es el conjunto de acciones de orden social, técnico, legal y económico, que tiene por objeto proteger las áreas

Reciclaje:

Se define como la utilización de materiales de desechos en materia prima, mediante cualquier proceso productivo. Para la re fabricación del mismo producto o la elaboración de productos nuevos.

Remojo:

Es el proceso para rehidratar la piel, elimina la sal y otros elementos como sangre, excremento y suciedad en general. Se tratan las pieles con agua dentro de una tina, molineta o bombo.

Tratamiento:

Es el proceso de transformación física, química o biológica de los residuos sólidos para modificar sus características o aprovechar su potencial y en el cual se puede generar un nuevo residuo sólido, de características diferentes.

Testuz:

Parte del cuero vacuno que cubre la cabeza entre las dos carillas.

Vertimiento líquido:

Cualquier descarga líquida hecha a un cuero de agua o a un sistema de alcantarillado.

3.4. MARCO INSTITUCIONAL

Las curtiembres en san Benito son la industria que más genera ingresos al barrio, ya que la gran parte de las curtiembres de la ciudad se encuentran ubicadas allí. 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 daña tanto al gremio como a los mismos ciudadanos presentes en el barrio San Benito; puesto que el no cumplimiento de la legislación ambiental causa sanciones y multas impuestas por la autoridad ambiental a los curtidores, incurriendo en gastos no presupuestados por el gremio.

Además las prácticas de curtido convencionales producen efectos perjudiciales en la población, ya 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 Río 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 río Bogotá, concentraciones elevadas de sulfuros y materia orgánica [10].

Por lo que la aplicación de nuevas estrategias de producción se hace necesaria e indispensable, para mitigar el impacto negativo sobre el recurso hídrico de la zona, trayendo beneficios tanto a los curtidores como a la comunidad directa e indirectamente relacionados con la industria del cuero, generando cumplimiento normativo ambiental en cuanto a vertimientos se refiere, y disminuyendo los índices de contaminación por parte del proceso productivo del cuero mejorando la calidad de vida de la comunidad del barrio San Benito y alrededores.

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

Norma	Año	Artículos De mayor importancia en el proyecto	Descripción
Ley 99	1993		Por el que se crea el Ministerio de Medio Ambiente y organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA), y exige la planificación de la gestión ambiental de proyectos.
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.
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 224.	Vertimiento por uso doméstico y municipal.
		Art 225	Vertimiento por uso agrícola.
		Art 226 a 230	Vertimiento por uso industrial.
Decreto 2667	2012		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
		Art 22.	Monitoreo de vertimientos.
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.
Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento Básico: RAS 2000	2000	Título F	Se reglamentan y estipulan los parámetros necesarios para el diseño, implementación y mantenimiento de un sistema de tratamiento de agua residual.

Ley 373	1997		Se establecen parámetros para la creación de programas de uso eficiente y ahorro del agua.
Decreto 901	1997		Tasas retributivas por vertimientos líquidos puntuales a cuerpos de agua.
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.
Decreto 3930	2010	Art 41 - 59	Establece lineamientos para permisos de vertimientos, renovación de los mismos y sanciones por incumplimiento.
		Art 61- 64.	Gestión de vertimientos en cuanto a tecnologías limpias y su aplicación.
		Art 65 - 73	Marca los parámetros de la reglamentación de vertimientos y sistemas de tratamientos.
		Art 74 - 79	Registro y control de permisos para vertimientos.
Decreto 4728	2010		Se realizan modificaciones parciales en el decreto 3930

Resolución SDA 3956	2009	Art 5 – 7	Generalidades del permiso de vertimientos.
		Art 8 - 9	Se definen las causales de suspensión y revocatoria del permiso de vertimientos.
		Art 10 - 11	Se determinan los tipos de vertimientos permitidos a corrientes principales.
		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 - 22	Visitas de inspección y sanciones pertinentes.
Resolución 339	1999	Art 2	Caracterización de las empresas por determinación de parámetros UCH1 y UCH2
		Art 4	Control de vertimientos por parte del DAMA.

Fuente: Elaboración propia de los autores

4. METODOLOGIA

En este capítulo se describen las características del marco experimental trabajado durante la investigación para la obtención del agua residual de la operación de pelambre y su posterior reúso en la misma, este involucra matriz de experimentos, escenarios experimentales, variables a medir y proceso de medición.

4.1. Matriz de experimentos

4.1.1. Matriz de evaluación del porcentaje de remoción de sólidos suspendidos en la filtración.

Para evaluar el porcentaje de remoción de sólidos suspendidos, se planteó la siguiente matriz experimental:

Tabla N°2: Porcentaje de Remoción

Tamaño de la malla	Porcentaje Promedio de remoción
100	X
200	X

Fuente: Elaboración Propia (2014).

4.1.2. Matriz de evaluación del número de reúsos del agua residual del proceso de pelambre

Para evaluar si el número de reúsos del agua residual de la operación de pelambre, no afecta la calidad del depilado se plantea la siguiente matriz experimental.

Tabla N°3: Número de Reúsos.

# proceso de pelambre secuencial	Percepción visual del depilado	Concentración Inicial de Sulfuros (mg/l)	Concentración Final de Sulfuros (mg/l)	pH
X	X	x	X	X
X	X	X	x	X
x	X	x	x	x

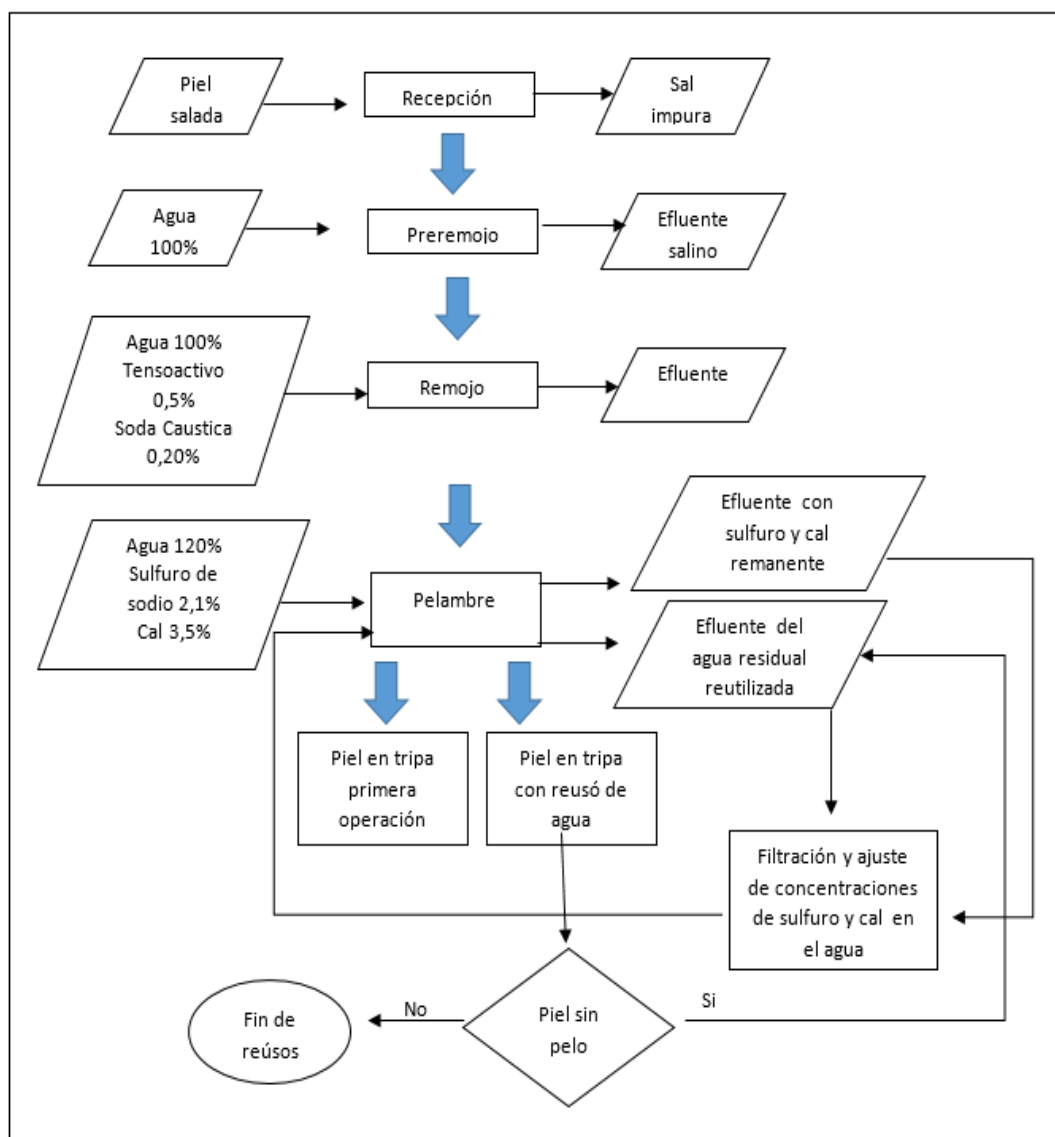
Fuente: Elaboración propia de los autores.

Para contrarrestar posibles interferencias a causa de la materia orgánica y disminuir las cantidades necesarias de insumos químicos para la ejecución de la operación, se repetirá la operación pero previo al pelambre se realizará un descarne de la piel. (Ver Tabla 3).

4.2. Escenarios experimentales

Se plantearon dos escenarios experimentales el primero consiste en no realizar un descarne en pelo previo a la operación de pelambre y el segundo en realizar dicho descarne; estos son presentados más detalladamente mediante los siguientes diagramas.

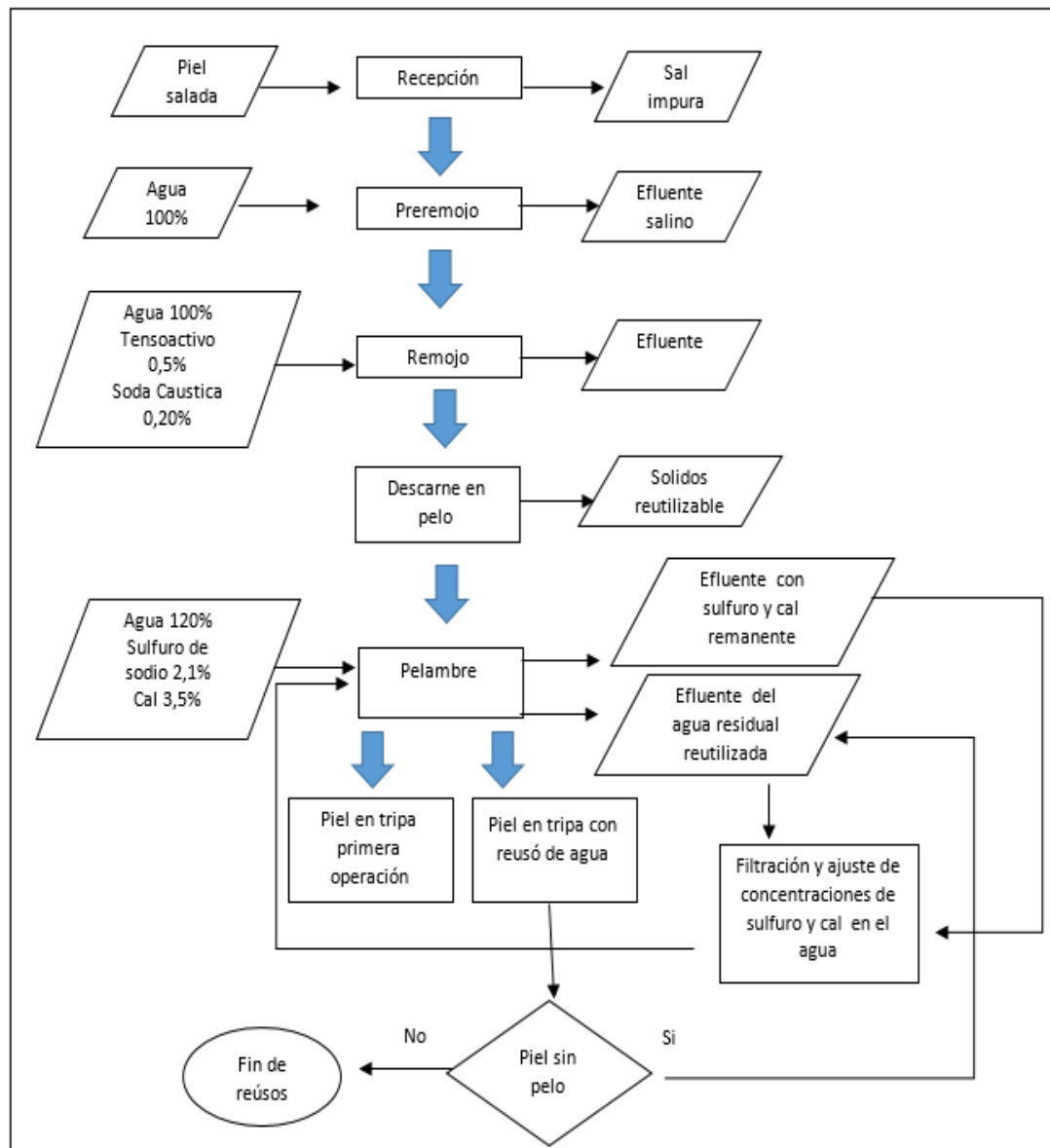
Grafico 3. Diagrama escenario 1 pelambre convencional sin descarte previo a la operación



Fuente: Elaboración propia de los autores.

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

Grafico 4. Diagrama escenario 2 pelambre convencional con descarte previo a la operación.



Fuente: Elaboración propia de los autores.

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

4.3. Variables a medir

Las variables a medir en los dos escenarios son de tipo cuantitativo y cualitativo, las cuales corresponden a las características fisicoquímicas del efluente de la operación de pelambre (sulfuros y pH) y la percepción visual del depilado; estas variables fueron seleccionadas puesto que permiten garantizar el aprovechamiento de cal y sulfuro remanente de la operación, identificar la calidad del producto obtenido, manifestar el cumplimiento normativo ambiental colombiano y formular un tratamiento final del agua residual . Se realizaron determinaciones de DQO DBO₅ para algunas etapas del proceso.

4.4. Proceso de medición

El proceso de medición efectuado consistió en la determinación de la calidad del depilado y de las características fisicoquímicas del agua residual de pelambre al finalizar cada operación de pelambre y durante el reúso del agua realizando un corte transversal a la piel y aplicando los Standard Methods publicados por la *American Public Health Association* y *American wáter Works Association* (**Ver Tabla N°4**).

Tabla N°4: Parámetros fisicoquímicos al agua residual de pelambre

Parámetro Fisicoquímico	Unidades	Código SM	Método
Sulfuros	mg/L	4500E	Titulometría
pH		4500B	Electrometría

DQO	mg/L	5220C	Titulometría - Espectrofotometría
DBO ₅	mg/L	5210B	Espectrofotometría -
Sólidos totales en suspensión	mg/L	2540D	Gravimetría
Conductividad	mS/cm	-----	-----

Fuente: Elaboración propia de los autores.

5. Análisis y Resultados

5.1. Diseño Bombo a escala de laboratorio para la operación de pelambre

En el diseño del bombo se definen las características estructurales y de funcionamiento requeridas para el desarrollo de una operación de pelambre a escala de laboratorio. Los parámetros de diseño tenidos en cuenta para determinar la potencia del motor requerida fueron las revoluciones por minuto (se tomaron como referencia 6 rpm debido a que son las máximas rpm utilizadas en la operación de desengale ya que esta hace parte de la etapa de ribera), el peso total que soportará el motor correspondiente al peso del bombo más su contenido, según su capacidad.

5.1.1. Características estructurales

En las características estructurales se identifican los materiales idóneos para la elaboración de un bombo de pelambre y su soporte (**Ver tabla N° 5**), y además se definen las dimensiones para su posterior fabricación, teniendo en cuenta que para

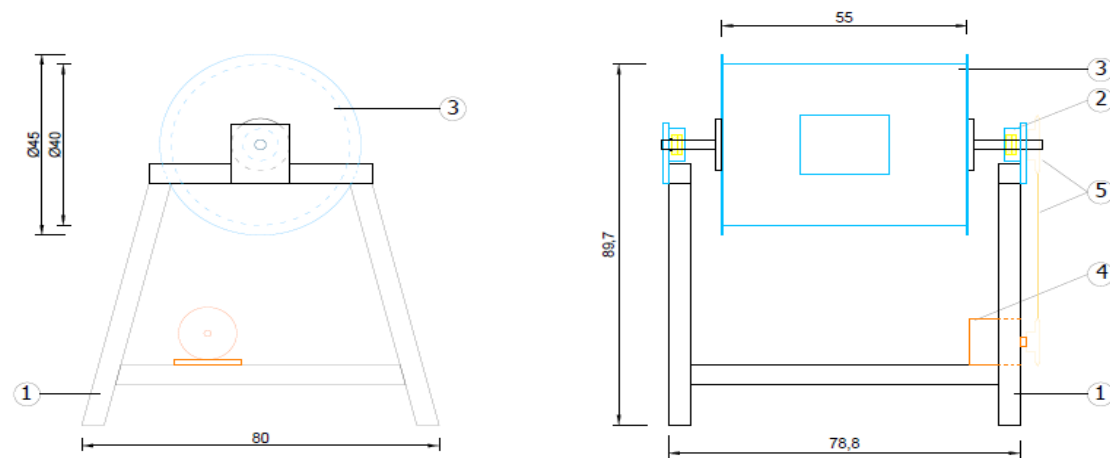
un bombo de pelambre es recomendable contar con una altura mayor que el diámetro [11] (**Ver grafica 5**).

Tabla N°5. Características estructurales bombo y soporte.

Características estructurales Bombo y soporte			
Elemento	Dimensiones (cm)	Material	Criterio de selección
Bombo	45 Ø * 55	Acrílico	- Resistencia al uso de productos químicos como sulfuro y cal. - La transparencia del material que permite observar el proceso.
Soporte	80*65* 70	Acero	- Resistencia mecánica y disponibilidad del material.
Chumaceras		Nylon	- Resistencia mecánica y disponibilidad del material.

Fuente: Elaboración propia de los autores.

Grafico 5. Plano de dimensiones bombo y soporte



Parte #.	Descripción
1	Base tubería estructural
2	Chumaceras doble rodamiento Ø 25 mm
3	Bombo en acrílico
4	Motorreductor
5	Cadenas y piñones Tracción

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS			
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL			
Dispositivo: Bombo Pelambre			
	Nombre	Fecha	Escala: 10:1
Fabrico	Sergio A. Camillo N. Cristian Muñoz L.	17 de Marzo de 2014	Curso: Trabajo de grado
Reviso	Nidia Ortiz P.	19 de Marzo de 2014	Numero de dibujo: 03



Fuente: Elaboración propia de los autores.

5.1.2. Características de funcionamiento

En las características de funcionamiento se define la potencia del motor, el tipo y número de piñones necesarios para trabajar a una velocidad de 3 R.P.M y el tamaño de la cadena.

5.1.2.1. Potencia del motor: La potencia del motor requerida se definió a partir del diámetro del bombo, las rpm de la operación de remojo y pelambre, y la masa; su cálculo se presenta posteriormente:

Ecuación 1. Potencia de un motor

$$Potencia\ motor = \pi * D * rpm * m * g$$

Dónde:

- π = relación entre la longitud de una circunferencia y su diámetro.
- D = diámetro.
- rpm = revoluciones por minuto.
- m = Masa.
- g = Constante gravitacional.

Obteniendo así:

$$Potencia\ motor\ teórica = \pi * 0,45m * \frac{6\ rev}{min} * \frac{1\ min}{60\ s} * m * g$$

$$Potencia\ motor\ teórica = \pi * 0,45m * \frac{6\ rev}{min} * \frac{1\ min}{60\ s} * m * \frac{9,8\ m}{s^2}$$

$$Potencia\ motor\ teórica = \pi * 0,45m * \frac{6\ rev}{min} * \frac{1\ min}{60\ s} * 70,42\ Kg * \frac{9,8\ m}{s^2}$$

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

La masa total (m) corresponde a la suma de la masa del acrílico y del agua contenida en el bombo, este es su cálculo:

Ecuación 2. Masa total bombo lleno

$$\textbf{Masa total} = \text{masa acrílico} + \text{masa del agua en el bombo}$$

Ecuación 3. Masa del acrílico

$$\textbf{Masa del acrílico} = \text{densidad del acrílico} * \text{volumen acrílico}$$

$$\textbf{Masa del acrílico} = \frac{1190 \text{ Kg}}{\text{M}^3} * \text{volumen acrílico}$$

Volumen acrílico

$$\begin{aligned} &= \text{Vol tapas externas} + \text{Vol tapas internas} \\ &+ \text{Vol cuerpo cilíndrico hueco} \end{aligned}$$

Volumen acrílico

$$\begin{aligned} &= (\text{numero de tapas externas} * \pi * h * r^2) \\ &+ (\text{numero de tapas internas} * \pi * h * r^2) + (\pi * h * (R_{ext}^2 - r_{int}^2)) \end{aligned}$$

Volumen acrílico

$$\begin{aligned} &= (2 * 3,1416 * 0,004\text{m} * (0,225\text{m})^2) \\ &+ (2 * 3,1416 * 0,008\text{m} * (0,095\text{m})^2) + (3,1416 * 0,54\text{m} * ((0,2\text{m})^2 \\ &- (0,196\text{m})^2)) \end{aligned}$$

$$\textbf{Volumen acrílico} = 0,0044\text{m}^3$$

Reemplazando en la fórmula 3 obtenemos:

$$\textbf{Masa del acrílico} = \frac{1190 \text{ Kg}}{\text{M}^3} * 0,0044\text{m}^3$$

$$\textbf{Masa del acrílico} = 5,25 \text{ Kg}$$

Ecuación 4. Masa de agua contenida en el bombo.

$$\text{Masa de agua} = \text{densidad del agua} * \text{vol agua en el bombo}$$

$$\text{Masa de agua} = \frac{1000 \text{ Kg}}{\text{M}^3} * 0,065 \text{M}^3$$

$$\text{Masa de agua} = 65,17 \text{ Kg}$$

Reemplazando la masa del acrílico y del agua en la fórmula 2 obtenemos:

$$\text{Masa total} = \text{masa acrílico} + \text{masa del agua en el bombo}$$

$$\text{Masa total} = 5,25 \text{ kg} + 65,17 \text{ Kg}$$

$$\text{Masa total} = 70,42 \text{ kg}$$

Reemplazando la masa total en la fórmula 1 obtenemos:

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

$$\text{Potencia motor teórica} = 97,56 \text{ w} * \frac{1 \text{ hp}}{746 \text{ w}}$$

$$\text{Potencia motor teórica} = 0,13 \text{ hp}$$

Ecuación 5. Potencia motor Real

$$\text{Potencia motor real} = \frac{\text{Potencia teorica}}{0,7 \text{ } 0,6}$$

$$\text{Potencia motor real} = 0,18 \text{ hp o } 0,21 \text{ hp}$$

La potencia del motor requerida para realizar la operación de remojo y pelambre a nivel de laboratorio es de 0,18 hp y 3 rpm, 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 rpm requeridas.

5.1.2.2. Características piñones y cadena

El tipo y número de piñones requeridos se definió con base a la velocidad del motor y de las operaciones de remojo y pelambre, las cuales corresponden a 3 rpm respectivamente, además de tener en cuenta la carga en movimiento para establecer el paso y tamaño de la cadena.

A partir de la información descrita anteriormente se establecen lo siguiente:

1. Se define el piñón de salida del Motorreductor de tal forma que al establecer futuras relaciones con los piñones de remojo y pelambre resulten piñones con un área de manzana suficiente para colocar prisioneros que permitan asegurarlos 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 rpm del Motorreductor y de las operaciones de remojo y pelambre, este es su cálculo:

Ecuación 6. Relación de velocidades [12]

$$R1 * Z1 = R2 * Z2$$

Donde:

R1= velocidad de giro piñón conductor.

R2= Velocidad de giro piñón conducido.

Z1= Numero de dientes piñón conductor.

Z2= Numero de dientes piñón conducido.

Reemplazando en la fórmula 6:

$$2 \text{ rpm} * 36 \text{ dientes} = 3 \text{ rpm} * \mathbf{Z2}$$

$$\frac{2 \text{ rpm} * 36 \text{ dientes}}{3 \text{ rpm}} = \mathbf{Z2}$$

$$\mathbf{Z2} = 24 \text{ dientes}$$

Con este resultado se obtuvo que el piñón requerido para el eje del bombo es de 24 dientes y paso 40 B, para lograr desarrollar las operaciones de remojo y pelambre a una velocidad de 3 rpm.

3. Una vez definidos los piñones y el paso de la cadena a trabajar se procede al cálculo del tamaño de la cadena, aplicando la siguiente fórmula:

Ecuación 7. Tamaño de la cadena [12]

$$\mathbf{Tamaño\ de\ la\ cadena: } 2C + \frac{S}{2} + \frac{K}{C}$$

Donde:

- **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**= Resta del 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 fórmula 7 se obtiene:

$$\textit{Tamaño de la cadena: } 2(18,89'') + \frac{60}{2} + \frac{3,65}{18,89''}$$

$$\textit{Tamaño de la cadena: } 67,98''$$

Luego el resultado se multiplica por el paso de la cadena (1") y se encuentra que es necesario utilizar una cadena de 67,98" pulgadas, que es equivalente a 1,72 metros.

5.2. FILTROS TIPO MESCH

5.2.1. SELECCIÓN DE LOS FILTROS

En primer lugar se seleccionaron dos filtros tipo Mesh 100 y 200 (**ver tabla 1**) para realizar la separación mecánica de los sólidos suspendidos contenidos en el agua residual de la operación de pelambre (pelo y carnaza), estos fueron seleccionados debido a las diferentes ventajas que presentan tales como:

- Resistencia a la corrosión.
- Tiempo de duración.
- Fácil extracción de residuos sólidos sin contaminación del medio filtrante, 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.

Tabla N°6. Características filtros tipo Mesh 100 y 200.

Filtro tipo Mesh 100				Filtro tipo Mesh 200			
							
Calibre milímetros	Abertura milímetros	Área Abierta %	Peso metro ² / Kilogramos	Calibre milímetros	Abertura milímetros	Área Abierta %	Peso metro ² / Kilogramos
0,100	0,154	36,8	0,51	0,0533	0,074	33,7	0,29

Fuente: Elaboración propia de los autores., basados en malla tejida en acero inoxidable, ICOMALLAS S.A

5.2.2. Evaluación de la eficiencia de los filtros

Para la evaluación de la eficiencia de los filtros tipo Mesh 100 y 200 se toman como valores de referencia el parámetro de sólidos suspendidos totales (SST) en el agua residual de la operación sin filtración y con filtración para cada filtro.

Tabla N°7. Valores de SST en el agua residual de la operación de pelambre con y sin filtración.

Filtrada		Malla en acero inoxidable	Solidos suspendidos iniciales (mg/L)	Solidos suspendidos finales (mg/L)	Porcentaje de remoción (%)
Si	No				
	X	-	21805	-	-
X		100		5026,44	23,05
X		200		15642,5	71,74

Fuente: Elaboración propia de los autores

*Las cantidades de sólidos totales presentadas en esta tabla 7 son el resultado de un promedio de datos obtenidos en laboratorio.

Sobre la base de las consideraciones expuestas en la anterior tabla es posible identificar que el porcentaje de remoción del filtro Mesh tipo 200 es mayor en un 48,69 % con respecto al filtro tipo 100, por esta razón se selecciona este para realizar el pre-tratamiento del agua residual de la operación de pelambre. Cabe agregar que visualmente se observó que no se presentó un grado alto de colmataje en el filtro.

5.3. Resultados Pelambre convencional sin descarte previo a la operación de pelambre

Con seis cortes de piel de ganado vacuno sin descarte previo se desarrollaron las operaciones de preremoyo, remoyo y pelambre a escala de laboratorio en un bombo de prueba (**ver imagen 1**), bajo la formulación habitual realizada por una curtiembre del sector de San Benito en Bogotá. Una vez realizado el pelambre se obtuvo la piel en tripa y el agua residual, la cual fue filtrada con malla tipo Mesh (**Ver Imagen 2**); posteriormente a esto se determinó la concentración de sulfuro de sodio remanente

por titulación (**Ver anexo 3**) y se realizó el ajuste de concentraciones para reutilizar el agua residual de pelambre en la misma operación .

Imagen 1. Bombo para pelambre



Imagen 2. Filtros en malla tipo Mesh



En las **tablas 8, 9 y 10** se presentan las cantidades de materia prima e insumos químicos utilizados en cada ensayo.

Tabla N°8. Cantidades de materia prima y productos químicos utilizados en el primer ensayo sin reúso en el escenario experimental 1.

Ensayo Número			1		
Número de muestras			2		
Peso total de las muestras (g)			1389,6		
Operación			Preremojo	Remojo	Pelambre
Agua e Insumos químicos emplead	Agua	ml	1389,6	1389,6	1667,5
		%	100	100	120

	Tensoactivo	g	-	4,2	-
		%	-	0,3	-
	soda caustica	g	-	2,8	-
		%	-	0,2	-
	sulfuro de sodio	g	-	-	29,2
		mg/L	-	-	17500
		%	-	-	2,1
	Cal	g	-	-	48,6
		%	-	-	3,5

Fuente: Elaboración propia de los autores

*Porcentajes presentados con respecto al peso de las muestras de piel de ganado vacuno.

*Las muestras de piel de ganado vacuno fueron previamente pesadas mediante una balanza digital.

* La concentración de sulfuro de sodio hace referencia a la cantidad en mg de sulfuro con respecto a la cantidad de litros de agua para la operación.

Tabla N°9. Cantidades de materia prima y productos químicos utilizados en el segundo ensayo con reúso del agua residual de la operación de pelambre en el escenario 1.

Ensayo Número	3
Número de muestras	2
Peso total de las muestras (g)	2582,1

Operación			Preremajo	Remajo	Pelambre
Agua e Insumos químicos empleados	Agua Requerida	ml	2582,1	2582,1	3099
		%	100	100	120
	Agua para reúso	ml	-	-	800
		%	0	0	31
	Agua adicionada	ml	2582,1	2582,1	2299
		%	100	100	89
	Tensoactivo	g	-	13	-
		%	-	0,5	-
	soda caustica	g	-	5,2	-
		%	-	0,2	-
	sulfuro de sodio requerido 2,1%	g	-	-	54,2
		% del requerido	-	-	100
	Sulfuro de sodio remanente	g	-	-	1,6
		mg/L			2000
		% del requerido	-	-	3
	Sulfuro de sodio adicionado	g	-	-	52,6
		% del requerido	-	-	97
	Cal	g	-	-	-
		%	-	-	-
	pH	un.	-	-	14

Fuente: Elaboración propia de los autores

*Los porcentajes presentados son con respecto al peso de las muestras de piel de ganado vacuno.

* El agua adicionada corresponde a la diferencia entre el agua requerida y el agua residual de pelambre dispuesta para reúso de la operación anterior.

* La cantidad de sulfuro adicionado corresponde a la diferencia entre el sulfuro requerido y remanente.

* No se adicionó cal porque el pH estaba en el valor requerido (14).

Tabla N°10. Cantidades de materia prima y productos químicos utilizados en el tercer ensayo con reúso del agua residual de la operación de pelambre en el escenario 1.

Ensayo Número			3		
Número de muestras			2		
Peso total de las muestras (g)			2426		
Operación			Preremajo	Remajo	Pelambre
Agua e Insumos químicos empleados	Agua Requerida	ml	2426	2426	2911
		%	100	100	120
	Agua para reúso	ml	-	-	1910
		%	0	0	79
	Agua adicionada	ml	2426	2426	1001
		%	100	100	41,3
	Tensoactivo	g	-	12,1	-
		%	-	0,5	-
	soda caustica	g	-	5	-
		%	-	0,2	-

	sulfuro de sodio requerido 2,1%	g	-	-	51
		% del requerido	-	-	100
	Sulfuro de sodio remanente	g	-	-	6,4
		mg/L	-	-	3340
		% del requerido	-	-	13
	Sulfuro de sodio adicionado	g	-	-	45
		% del requerido	-	-	87
	Cal	g	-	-	23
		%	-	-	0,1
	pH	un.	-	-	12

*Los porcentajes presentados son con respecto al peso de las muestras de piel de ganado vacuno.

* El agua adicionada corresponde a la diferencia entre el agua requerida y el agua residual de pelambre dispuesta para reúso de la operación anterior.

* La cantidad de sulfuro adicionado corresponde a la diferencia entre el sulfuro requerido y remanente.

*Se adicionó cal porque el pH no estaba en el valor requerido (14).

Operación de pelambre con tercer reúso del agua residual

Al realizar la cuarta operación de pelambre con reúso del agua residual, no se obtienen los resultados esperados del depilado de la piel, debido a interferencias

por la presencia de materia orgánica y proteínas solubles en el mismo, como se puede apreciar en la siguiente imagen.

Imagen 3. Depilado incompleto escenario 1



5.4. Pelambre convencional con descarte previo a la operación de pelambre

Con diez cortes de piel de ganado vacuno sin descarte (**Ver imagen 4**) se desarrollaron las operaciones de pre-remojo y remojo al finalizar estas se realiza un descarte con el fin de retirar parte de la endodermis de la piel y consecutivamente a esto lograr disminuir la cantidad de agua e insumos químicos utilizados y facilitar la penetración de estos sobre la piel; seguidamente se realiza la operación de pelambre bajo la formulación habitual realizada por una curtiembre del sector de San Benito en Bogotá. Una vez realizado el pelambre se obtuvo la piel en tripa y el agua residual (**ver imagen 5**), la cual fue filtrada con malla tipo Mesh; posteriormente a esto se determinó la concentración de sulfuro de sodio remanente por titulación (**Ver anexo 3**) y se realizó el ajuste de concentraciones para reutilizar el agua residual de pelambre en la misma operación.

Imagen 4. Corte de piel



Imagen 5. Piel en tripa



En la **tabla 11, 12, 13 y 14** se presentan las cantidades de materia prima e insumos químicos utilizados en cada ensayo para el escenario 2.

Tabla N°11. Cantidades de materia prima y productos químicos utilizados en el primer ensayo sin reúso en el escenario 2.

Ensayo Número			1		
Número de muestras			3		
Peso total de las muestras sin descarte (g)			2100		
Peso total de las muestras con descarte (g)			1800		
Operación			Preremojo	Remojo	Pelambre
Agua e Insumos químicos empleados	Agua	ml	2100	2100	2160
		%	100	100	120
	Tensoactivo	g	-	6,3	-
		%	-	0,3	-
		g	-	4,2	-

	soda caustica	%	-	0,2	-
	sulfuro de sodio	g	-	-	38
		mg/L	-	-	17500
		%	-	-	2,1
	Cal	g	-	-	63
		%	-	-	3,5

*Los porcentajes presentados son con respecto al peso de las muestras de piel de ganado vacuno.

*Las muestras de piel de ganado vacuno fueron previamente pesadas mediante una balanza digital.

* La concentración de sulfuro de sodio hace referencia a la cantidad en mg de sulfuro con respecto a la cantidad de litros de agua para la operación.

Tabla N°12. Cantidades de materia prima y productos químicos utilizados en el segundo ensayo con reúso del agua residual de la operación de pelambre en el escenario 2.

Ensayo Número	2
Número de muestras	3
Peso total de las muestras sin descarte (g)	2205
Peso total de las muestras con descarte (g)	1807

Operación			Preremojo	Remojo	Pelambre
Agua e Insumos químicos empleados	Agua Requerida	ml	2205	2205	2169
		%	100	100	120
	Agua para reúso	ml	-	-	761
		%	0	0	42
	Agua adicionada	ml	2205	2205	1408
		%	100	100	78
	Tensoactivo	g	-	11	-
		%	-	0,5	-
	soda caustica	g	-	4,4	-
		%	-	0,2	-
	sulfuro de sodio requerido 2,1%	g	-	-	38
		% del requerido	-	-	100
	Sulfuro de sodio remanente	g	-	-	2,54
		mg/L			3340
		% del requerido	-	-	6,7
	Sulfuro de sodio adicionado	g	-	-	35,41
		% del requerido	-	-	93,3
	Cal	g	-	-	15
		%	-	-	0,83
	pH	un.	-	-	12

*Los porcentajes presentados son con respecto al peso de las muestras de piel de ganado vacuno.

* La concentración de sulfuro de sodio hace referencia a la cantidad en mg de sulfuro con respecto a la cantidad de litros de agua utilizados para la operación.

* Se adicionó cal porque el pH no estaba en el valor requerido (14).

Tabla 13. Cantidades de materia prima y productos químicos utilizados en el tercer ensayo con reúso del agua residual de la operación de pelambre en el escenario 2.

Ensayo Número			3		
Número de muestras			2		
Peso total de las muestras sin descarte (g)			1975		
Peso total de las muestras con descarte (g)			1473		
Operación				Remojo	Pelambre
Agua e Insumos químicos empleados	Agua Requerida	ml	1975	1975	1767
		%	100	100	120
	Agua para reúso	ml	-	-	800
		%	0	0	54
	Agua adicionada	ml	1975	1975	967
		%	100	100	66
	Tensoactivo	g	-	10	-
		%	-	0,5	-
	soda caustica	g	-	4	-
		%	-	0,2	-
	sulfuro de sodio requerido 2,1%	g	-	-	31
		% del requerido	-	-	100
	Sulfuro de sodio remanente	g	-	-	2,7
		mg/L	-	-	3340
		% del requerido	-	-	8,6
	Sulfuro de sodio adicionado	g	-	-	28,3
		% del requerido	-	-	91,4
	Cal	g	-	-	-
		%	-	-	-
	pH	un.	-	-	14

*Los porcentajes presentados son con respecto al peso de las muestras de piel de ganado vacuno.

* La concentración de sulfuro de sodio hace referencia a la cantidad en mg de sulfuro con respecto a la cantidad de litros de agua utilizados para la operación.

*Las muestras de piel de ganado vacuno fueron previamente pesadas mediante una balanza digital.

* No se adicionó cal porque el pH estaba en el valor requerido (14).

Tabla N°14. Cantidades de materia prima y productos químicos utilizados en el cuarto ensayo con reúso del agua residual de la operación de pelambre en el escenario 2.

Ensayo Número			4		
Número de muestras			2		
Peso total de las muestras sin descarte (g)			1590		
Peso total de las muestras con descarte (g)			1293		
Operación			Preremajo	Remajo	Pelambre
Agua e Insumos químicos empleados	Agua Requerida	ml	1590	1590	1552
		%	100	100	120
	Agua para reúso	ml	-	-	758
		%	0	0	59
	Agua adicionada	ml	1590	1590	794
		%	100	100	61
	Tensoactivo	g	-	8	-
		%	-	0,5	-
	soda caustica	g	-	3,2	-
		%	-	0,2	-
		g	-	-	27,2

	sulfuro de sodio requerido 2,1%	%	-	-	100
	Sulfuro de sodio remanente	g	-	-	1,4
		mg/L	-	-	1800
		%	-	-	5
	Sulfuro de sodio adicionado	g	-	-	25,8
		%	-	-	95
	Cal	g	-	-	-
		%	-	-	-
	pH	un.	-	-	12

*Los porcentajes presentados son con respecto al peso de las muestras de piel de ganado vacuno.

* La concentración de sulfuro de sodio hace referencia a la cantidad en mg de sulfuro con respecto a la cantidad de litros de agua utilizados para la operación.

*Las muestras de piel de ganado vacuno fueron previamente pesadas mediante una balanza digital.

*No se adicionó cal porque el pH estaba en el valor requerido 14.

Operación de pelambre con tercer reúso del agua residual

Al realizar la cuarta operación de pelambre con reúso del agua residual en el escenario dos, no se obtienen los resultados esperados del depilado de la piel, a pesar de realizar un descarte previo a la operación para disminuir las posibles interferencias por la presencia de materia orgánica y proteínas solubles en el mismo, como se puede apreciar en la siguiente imagen.

Imagen 6. Depilado incompleto escenario 2



5.5. Resultados características fisicoquímicas

5.5.1. Determinación de sulfuros y pH en el agua residual de la operación de pelambre

La aplicación de la metodología para la determinación de sulfuros y pH se puede encontrar detalladamente en el **anexo 3**.

Tabla N°15. Cantidad de sulfuros y pH en el agua residual de la operación de pelambre en el escenario 1

# proceso de pelambre secuencial	Percepción visual del depilado	Concentración Inicial de Sulfuros (mg/L)	Concentración Final de Sulfuros (mg/L)	pH
1	total	17500	2000	14
2	total	17500	3340	14
3	total	17500	1800	12

Fuente: Elaboración propia de los autores.

La concentración promedio de sulfuros obtenida en el agua residual para reúso es de 2670 mg/L, para el agua final de la última operación se obtuvo una concentración de 1800 mg/L, el valor establecido según la Resolución 3957 de 2009 es 5 mg/L por lo que se deduce que no hay cumplimiento, por lo anterior se debe pasar la muestra por un filtro de arena sílice, con el fin de acogerse a lo establecido por la normatividad.

La concentración inicial de sulfuros para los 3 procesos es la misma ya que se trabajó bajo la misma formulación 2,1 % de sulfuro y 120% de agua con respecto al peso de las pieles; esta hace referencia a la cantidad en mg de sulfuro con respecto a la cantidad de litros de agua utilizados para la operación.

Tabla N° 16. Cantidad de sulfuros y pH en el agua residual de la operación de pelambre en el escenario 2

# proceso de pelambre secuencial	Percepción visual del depilado	Concentración Inicial de Sulfuros (mg/L)	Concentración Final de Sulfuros (mg/L)	pH final
1	total	17500	3340	14
2	total	17500	3340	12
3	total	17500	1800	14
4	bajo	17500	0	12

Fuente: Elaboración propia de los autores.

La concentración promedio de sulfuros obtenida en el agua residual para reúso es de 3340 mg/L, para el agua final de la última operación se obtuvo una concentración

de 1800 mg/L, el valor establecido según la Resolución 3957 de 2009 es 5 mg/L por lo que se deduce que no hay cumplimiento, por lo anterior se debe pasar la muestra por un filtro de arena sílice, con el fin de acogerse a lo establecido por la normatividad.

La concentración inicial de sulfuros para los 3 procesos es la misma ya que se trabajó bajo la misma formulación 2,1 % de sulfuro y 120% de agua con respecto al peso de las pieles; esta hace referencia a la cantidad en mg de sulfuro con respecto a la cantidad de litros de agua utilizados para la operación.

5.5.2. Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO) en el agua residual de la operación de pelambre

Para la determinación de la DQO en el agua residual de la operación de pelambre, en primer lugar se tomaron muestras del agua obtenida en cada operación seguidamente a esto se aplicó el método del reflujo cerrado (**ver anexo 4**) y posteriormente se realizó su lectura mediante el Espectrofotómetro SMART SPECTRO, el cual fue previamente calibrado (**Ver anexo 2**). A continuación se presentan los resultados obtenidos.

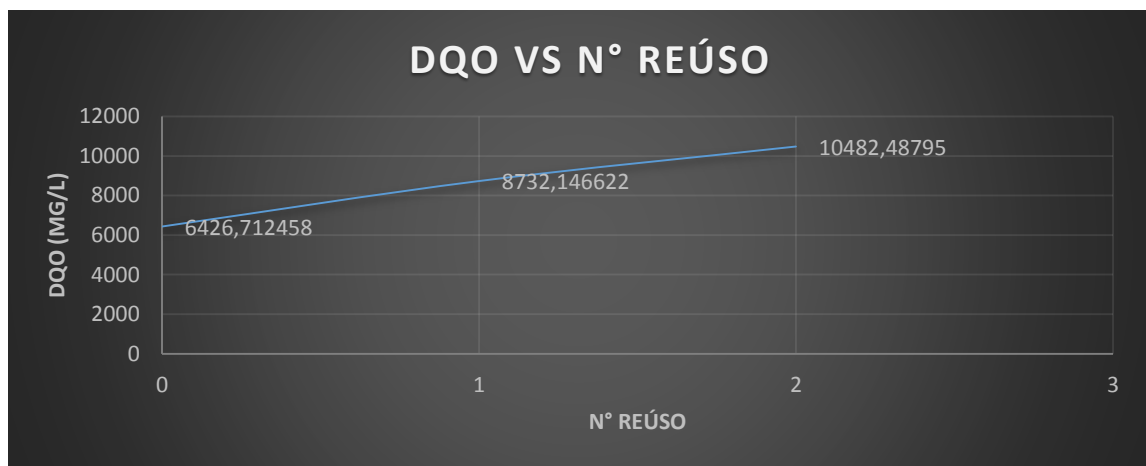
Tabla N°17. Resultados obtenidos de DQO en el agua residual de la operación de pelambre en el escenario 1

Escenario	Reúso		Replica	reúso N°	Dilución	Transmitancia	Absorbancia	DQO (mg/L)	Promedio DQO (mg/L)
	Si	No							
1		x		-	10	4,10%	1,39	6452,4	6426,7
1		x	Si	-	10	4,20%	1,38	6401,0	
1	x			1	10	2,30%	1,6455	7765,62	8732,15
1	x		Si	1	10	1%	2,0216	9698,7	
1	x			2	10	0,50%	2,3887	11585,5	10482,5
1	x		si	2	10	1,20%	1,9595	9379,5	

Fuente: Elaboración propia de los autores.

*La DQO (mg /L) se determinó a partir de la interpolación lineal entre el valor de la absorbancia y los valores de DQO y Absorbancia obtenidos para la curva de calibración del espectrofotómetro (**ver anexo 2**), multiplicando la DQO obtenida por el factor de dilución.

Gráfico N°6. DQO vs número de reúsos escenario 1



Fuente: Elaboración propia de los autores.

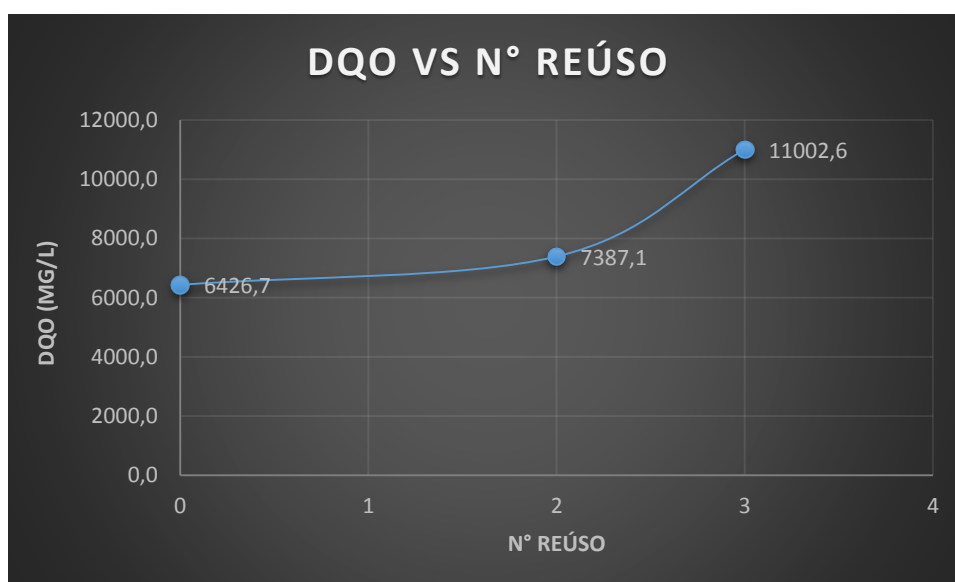
Con base a la información contenida en la tabla y la gráfica 6 respectiva de la concentración de DQO, se evidencia un crecimiento significativo de la misma. Esto se debe al efecto destructor del sulfuro de sodio contenido en el agua, el cual sigue actuando sobre los sólidos suspendidos (pelo y tejido adiposo), presentes en el efluente que no lograron ser retenidos por el filtro tipo Mesh 200.

TablaN°18. Resultados obtenidos de DQO en el agua residual de la operación pelambre de pelambre en el escenario 2

Escenario	Reúso		Replica	Reúso N°	Dilución	Transmitancia	Absorbancia	DQO (mg/L)	Promedio DQO (mg/L)
	Si	No							
2		x		-	10	4,10%	1,39	6452,4	6426,7
2		x	si	-	10	4,20%	1,38	6401,0	

2	X			1	-	-	-	-	-
2	x			1	-	-	-	-	-
2	x			2	10	2,40%	1,6356	7714,7	7387,1
2	x		si	2	10	3,20%	1,5081	7059,4	
2	x			3	10	0,70%	2,228	10759,5	11002,6
2	x		si	3	10	0,50%	2,3226	11245,7	

Grafico 7. DQO vs número de reúsos escenario 2



Fuente: Elaboración propia de los autores.

Con base a la información contenida en la tabla y la gráfica respectiva de la concentración de DQO, se evidencia un crecimiento significativo de la misma. Esto se debe al efecto destructor del sulfuro de sodio contenido en el agua, el cual sigue actuando sobre los sólidos suspendidos (pelo y tejido adiposo), presentes en el efluente que no lograron ser retenidos por el filtro tipo Mesh 200. Partiendo de la variación en la operación, se sigue observando un crecimiento lento de la DQO.

5.5.3. Determinación de DBO₅ en el agua residual de la operación de pelambre

El análisis de DBO₅ se realizó al agua residual obtenida en el primer y último ensayo de pelambre aplicando el standard method 5210 B (**ver anexo 5**), a continuación se presentan los resultados obtenidos.

Tabla N°19. Resultados obtenidos de DBO₅ en el agua residual de pelambre para cada una de los procesos del segundo escenario.

Reúso		Reúso N°	OD INICIAL (mg/L)	OD FINAL (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)
Si	No				
	x	-	1,3	0,2	330
X		1	1,6	0,3	390
X		2	2	0	600
X		3	2,3	0	690

Fuente: Elaboración propia de los autores.

Ecuación 8.Relación DBO/DQO agua residual pelambre sin reúso

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

$$= \frac{6427}{330}$$

$$= 21,4$$

Ecuación 9.Relación DBO/DQO agua residual pelambre ultimo reúso

$$\begin{aligned}
&= \frac{DQO}{DBO} \\
&= \frac{11003}{690} \\
&= 16
\end{aligned}$$

Sobre los resultados anteriormente presentados mediante la tabla N°19 y las ecuaciones 8 y 9 es posible identificar que por cada unidad de materia orgánica del agua residual sin reúso y del último reúso solamente es biodegradable el 21,4 y 16 respectivamente, además se puede apreciar el crecimiento de la DBO₅ con respecto al número de reúsos por la acumulación de materia orgánica en el efluente.

5.5.4. Determinación de sólidos totales en el agua residual de la operación de pelambre

Tabla N°20. Resultados de sólidos totales en el agua residual de la operación de pelambre.

Escenario	Reúso		Reúso N°	Sólidos totales (mg/L)
	Si	No		
1		x	-	30531
1	X		1	37598
1	X		2	68170

Fuente: Elaboración propia de los autores.

De acuerdo a los resultados presentados en la tabla N°20 se puede identificar el aumento en la concentración de sólidos totales presentes en el agua de pelambre a medida que incrementa el número de reúsos, esto se debe al incremento de materia orgánica en el efluente.

5.5.5. Determinación de conductividad en el agua residual de la operación de pelambre

Tabla N°21. Resultados conductividad en el agua residual de la operación de pelambre.

Escenario	Reúso		Reúso N°	Conductividad mS/cm
	Si	No		
1		x	-	-
1	x		1	27,4
1	x		2	53,5
2		x	-	61,2
2	x		1	-
2	x		2	-
2	x		3	58,4

Fuente: Elaboración propia de los autores.

5.6. Impacto social, humanístico y ambiental del proyecto

Siendo Colombia un país con aportes del 8,5% por parte del sector agropecuario, en el PIB nacional, la generación de cuero bovino como residuos sólido a causa de esta actividad es bastante elevada, por lo que se hace necesario implementar medidas que ayuden a mitigar y controlar los impactos negativos por esta actividad en el aprovechamiento de las pieles, como materia prima para otras industrias. La industria del curtido ha sido catalogada como una de las que más carga contaminante genera a los cuerpos de agua y sistema de alcantarillado público, por esta razón los beneficios ambientales y sociales de la aplicación de técnicas de producción más limpia, son bastante elevados.

Con el paso de los años las curtiembres en San Benito, han venido vertiendo sus aguas al sistema de drenaje público de la ciudad, 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, las cuales con pH superior a 12 y presencia de sulfuros, producen sulfuro de hidrogeno, el cual es altamente toxico y nocivo para la vida acuática, al combinarse con los efluentes ácidos provenientes de otras operaciones. Lo que ha provocado el cierre y la clausura de muchas empresas, dejando un gran número de personas desempleadas directa e indirectamente.

Por eso LA REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA OPERACIÓN DE PELAMBRE, disminuye los elevados consumos de agua e insumos para esta etapa, además de la reducción de presencia de sulfuros en el agua por la retención de los mismos por la piel tratada y la disminución en la DQO y DBO₅, debido a la remoción previa del tejido adiposo y carnaza, cumpliendo con las normas ambientales en cuanto a vertimientos, ayudando así a la industria del cuero y a las personas y demás gremios que dependen de ella a su desarrollo económico. Sin dejar de lado los beneficios indirectos por el NO taponamiento del sistema de drenaje y la producción de malos olores producidos a la comunidad del barrio.

6. Planificación del proyecto

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 m. y de 2:00 p.m. a 4:00 p.m. En la siguiente tabla se presenta el cronograma del proyecto generado.

Tabla N°22. Programación de actividades

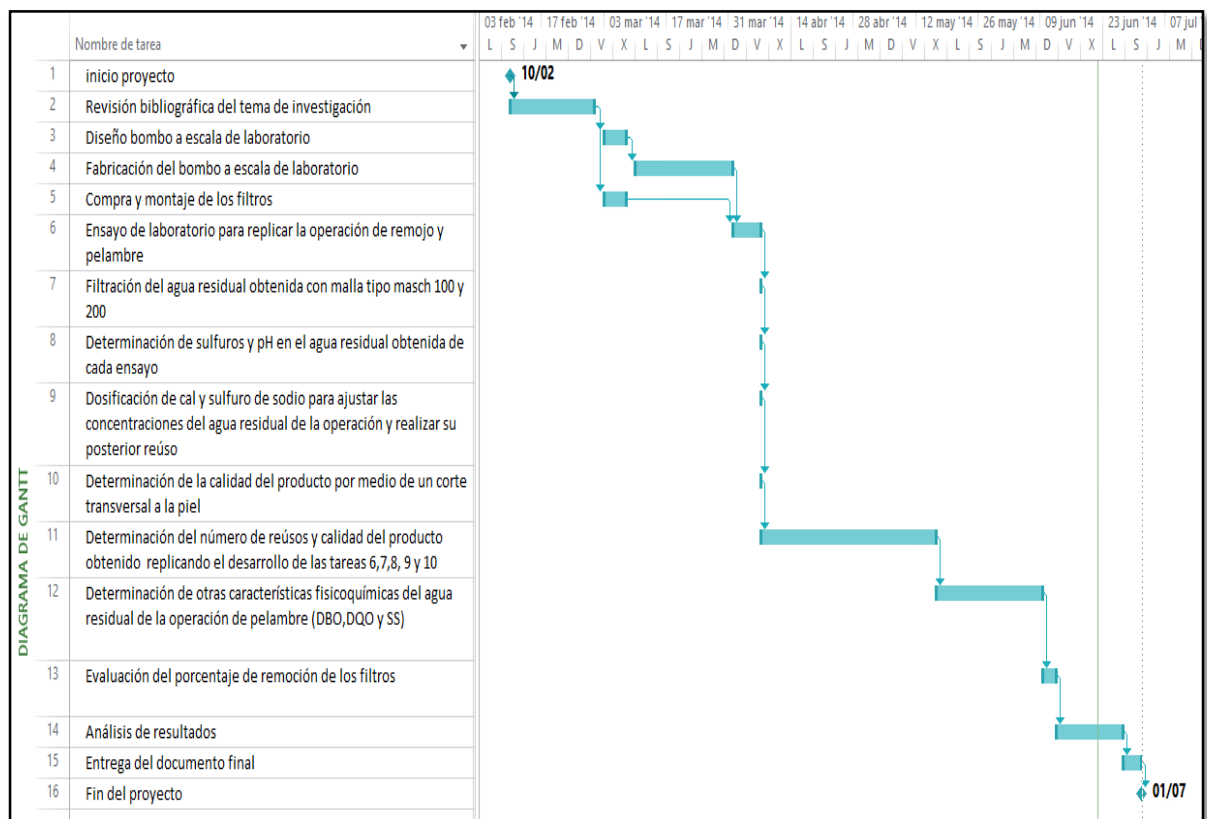
N°	Nombre de actividad	Duración Semanas	Comienzo	Fin	Predecesoras
1	Inicio proyecto	0	lun 10/02/14	lun 10/02/14	
2	Revisión bibliográfica del tema de investigación	3	lun 10/02/14	vie 28/02/14	1
3	Diseño bombo a escala de laboratorio	1	lun 03/03/14	vie 07/03/14	2
4	Fabricación del bombo a escala de laboratorio	3	lun 10/03/14	lun 31/03/14	3
5	Compra y montaje de los filtros	1	lun 03/03/14	vie 07/03/14	2
6	Ensayo de laboratorio para replicar la operación de remojo y pelambre	0,85	mar 01/04/14	lun 07/04/14	4,5
7	Filtración del agua residual obtenida con malla tipo mesh 100 y 200	0,0075	lun 07/04/14	lun 07/04/14	6
8	Determinación de sulfuros y pH en el agua residual obtenida en cada ensayo	0,0075.	lun 07/04/14	lun 07/04/14	7
9	Dosificación de cal y sulfuro de sodio para ajustar las concentraciones del agua	0,0125	lun 07/04/14	lun 07/04/14	8

	residual de la operación y realizar su posterior reúso				
10	Determinación de la calidad del producto por medio de un corte transversal a la piel	0,0075	lun 07/04/14	lun 07/04/14	9
11	Determinación del número de reúsos y calidad del producto obtenido replicando el desarrollo de las tareas 6,7,8, 9 y 10	5,31	lun 07/04/14	vie 16/05/14	10
12	Determinación de otras características fisicoquímicas del agua residual de la operación de pelambre (DBO,DQO y SS)	3.	vie 16/05/14	lun 09/06/14	11
13	Evaluación del porcentaje de remoción de los filtros	0,6.	lun 09/06/14	jue 12/06/14	12
14	Análisis de resultados	2.	jue 12/06/14	vie 27/06/14	13
15	Entrega del documento final	0,2.	vie 27/06/14	mar 01/07/14	14
16	Fin del proyecto	0	mar 01/07/14	mar 01/07/14	15

Fuente: Elaboración propia de los autores.

El proyecto presentó como fecha de inicio el 10 de febrero de 2014 y fecha de finalización el 01 de julio de 2014. Las actividades mencionadas fueron descritas en el desarrollo de los capítulos anteriores. La secuencia de las actividades planteadas se presenta por medio del siguiente diagrama de Gantt.

Tabla N°23. Cronograma de actividades – Diagrama de Gantt.



Fuente: Elaboración propia de los autores.

Ruta crítica y holgura del proyecto de reutilización del agua residual de la operación de pelambre en el proceso productivo del cuero

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 la actividad número cinco la compra y montaje de los filtros que tiene una demora permisible de tres semanas.

Tabla N°24. Ruta crítica y Holgura del proyecto de reutilización del agua residual de la operación de pelambre en el proceso productivo del cuero

	Nombre de tarea	Comienzo	Fin	Límite de comienzo	Límite de finalización	Demora permisible	Margen de demora total
1	inicio proyecto	lun 10/02/14	lun 10/02/14	lun 10/02/14	lun 10/02/14	0 sem.	0 sem.
2	Revisión bibliográfica del tema de investigar	lun 10/02/14	vie 28/02/14	lun 10/02/14	lun 03/03/14	0 sem.	0 sem.
3	Diseño bombo a escala de laboratorio	lun 03/03/14	vie 07/03/14	lun 03/03/14	lun 10/03/14	0 sem.	0 sem.
4	Fabricación del bombo a escala de laboratorio	lun 10/03/14	lun 31/03/14	lun 10/03/14	mar 01/04/14	0 sem.	0 sem.
5	Compra y montaje de los filtros	lun 03/03/14	vie 07/03/14	mar 25/03/14	mar 01/04/14	3 sem.	3 sem.
6	Ensayo de laboratorio para replicar la operación de remojo y pelambre	mar 01/04/14	lun 07/04/14	mar 01/04/14	lun 07/04/14	0 horas	0 horas
7	Filtración del agua residual obtenida con malla tipo masch 100 y 200	lun 07/04/14	lun 07/04/14	lun 07/04/14	lun 07/04/14	0 horas	0 horas
8	Determinación de sulfuros y pH en el agua residual obtenida de cada ensayo	lun 07/04/14	lun 07/04/14	lun 07/04/14	lun 07/04/14	0 horas	0 horas
9	Dosificación de cal y sulfuro de sodio para ajustar las concentraciones del agua residual de la operación y realizar su	lun 07/04/14	lun 07/04/14	lun 07/04/14	lun 07/04/14	0 horas	0 horas
10	Determinación de la calidad del producto por medio de un corte transversal a la piel	lun 07/04/14	lun 07/04/14	lun 07/04/14	lun 07/04/14	0 horas	0 horas
11	Determinación del número de reúsos y calidad del producto obtenido replicando	lun 07/04/14	vie 16/05/14	lun 07/04/14	vie 16/05/14	0 sem.	0 sem.
12	Determinación de otras características fisicoquímicas del agua residual de la operación de pelambre (DBO,DQO y SS)	vie 16/05/14	lun 09/06/14	vie 16/05/14	lun 09/06/14	0 sem.	0 sem.
13	Evaluación del porcentaje de remoción de los filtros	lun 09/06/14	jue 12/06/14	lun 09/06/14	jue 12/06/14	0 sem.	0 sem.
14	Análisis de resultados	jue 12/06/14	vie 27/06/14	jue 12/06/14	vie 27/06/14	0 sem.	0 sem.
15	Entrega del documento final	vie 27/06/14	mar 01/07/14	vie 27/06/14	mar 01/07/14	0 sem.	0 sem.
16	Fin del proyecto	mar 01/07/14	mar 01/07/14	mar 01/07/14	mar 01/07/14	0 sem.	0 sem.

DIAGRAMA DE GANTT

Fuente: Elaboración propia de los autores.

7. Evaluación económica

Para el desarrollo de la evaluación económica del proyecto de reutilización del agua residual de la operación de pelambre esta se basó en los porcentajes de ahorro en insumos del escenario 2 e información de costos

de insumos y el nivel de producción de pieles al mes de una curtiembre del sector de san Benito. Los indicadores económicos considerados fueron el valor presente neto de la inversión (VPN) y la tasa de costo de oportunidad.

Tabla N°25. Peso total de un lote de 3000 pieles de ganado vacuno.

Numero de pieles procesadas/mes	3000
Peso promedio de una piel (Kg)	20
Peso Total pieles	60000

Fuente: Elaboración propia de los autores.

Tabla N°26. Costos en insumos para una producción de 3000 pieles mensuales sin reutilización del agua residual de pelambre.

Costos insumos actuales					
Insumo	%	CANTIDAD MENSUAL	UNIDADES	PRECIO UNITARIO (\$)	PRECIO TOTAL (\$)
Agua	120%	72000	L	3,46551	249516,72
Sulfuro de sodio	2,10%	1260	Kg	2194	2764440
Cal Hidratada	3,50%	2100	Kg	482	1012200
				Total	4026156,72

Fuente: Elaboración propia de los autores.

*Los porcentajes presentados son con respecto al peso de las muestras de piel de ganado vacuno.

Tabla N°27. Porcentaje de ahorro en insumos con reutilización del agua residual de pelambre bajo condiciones experimentales del escenario 2.

insumo	%	cantidad requerida	unidades	Cantidad utilizada	Ahorro	% Ahorro
Agua	120	6,095796	L	4,134796	1,961	32,17
sulfuro de sodio	2,1	0,106676	Kg	0,101463	0,005214	4,8874339
Cal	3,5	0,177794	Kg	0,078000	0,099794	56,1290156

Fuente: Elaboración propia de los autores.

*El peso total de las muestras para los 3 pelambres es de 5,080 Kg

Tabla N°28. Costos en insumos para una producción de 3000 pieles mensuales con reutilización del agua residual de pelambre.

Costos insumos con reúso							
Insumo	%	% ahorro	CANTIDAD MENSUAL	UNIDADES	PRECIO UNITARIO (\$)	PRECIO TOTAL (\$)	Ahorro
Agua	120%	32,17%	52698	L	3,46551	182625,446	\$ 66.891
Sulfuro de sodio	95,12%	4,88%	1198,512	Kg	3100	3715387,2	\$ 190.613
Cal Hidratada	3,50%	56,13%	921,27	Kg	950	875206,5	\$ 1.119.794
Total						\$	1.377.298

Fuente: Elaboración propia de los autores.

Tabla N°29. Costos de inversión materiales y equipos.

Materiales y equipos	Precio unitario (\$)
filtro de malla y estructura	\$ 250.000
tanque polietileno 4000 l	\$ 1.484.800
motobomba	\$ 450.000
Total	\$ 2.184.800

Fuente: Elaboración propia de los autores.

Tabla N°30. Flujo de caja reutilización del agua residual de pelambre.

	MESES												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ahorros en insumos y agua		\$ 1.377.297	\$ 1.377.297	\$ 1.377.297	\$ 1.377.297	\$ 1.377.297	\$ 1.377.297	\$ 1.377.297	\$ 1.377.297	\$ 1.377.297	\$ 1.377.297	\$ 1.377.297	\$ 1.377.297
Utilidad operacional		\$ 1.377.297	\$ 1.377.297	\$ 1.377.297	\$ 1.377.297	\$ 1.377.297	\$ 1.377.297	\$ 1.377.297	\$ 1.377.297	\$ 1.377.297	\$ 1.377.297	\$ 1.377.297	\$ 1.377.297
Depreciación equipos		(\$37.500,00)	(\$37.500,00)	(\$37.500,00)	(\$37.500,00)	(\$37.500,00)	(\$37.500,00)	(\$37.500,00)	(\$37.500,00)	(\$37.500,00)	(\$37.500,00)	(\$37.500,00)	(\$37.500,00)
Utilidad Neta		\$ 1.339.797	\$ 1.339.797	\$ 1.339.797	\$ 1.339.797	\$ 1.339.797	\$ 1.339.797	\$ 1.339.797	\$ 1.339.797	\$ 1.339.797	\$ 1.339.797	\$ 1.339.797	\$ 1.339.797
Depreciación equipos		\$37.500	\$37.500	\$37.500	\$37.500	\$37.500	\$37.500	\$37.500	\$37.500	\$37.500	\$37.500	\$37.500	\$37.500
Inversión	(\$ 2.184.800)												
Flujo de caja	(\$ 2.184.800)	\$ 1.377.297	\$ 1.377.297	\$ 1.377.297	\$ 1.377.297	\$ 1.377.297	\$ 1.377.297	\$ 1.377.297	\$ 1.377.297	\$ 1.377.297	\$ 1.377.297	\$ 1.377.297	\$ 1.377.297

VP (Tasa de costo de oportunidad 15%)	(\$ 2.184.800)	\$ 1.197.650	\$ 1.041.434	\$ 905.595	\$ 787.474	\$ 684.760	\$ 595.443	\$ 517.777	\$ 450.241	\$ 391.513	\$ 340.446	\$ 296.040	\$ 257.426
VPN	\$ 5.281.005												
Relación Beneficio/Costo	3,42												

Fuente: Elaboración propia de los autores.

8. CONCLUSIONES

- Se encontró que es posible reutilizar los baños residuales del proceso de pelambre, hasta dos reúsos con o sin descarte previo a la operación de pelambre.
- Con la implementación de la reutilización de las aguas residuales de la operación de pelambre se presentan ahorros de agua, sulfuro de sodio y cal de: 32,2%, 5% y 56,1% respectivamente.
- Se obtienen mejores resultados realizando el descarte previo a la operación de pelambre, lo cual se refleja en los resultados de DQO de 7387 y 10483 correspondientes a los escenarios 1 y 2 respectivamente.
- Se encontró que el porcentaje de remoción obtenido con el filtro tipo Mesh 100 es de 23%, comparándolo con el filtro tipo Mesh 200 se obtienen mejores resultados de remoción ya que este último retiene el 71% de los sólidos suspendidos.
- El agua, a pesar de tener elevados niveles de materia orgánica, no es biodegradable en 5 días, debido a la baja proporción DQO/DBO, que para el segundo reuso del segundo escenario fue de $11003/690 = 16$, lo cual indica que por cada unidad de materia orgánica, solamente el 16 es biodegradable.
- La relación costo beneficio de este proyecto es mayor que 1 por lo tanto se evidencia, su factibilidad y rendimiento económico.

9. RECOMENDACIONES

- Se recomienda fomentar el reúso de aguas residuales, integrándolas a los procesos por medio del aprovechamiento de materias primas remanentes, operando de manera controlada, para obtener resultados con la calidad requerida.
- Tratar el agua después del tercer reúso, para verterla bajo normas ambientales, de acuerdo a lo establecido en la resolución 3956 de 2009, por medio de arena sílice que reduce hasta cero el contenido de iones sulfuro.
- Se recomienda mantener el pH del agua residual por encima de 14, para obtener mejores resultados en el depilado de la piel.
- Para realizar la filtración del agua residual de pelambre 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.

10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] SENA, «Gestion Ambiental en la industria de la curtiembre,» Febrero 2004. [En línea]. Available: <http://www.tecnologiaslimpias.org/curtiembres/diagnosticonacional.pdf>.
- [2] Secretaria Distrital de Ambiente, «Parque Industrial Ecoeficiente de San Benito,» Bogota, 2007.
- [3] A. Garzón, «Sistema integrado de cuentas ambientales para el sector curtiembre de san benito,» 2007. [En línea]. Available: <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/41110.pdf>.
- [4] Cuernet, «Division Superficie de la Piel,» [En línea]. Available: http://www.cuernet.com/tecnica/div_superficie.htm. [Último acceso: 20 Junio 2014].
- [5] Cuernet, «Distintos tipos de cueros y pieles,» [En línea]. Available: <http://www.cuernet.com/tecnica/tipospieles.htm>. [Último acceso: 20 Junio 2014].
- [6] Cuernet, «La piel,» [En línea]. Available: <http://www.cuernet.com/tecnica/lapiel.htm>. [Último acceso: 20 Junio 2014].
- [7] Comision nacional del medio ambiente, «Guia para el control y prevencion de la contaminacion industrial,» Abril 1999. [En línea]. [Último acceso: Febreo 2014].
- [8] Centro nacional de produccion mas limpia, «Manual Ambiental Sectorial,» Febrero 2004. [En línea]. [Último acceso: Febrero 2014].
- [9] B. E. Morera Josep, «Estudio de un pelambre reductor-oxidante,» 27 Junio 2011. [En línea]. Available: [http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/14037/1/proyecto%20final%20de%20carrera%20corregidoa\[1\].pdf](http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/14037/1/proyecto%20final%20de%20carrera%20corregidoa[1].pdf). [Último acceso: 30 Junio 2014].
- [1] Centro panamericano de Ingenieria sanitaria y ciencias del ambiente, «Guia Tecnica para la minimizacion de residuos en curtiembres,» 1993. [En línea]. Available: <http://www.bvsde.paho.org/cdrom-repi86/fulltexts/bvsacd/scan/005343.pdf>.
- [1] Quimipiel S.A., Manual Técnico para la industria del curtido, Bogotá, 1995.

- [1 INTERMEC S.A, La transmisión de potencia por cadena de rodillos, Bogotá, 2013.
2]

ANEXOS

Anexo 1. Tabla de los valores de K según sea la cantidad D

TABLAS DE LOS VALORES DE K SEGUN SEA LA CANTIDAD D

D	K	D	K	D	K	D	K	D	K	D	K
1	.03	32	25.94	63	100.54	94	223.82	125	396.79	156	616.44
2	.10	33	27.58	64	103.75	95	228.61	126	402.14	157	624.37
3	.23	34	29.28	65	107.02	96	233.44	127	408.55	158	632.35
4	.41	35	31.03	66	110.34	97	238.33	128	415.01	159	640.38
5	.63	36	32.83	67	113.71	98	243.27	129	421.52	160	648.46
6	.91	37	34.68	68	117.13	99	248.26	130	428.08	161	656.59
7	1.24	38	36.58	69	120.60	100	253.30	131	434.69	162	664.77
8	1.62	39	38.53	70	124.12	101	258.39	132	441.36	163	673.00
9	2.05	40	40.53	71	127.69	102	263.54	133	448.07	164	681.28
10	2.53	41	42.58	72	131.31	103	268.73	134	454.83	165	689.62
11	3.06	42	44.68	73	134.99	104	273.97	135	461.64	166	698.00
12	3.65	43	46.84	74	138.71	105	279.27	136	468.51	167	706.44
13	4.28	44	49.04	75	142.48	106	284.67	137	475.42	168	714.92
14	4.96	45	51.29	76	146.31	107	290.01	138	482.39	169	723.46
15	5.70	46	53.60	77	150.18	108	295.45	139	489.41	170	732.05
16	6.48	47	55.95	78	154.11	109	300.95	140	496.47	171	740.60
17	7.32	48	58.36	79	158.09	110	306.50	141	503.59	172	749.37
18	8.21	49	60.82	80	162.11	111	312.09	142	510.76	173	758.11
19	9.14	50	63.33	81	166.19	112	317.74	143	517.98	174	766.90
20	10.13	51	65.88	82	170.32	113	323.44	144	525.25	175	775.74
21	11.17	52	68.49	83	174.50	114	329.19	145	532.57	176	784.63
22	12.26	53	71.15	84	178.73	115	334.99	146	539.94	177	793.57
23	13.40	54	73.86	85	183.01	116	340.84	147	547.36	178	802.57
24	14.59	55	76.62	86	187.34	117	346.75	148	554.83	179	811.61
25	15.83	56	79.44	87	191.73	118	352.70	149	562.36	180	820.70
26	17.12	57	82.30	88	196.16	119	358.70	150	569.93	181	829.85
27	18.47	58	85.21	89	200.64	120	364.76	151	577.56	182	839.04
28	19.86	59	88.17	90	205.18	121	370.86	152	585.23	183	848.29
29	21.30	60	91.19	91	209.76	122	377.02	153	592.96	184	857.58
30	22.80	61	94.25	92	214.40	123	383.22	154	600.73	185	866.93
31	24.34	62	97.37	93	219.08	124	389.48	155	608.56		

ANEXO 2. CURVA DE CALIBRACIÓN DQO

En la elaboración de la curva de calibración de demanda química de oxígeno (DQO) se tomó en cuenta el parámetro de linealidad y las lecturas de DQO se realizaron por medio del equipo SMART SPECTRO (**ver figura 1**), el procedimiento empleado se describe a continuación:

- Medir el volumen de la muestra 2.5 ml
- Adicionar la solución digestora $K_2Cr_2O_7$ 1.5 ml
- Adicionar la solución catalizadora H_2SO_4 3,5 ml
- Se calienta el reactor previamente a una temperatura de 150 °C antes de introducir las muestras.
- Una vez el reactor llega a la temperatura correspondiente se colocan las muestras en este por dos horas.
- Pasadas las dos horas se dejan enfriar las muestras y se realiza la lectura en el espectrofotómetro a 600 nm y se lee la absorbancia seguidamente a esto se determina la concentración de DQO de la muestra con la curva de calibración.

Ilustración 1. Espectrofotómetro SMART SPECTRO



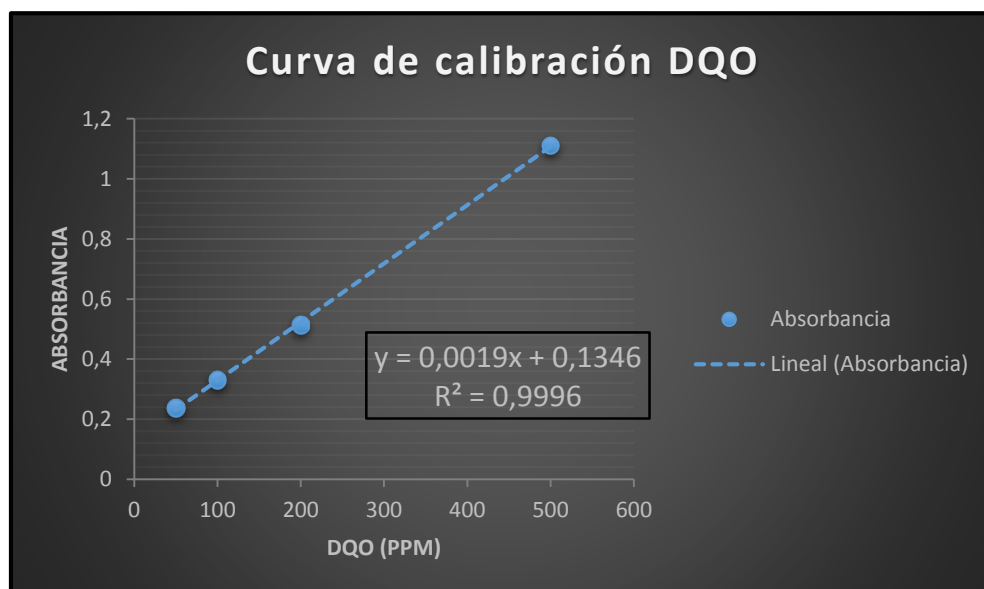
Linealidad

Tabla 1. Concentración y Absorbancia para cada blanco preparado para la curva de calibración.

Blanco	Concentración (mg/L)	Absorbancia
B	500	1,1108
C	200	0,5129
D	100	0,3312
E	50	0,2373

Fuente: Elaboración propia de los autores.

Grafico 1. Curva de calibración DQO



Fuente: Elaboración propia de los autores.

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

ANEXO 3.SM4500E: Método yodométrico (sulfuros) [13]:

Principio

A una muestra de solución de pelambre se añade una solución acuosa de yodo (I_2) disuelto en presencia de yoduro de potasio (KI; este permite que el yodo sea soluble en agua). El yodo, que reacciona con el sulfuro (S^{2-}), se añade en cantidad conocida y en exceso. El exceso de yodo se determina mediante su reacción con tiosulfato de sodio ($Na_2S_2O_3$), utilizando almidón como indicador (si la solución se torna azul, indica la presencia de yodo en exceso; y, si es incolora, indica ausencia de yodo). La cantidad de sulfuro presente en la solución de pelambre se calcula en base a la diferencia entre el total de yodo añadido y el exceso de yodo, este determinado por titulación con tiosulfato de sodio. Las reacciones químicas son las siguientes:

- $I_2 + KI \longrightarrow I_3K$ (el yodo con yoduro de potasio forma triyoduro de potasio)
- $I_3K + Na_2S \longrightarrow S + 2I Na + KI$ (reacción del yodo con sulfuro)
- $I_3K \text{ (exceso)} + 2Na_2S_2O_3 \longrightarrow Na_2S_4O_6 + KI + 2I Na$ (reacción del exceso de yodo con tiosulfato de sodio)

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 (K).
- Yodo (I_2)
- Tiosulfato de sodio ($Na_2S_2O_3$).

Preparar soluciones de:

-Yoduro de potasio (KI)/Yodo (I_2), 0.025N: Disolver, en 500 ml de agua, un poco más de 2.075g de yoduro de potasio (peso equivalente $166g \times 0.025/2$) y 1.588 g de yodo (peso equivalente $127g \times 0.025/2$). El pequeño exceso de yoduro de potasio se añade para asegurar que el yodo sea soluble en su seguridad [10].

- Tiosulfato de sodio ($Na_2S_2O_3$), 0.025 N: Disolver, en 500 ml de agua, 1.975g de tiosulfato de sodio (peso equivalente $158g \times 0.025/2$) [10].

- Almidón en agua (como indicador): Disolver unos gramos de almidón en agua caliente hasta saturar la solución. Filtrar la solución en caliente usando papel filtro. Luego de enfriarse, utilizar la solución filtrada [10].

Procedimiento:

- Tomar una muestra de 10 mL de la descarga del baño de pelambre, previamente filtrada, y diluir a 100 mL con agua destilada (dilución de 1:10 o mas según se necesite para entrar en el rango de detección del método) [10].

- Tomar 10 mL de la solución de yodo/yoduro en un frasco Erlenmeyer de 250 mL. Añadir 2 mL de HCL 6 N y un par de gotas de solución de almidón como indicador (color azul en presencia de yodo) [10].

- Mediante una pipeta, y con constante agitación, añadir 10mL de la muestra diluida (1:10) a la solución de yodo/yoduro (introducir la pipeta conteniendo la muestra de sulfuro por debajo de la superficie de la solución de yodo). Si desapareciera el color azul del yodo, añadir más solución de yodo/yoduro hasta que permanezca el color azul (indica que el yodo/yoduro está en exceso), midiendo, exactamente, el volumen total de la solución de yodo/yoduro (V_1) añadido [10].

- Titular la solución que contiene el exceso de yodo/yoduro, con un volumen de la solución de tiosulfato (V_2), hasta que se desaparezca el color azul (punto

equivalente), si el color fuera ligeramente amarillo agregar más gotas de la solución de almidón [10].

Calcular la concentración de sulfuro en la descarga del baño del pelambre con la fórmula [10]:

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

V₁= volumen de solución del yodo/yoduro (ml).

C₁= Normalidad de la solución yodo/yoduro (según la receta, C=0.025)

V₂= Volumen de la solución de tiosulfato de sodio (Na₂S₂O₃), (según la receta, C=0.025)

C₂= 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)

V_m= Volumen de la muestra (ml) (según la receta, 10 mL de la descarga del baño de pelambre)

ANEXO 4. SM 5210B: Prueba ROB-5 días (Demanda Biológica de Oxígeno):

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 disodico.

Procedimiento:

- a). Preparación de agua para dilución.
- b). Control del agua de dilución.
- c). Control de glucosa (ácido glutámico).
- d). Siembra.
- e). Pre tratamiento de la muestra.
- f). Técnica de dilución.
- g). Determinación del OD inicial.
- h). Blanco del agua de dilución.
- i). Incubación.
- j). Determinación del OD final.

Calculo:

Cuando el agua de dilución no está sembrada

$$ROB_5 \text{ mg/l} = D_1 - D_2/p$$

Cuando el agua de dilución está sembrada:

$$ROB_5 \text{ mg/l} = (D_1 - D_2) - (B_1 - B_2) * f / p$$

Donde:

D₁= OD de la muestra diluida inmediatamente después de su preparación, mg/l.

D₂= OD de la muestra diluida después de 5 días de la incubación a 20°C, mg/l

P= fracción volumétrica decimal de la muestra utilizada.

B₁= OD del control de simiente antes de la incubación, mg/l

B₂= OD del control de simiente des en la muestra diluida con respecto a la de control de simiente= (% de simiente en la muestra diluida)/((% simiente en el control de simiente).pues de la incubación, mg/l

ANEXO 5. SM. 2540: SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN SECADOS A 103-105°C. [13]

2540 B. Sólidos totales secados a 103-105 °C

1. Discusión general

a) Principio: Se evapora una muestra correctamente mezclada en una placa pesada y secada a peso constante en un horno a 103-105 °C. El aumento de peso sobre el de la placa vacía representa los sólidos totales. Es posible que en muestras de aguas residuales los resultados no representen el peso real de los sólidos disueltos y suspendidos (véase parte anterior).

b) Interferencias: El agua fuertemente mineralizada con una concentración significativa de calcio, magnesio, cloruro y/o sulfato puede ser higroscópica y requerir un secado prolongado, una desecación adecuada y un pesado rápido. Elimínense las partículas gruesas flotables o los aglomerados sumergidos de materiales no homogéneos si se decide que su inclusión no es deseable en el resultado final. Dispérsese con un mezclador la grasa y el aceite flotantes antes de separar una porción de muestra para análisis. Puesto que un residuo excesivo en la placa puede formar una costra hidrófila, límitese el tamaño de la muestra

para que proporcione un residuo no mayor de 200 miligramos.

2. Instrumental

a) Placas de evaporación: Placas de 100 ml de capacidad, fabricadas con uno de los materiales siguientes:

- 1) Porcelana, 90 mm diámetro.
- 2) Platino, generalmente satisfactorio para tales fines.
- 3) Vaso alto de sílice*.

b) Horno de mufla para operar a 550 ± 50 °C.

c) Baño de vapor.

d) Desecador, provisto de un desecante que contiene un indicador colorimétrico de concentración de humedad.

e) Horno de secado, para operaciones a 103-105 °C.

f) Balanza de análisis, capaz de pesar hasta 0,1 mg.

* Vycor, producto de Corning Glass Works, Corning, Nueva York, o equivalente.

3. Procedimiento

a) *Preparación de la placa de evaporación:* Si se va a medir sólidos volátiles, incínese una placa de evaporación limpia a 550 ± 50 °C durante una hora en un horno de mufla. Si solamente se intentan medir sólidos totales, caliéntese la placa limpia a 103-105 °C durante una hora. Consérvese la placa en el desecador hasta que se necesite. Pesar inmediatamente antes de usar.

b) *Análisis de la muestra:* Elijase un volumen de muestra que proporcione un residuo entre 2,5 y 200 mg. Transfírase un volumen medido de muestra bien mezclada a la placa pesada previamente y evapórese hasta que se seque en un baño de vapor o un horno de secado. En caso necesario, añádanse a la misma placa, después de la evaporación, nuevas porciones de muestra. Si la evaporación se lleva a cabo en un horno de secado, reducir la temperatura hasta 2 °C aproximadamente por debajo del punto de ebullición, a fin de evitar salpicaduras. Secar la muestra evaporada al menos durante una hora en horno a 103-105 °C, enfriar la placa en desecador para equilibrar la temperatura y pesar. Repítase el ciclo de secado, enfriado, desecación y pesado hasta obtener un peso constante, o hasta

que la pérdida de peso sea menor del 4 por 100 del peso previo o menor de 0,5 mg (escoger la menor de ambas).

4. Cálculo

$$\text{mg de sólidos totales/l} = \frac{(A - B) \times 1,000}{\text{vol. de muestra, ml}}$$

donde:

A = peso de residuo seco + placa, mg, y

B = peso de la placa, mg.

5. Precisión

Se realizaron análisis por duplicado, en un solo laboratorio, de 41 muestras de aguas limpias y residuales, con una desviación estándar de diferencias de 6,0 mg/l.

6. Bibliografía

SYMONS, G. E. & B. MOREY. 1941. The effect of drying time on the determination of solids in sewage and sewage sludges. *Sewage Works J.* 13:936.

ANEXO 6.SM 5220D. DETERMINACION DE DQO REFLUJO CERRADO METODO COLORIMETRICO [13]

5220 D. Reflujo cerrado, método colorimétrico

1. Discusión general

a) *Principio:* Véase la sección 5220B.1a. Los vasos de reacción colorimétrica son ampollas de cristal selladas o tubos de cultivo tapados. El consumo de oxígeno se mide a 600 nm con un espectrofotómetro frente los estándares.

b) *Interferencias y limitaciones:* Véase la sección 5220C.1b.

2. Instrumental

a) Véase sección 5220C.2.

b) *Espectrofotómetro:* Para usar a 600 nm con adaptador de apertura de acceso para ampollas o tubos de 16, 20 o 25 mm.

3. Reactivos

a) *Solución de digestión:* Añádanse a unos 500 ml de agua destilada, 10,216 g de $K_2Cr_2O_7$, de calidad para reactivos estándar primaria, previamente secado a 103 °C durante 2 horas, 167 ml de H_2SO_4 conc. y 33,3 g de $HgSO_4$. Disuélvase, enfríese a temperatura ambiente y dilúyase hasta 1.000 ml.

b) *Reactivo ácido sulfúrico:* Véase sección 5220B.3b.

c) *Ácido sulfámico:* Véase sección 5220B.3f.

d) *Ftalato de hidrógeno de potasio patrón:* Véase sección 5220B.3g.

4. Procedimiento

a) *Tratamiento de las muestras:* Mídase el volumen apropiado de muestra y reactivos en un tubo o en una ampolla como se indica en la tabla 5220:I. Prepárense, digiérense y enfríen las muestras,

el blanco y uno o más patrones como se especifica en la sección 5220C.4.

b) *Determinación de la reducción de dicromato:* Inviértanse las muestras enfriadas, el blanco y los patrones varias veces y déjese que los sólidos se depositen antes de medir la absorbancia. Quítense los sólidos que se adhieren a la pared del envase mediante golpes suaves. Insértese el tubo o la ampolla cerrada a través de la puerta de acceso en la trayectoria de la luz del espectrofotómetro ajustado a 600 nm. Léase la absorbancia y compárese con la curva de calibración. Utilícense tubos o ampollas de cultivo ópticamente equiparables para conseguir mayor sensibilidad; deséchese el material de vidrio manchado o rayado.

c) *Preparación de la curva de calibración:* Prepárense al menos cinco patrones de la solución ftalato hidrógeno de potasio con ROQ equivalentes que oscilen entre 20 y 900 $\mu g O_2/l$. Complétese el volumen con agua destilada; utilícense los mismos volúmenes de reactivos, los mismos tubos, o tamaños de ampolla, y el mismo procedimiento de digestión que para las muestras. Prepárese la curva de calibración para cada nuevo lote de tubos o ampollas o cuando los patrones preparados en el apartado 4a difieran en $\geq$ el 5 por 100 de la curva de calibración.

5. Cálculo

$$ROQ \text{ en mg } O_2/l = \frac{\text{mg } O_2 \text{ en el volumen final} \times 1.000}{\text{ml de muestra}}$$

6. Precisión y sesgo

Cinco laboratorios ensayaron 48 muestras sintéticas que contenían ftalato

hidrógeno de potasio y NaCl. A un ROQ promedio de 193 mg O₂/l en ausencia de cloruro, la desviación estándar era de ± 17 mg O₂/l (coeficiente de variación 8,7 por 100). A un ROQ promedio de 212 mg O₂/l y 100 mg Cl/l, la desviación estándar era ± 20 mg O₂/l (coeficiente de variación, 9,6 por 100).

7. Bibliografía

- JIRKA, A. M. & M. J. CARTER, 1975. Micro semiautomated analysis of surface and wastewaters for chemical oxygen demand. *Anal. Chem.* 47:1397.
- HIMERAUGH, R. R. & M. J. SMITH, 1979. Semimicro tube method for chemical oxygen demand. *Anal. Chem.* 51:1085.