



Trabajo Referativo

Tema: Propuesta de sistema de tratamiento de residuales líquidos para la mini-tenería Santiago

Autor: Jorge Lazaro Céspedes Rojas

Tutor: MSc. Ing. Fernando Álvarez Vega

**Santiago de Cuba
junio de 2020**

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a todas aquellas personas que a lo largo de estos cinco años han estado a mi lado. En especial a mi madre, Katuska Rojas, la cual nunca ha dudado de mí y siempre está conmigo a todo momento, a mi padre que está siempre a mi lado, a mis amigos, fundamentalmente Mirlo y Leo, otra persona a la cual dedico este trabajo es a mi novia Nailan, por ser mi apoyo en tiempos difíciles y, por último, no menos importante, a Dios, gracias por su bendición.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mi familia por su apoyo incondicional, a todos los profesores del Departamento de Ingeniería Hidráulica por su entrega y dedicación para que hoy podamos alcanzar este gran objetivo. A mis compañeros de grupo por estos cinco años de convivencia. A mi novia por todo su tiempo dedicado a esta causa.

A todos **Gracias**

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo investigar sobre los procesos de tratamiento que se realizan a las aguas residuales generadas en las industrias del curtido de pieles y proponer un esquema para el tratamiento de las aguas residuales que se generarán en la mini tenería de Santiago de Cuba. Para su realización se llevó a cabo una minuciosa búsqueda bibliográfica, la cual arrojó una amplia cantidad de información sobre el tema. Como resultado se amplió el conocimiento relacionado con las etapas del proceso, el impacto que sobre el medioambiente generan los desechos que se producen y los métodos de tratamiento que se aplican para minimizarlos, proponiéndose un esquema tecnológico para la mini tenería de Santiago de Cuba que cuenta con cámara de rejillas, desgrasador, tanque de homogenización en el que se añade WL como coagulante, un sedimentador para remover las partículas en suspensión y los precipitados y finalmente un filtro de minerales. Como conclusión podemos decir que el esquema propuesto es viable para el tratamiento de las aguas residuales generadas en la tenería a partir de estudios realizados con WL.

ABSTRACT

This work aims at investigating on the processes of treatment that come true to the residual waters generated at the industries of the tanning of furs and to propose a scheme for the treatment of the residual waters that will be generated in the mini tannery of Santiago de Cuba. Courage took to end a thorough bibliographic quest, which for his realization an ample quantity of information on the theme. As a result the knowledge pertaining to the stages of the process was enlarged, the waste matter that are produced and the methods of treatment that are applicable to reach a minimum generate the impact that be more than enough the medioambiente, setting oneself a technological scheme for the mini tannery of Santiago de Cuba that counts on camera of bars, desgrasador, tank of homogenization in which WL are added like coagulant, a sedimentador to stir the hanging particles and the precipitate and finally a minerals filter. As we can say conclusion that the proposed scheme is viable for the treatment of the residual waters generated at the tannery to split studies accomplished with WL.

ÍNDICE

	Pág.
Introducción	
1 El proceso productivo del curtido de pieles	4
1.1 Etapas del curtido de pieles	4
1.2 Consumo de agua en el proceso productivo	6
1.3 Generación de desechos en el proceso de curtido de pieles	7
1.3.1 Desechos sólidos	7
1.3.2 Desechos líquidos	7
2 Efectos en el medio ambiente	8
2.1 Impacto ambiental	9
2.1.1 Problemas ambientales fundamentales generados por las tenerías	9
2.1.2 Impactos ambientales sobre el agua	10
2.1.3 Daños sobre la salud	11
3 Caracterización de las aguas residuales de tenerías	13
3.1 Principales contaminantes del residual de curtimbres	14
3.2 Caudales de aguas residuales generas en curtiembres	17
4 Tratamiento de aguas residuales de una tenería	18
4.1. Etapas de tratamiento	18
4.1.1. Pretratamiento	19
4.1.2. Tratamiento primario	22
4.1.3. Tratamiento secundario	23
4.1.4. Tratamiento terciario	26
4.1.5. Otras tecnologías de tratamiento	27
4.1.6. Tratamiento de lodos	28
4.2. Esquema de tratamiento de aguas residuales de curtiembres	30
5 Tratamiento de las aguas residuales en la mini tenería de Santiago de Cuba	33
5.1.1. Objetivos, alcance y fundamentación de la inversión	34
5.2. Ubicación del área de estudio	35
5.3. Características del residual a tratar	36
5.4. Propuesta de esquema de tratamiento	38
Conclusiones	41
Recomendaciones	42
Bibliografía	43

INTRODUCCIÓN

El sector industrial juega un papel fundamental en el desarrollo actual de la sociedad. A pesar de ello, como consecuencia de la expansión de la producción industrial debida al incremento del consumo de estos recursos por parte de la población, se ha producido un aumento de las emisiones industriales de todo tipo. Concretamente, en el ámbito industrial la contaminación de las aguas residuales es uno de los mayores problemas tanto económicos como medioambientales. (Gómez Acosta, 2015)

El curtido de pieles es una técnica ancestral que, a escala internacional, dentro de los procesos industriales, ocupa un lugar importante debido a los residuos y contaminación generada por esta industria. Esta técnica pretende estabilizar la materia orgánica, inhibiendo su descomposición; mediante procesos físico-químicos en los que es necesario adicionar productos químicos con impacto ambiental severo sobre el medio ambiente y la salud humana tales como el ácido fórmico, el ácido sulfúrico y las sales de sulfato de cromo trivalente; los cuales son vertidos directamente en los cursos de agua natural.

Además, las aguas residuales de una curtiduría también contienen grandes cantidades de otros contaminantes tales como proteínas, pelo y sal. A nivel industrial, las aguas residuales generadas por la industria de curtidos de pieles, se encuentran entre las más problemáticas por el elevado consumo de agua que se necesita y por las características que presentan estas aguas (principalmente elevada carga orgánica, elevada conductividad, salinidad y presencia de metales pesados, fundamentalmente el cromo) que hacen que deban ser sometidas a determinados tratamientos antes de su vertimiento. (Fernández Lescano, 2015)

Por otra parte, las curtidurías generan malos olores que no solo contaminan el aire, sino también el resto del entorno.

En la industria del cuero también se utiliza una gran cantidad de energía; sobre la base de la cantidad de energía consumida por unidad producida, la industria del cuero se sitúa junto a las industrias de obtención de papel, acero, cemento y petróleo como grandes consumidoras de energía. (Lais Fragela, 2016)

En la provincia de Santiago de Cuba la Empresa de Industrias Locales se presenta como uno de los líderes del territorio en la producción local de bienes y servicios. Hace muy poco tiempo ha puesto en marcha dos mini industrias, una fábrica de pintura en la localidad de Boniato y más recientemente una para la fabricación de lijas ubicada el municipio Segundo Frente.

Con el objetivo de seguir ampliando sus producciones, ya ha concluido el estudio de mercado y se encuentra en fase de proyecto la construcción de una mini tenería de tecnología China para el curtido de las pieles que se generan en el Combinado Cárnico de Santiago, derivada del proceso de matanza de ganado bovino.

Aunque las producciones esperadas, no alcanzan un gran volumen si se les compara con otras industrias de este tipo en el país como las de Villa Clara y Camagüey, igualmente las aguas residuales que se esperan, generadas en esta industria presentan una elevada carga contaminante que incluye además algunas sustancias tóxicas, por lo que su vertimiento directo está totalmente prohibido por las autoridades ambientales, de manera que requerirán un tratamiento antes de ser vertidas finalmente al entorno.

Diseño de la Investigación

- **Problema de Investigación:**

La necesidad de proponer un esquema para el tratamiento adecuado de las aguas residuales que se generarán en la mini tenería de Santiago de Cuba.

- **Objeto de la Investigación:**

Tratamiento de aguas residuales industriales

Campo de acción:

Tratamiento de las aguas residuales generadas en la industria del curtido de pieles.

- **Objetivo General:**

Investigar sobre los procesos de tratamiento que se realizan a las aguas residuales generadas en las industrias del curtido de pieles y proponer un esquema para el tratamiento de las aguas residuales que se generarán en la mini tenería de Santiago

de Cuba aplicando como coagulante el WL, una sustancia que se genera como subproducto del procesamiento del cobalto.

- **Objetivos Específicos:**

1. Realizar una exhaustiva búsqueda de información acerca del proceso de curtición de pieles, las etapas que se requieren, los desechos que se generan y el tratamiento de las aguas residuales.
2. Proponer un diagrama de flujo para el tratamiento de las aguas residuales de la mini tenería de Santiago

- **Hipótesis:**

Si a partir de un proceso investigativo, se hace una adecuada propuesta para el tratamiento de las aguas residuales que se producirán en la mini tenería Santiago, entonces su construcción podrá minimizar los impactos que estas producen al medioambiente.

El proceso productivo del curtido de pieles

La industria de las curtiembres y su producto, el cuero, es muy antigua en el mundo entero. El cuero es la piel animal preparada para que sea resistente y que se obtiene de las pieles de diversos animales, principalmente reses, ovejas, cabras y cerdos.

El proceso de curtición consiste en la transformación de la piel en cuero, de esta manera adquiere propiedades físicas y químicas que mejoran las cualidades del material como la textura, aspecto, impermeabilidad, resistencia a la putrefacción, resistencia térmica, resistencia a la tracción y desgarró (Hidalgo Ruiz, 2015).

1.1. Etapas del curtido de pieles

El proceso de curtido de pieles, no está estandarizado de manera que cada industria aplica su propio método dependiendo del tipo de proceso de curtido y de la materia prima. En general el proceso se lleva a cabo en una secuencia de etapas en discontinuo (tres, cuatro y hasta cinco etapas), cada una con varias sub etapas, (Artiga, 2005).

De acuerdo con la literatura, lo más común es referirse al proceso completo de curtido de pieles dividiéndolo básicamente en tres etapas principales: **ribera, curtido y acabado**, (Midha, 2008). Las etapas de ribera y curtido se realizan en grandes recipientes cilíndricos de madera llamados fulones. A estos recipientes se ingresan los cueros, el agua y los reactivos químicos necesarios, mientras que las etapas de terminación ocupan equipos de acondicionamiento físico en seco.

Etapas de Ribera: Consiste en la preparación y acondicionamiento de las pieles, provenientes de los saladeros, las mismas que son sometidas a varias etapas para dar a las pieles un adecuado grado de humedad e hinchamiento para penetración de los productos químicos (Bustos Mesías, 2012). Los trabajos de ribera se caracterizan por emplearse en ellos grandes cantidades de agua, de lo cual deriva su nombre.

Etapas de Curtido: La piel que procede de la etapa de ribera, apta para curtir se introduce en los bombos de curtición, con el propósito de que el cromo trivalente se

penetre en el colágeno del cuero (Rey de Castro, 2013). En este proceso se busca la estabilización del colágeno de la piel mediante agentes curtientes tanto minerales como vegetales, obteniendo así el cuero; este proceso tiene como característica principal que el consumo de agua no es tan elevado como en la etapa de ribera y sus efluentes se mantienen con un pH neutro (García y Ramírez, 2019).

Etapa de acabado: Consiste en la preparación y acondicionamiento de las pieles, las mismas son sometidas a varias etapas para que obtengan la textura y el color deseado según el producto final que se requiera, mejorando las propiedades físicas, cubrir imperfecciones y añadir el efecto de moda deseado. En esta etapa los cueros pueden ser raspados, ablandados, estirados, planchados, pintados, lacados, etc. (Hidalgo Ruiz, 2015)

En la Figura 1, se muestra un resumen de las etapas y sub etapas principales del proceso de curtición de pieles y los objetivos que se persiguen en cada una.

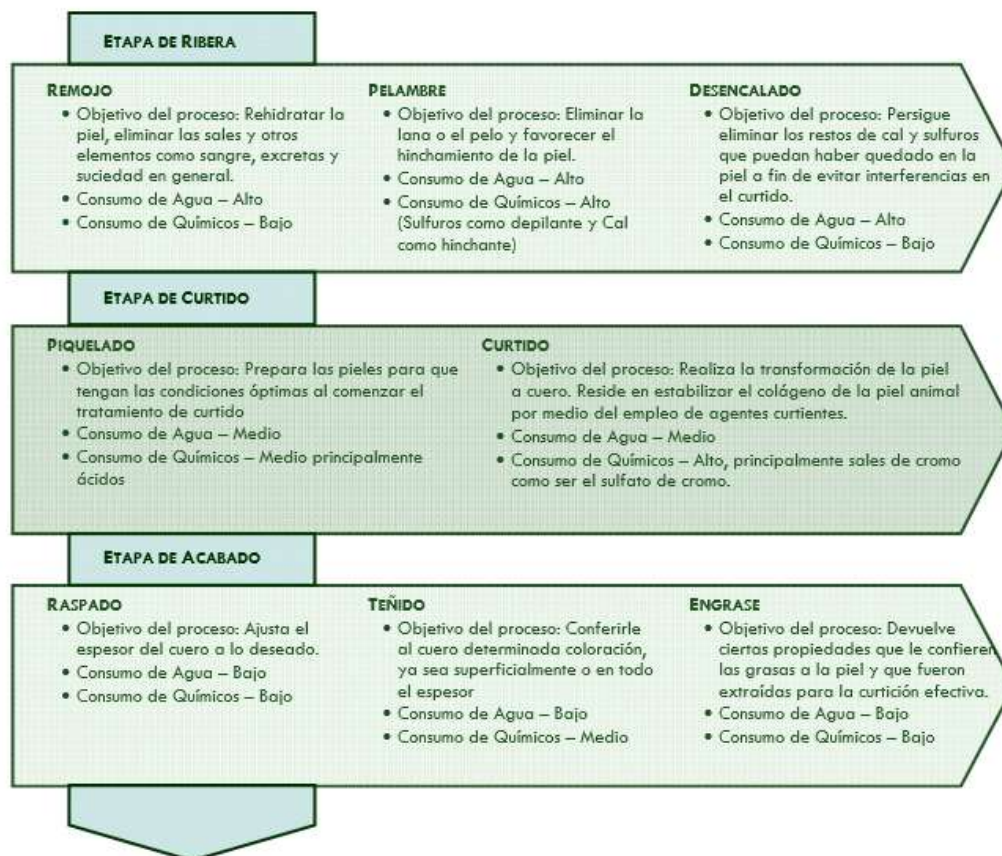


Figura 1. Etapas y sub etapas del proceso de curtición de pieles (Fuente: Bergana, 2011)

1.2. Consumo de agua en el proceso productivo

Las curtiembres emplean como insumo principal el agua en todas sus etapas, siendo de principal preocupación ya que al ser descargados junto con restos de productos químicos generan aguas residuales altamente contaminantes.

La etapa de ribera consume aproximadamente el 50% de agua de todo el proceso de producción, pues sus operaciones incluyen extensos lavados aumentando el consumo.

En la Tabla 1, se muestran valores de consumo de agua correspondientes a las diferentes etapas, cabe recalcar que los valores van a diferir de una empresa a otra, ya que están en función de la materia prima, proceso y tiempo empleado

Tabla 1. Principales consumos de agua por etapas

Etapa	Unidades	
	m ³ agua/tn piel fresca	m ³ agua/tn piel salada
Ribera	19,5 – 27	7 – 25
Curtido	3,6 – 5	1 – 3

Fuente: Bustos, 2012

Para un control correcto y una evaluación exacta de los consumos de agua, es indispensable que la curtiembre instale unos medidores de caudal en línea con los bombos. Un menor consumo está siempre recomendado y es ventajoso cuando la curtiembre utiliza demasiada agua, es decir en los casos de evidente derroche. En estos casos, el menor volumen de efluentes conlleva un ahorro en los costos de instalación y gestión de la planta de tratamiento y permite preservar en parte este bien común siempre más escaso e importante.

En los otros casos, una reducción drástica del consumo de agua, a parte los riesgos para la calidad de la piel producida, puede determinar otros problemas difíciles de solucionar. La concentración de los contaminantes en el efluente descargado, en efecto, alcanza valores tales que a veces resulta difícil reducir dentro de los límites impuestos por el vertimiento, necesitando el uso de tecnologías sofisticadas y caras.

1.3. Generación de desechos en el proceso de curtido de pieles

1.3.1. Desechos sólidos

Los residuos sólidos que se generan en una empresa típica dedicada al curtido de pieles se pueden clasificar en residuos biodegradables y no biodegradables, siendo los primeros sobre los cuales se debe ejercer un mayor control, ya que, de comenzar a descomponerse, generaran malos olores y grandes posibilidades contaminación biológica (CPML, 2008).

Los residuos sólidos típicos del proceso de curtido son los siguientes:

Ribera: Alto contenido de materia orgánica (pelo disuelto o completo contaminado con sulfatos), grasa natural, carnes, resto de tejidos conjuntivo.

Curtido: Restos de cuero y aserrín con contenido de cromo.

Acabado: Aserrín o polvo de rebajado y lijado, recortes de cuero acabado

1.3.2. Desechos líquidos

El procesamiento completo de una piel involucra el uso de grandes cantidades de agua. Del total del agua consumida, el 60-70% pertenece a la fase de preparación de la piel (lavado y remojo, encalado y pelambre, desencalado y purga), el 30-40% a la etapa de curtido y del 5 al 10% a la fase de acabado.

Los residuos líquidos típicos del proceso de curtido son los siguientes:

Ribera: Sangre, suero, proteínas, agua con contenido de cal y sulfuro de sodio, ácidos orgánicos tamponados (sulfúrico, clorhídrico, láctico, fórmico, bórico y mezclas), sales de amonio, el bisulfito de sodio, el peróxido de hidrógeno.

Curtido: Se caracteriza por el uso de sustancias químicas como sales y ácidas. El cromo trivalente, que es el que se encuentra en mayor cantidad en los efluentes, no es de gran toxicidad, pero bajo ciertas condiciones del medio, puede oxidarse pasando a cromo hexavalente, el cual es de muy alta toxicidad, afectando a los ciclos biológicos y al ser humano.

Acabado: Anilinas, polímeros acrílicos o poliuretánicos y solventes orgánicos.

Efectos en el Medio Ambiente

El principal problema ambiental ocasionado por las curtimbres se debe a las descargas de aguas residuales del proceso. Esta industria mundialmente se reconoce como una de las más contaminantes de aguas, debido a los procesos químicos involucrados, y sus efluentes constituyen uno de los residuos de mayor complejidad para su tratamiento en razón de las características de su carga contaminante.

En el balance global mostrado en la Figura 2, se observa que a partir de una tonelada de piel salada y húmeda se obtiene como producto final del proceso sólo 500 Kg de cuero. El 50% restante corresponde a los residuos sólidos generados, dentro de los cuales se debe diferenciar entre los residuos sin curtir y los ya curtidos, de características diferentes, ya que, el contenido de cromo será diferente dependiendo de la etapa de la cual proceden los residuos (Artiga, 2005). Respecto a la cantidad de compuestos químicos utilizados, éstos son disueltos en el agua empleada en el proceso, generándose un efluente no sólo con un elevado contenido de carga orgánica, sino también de compuestos inorgánicos.

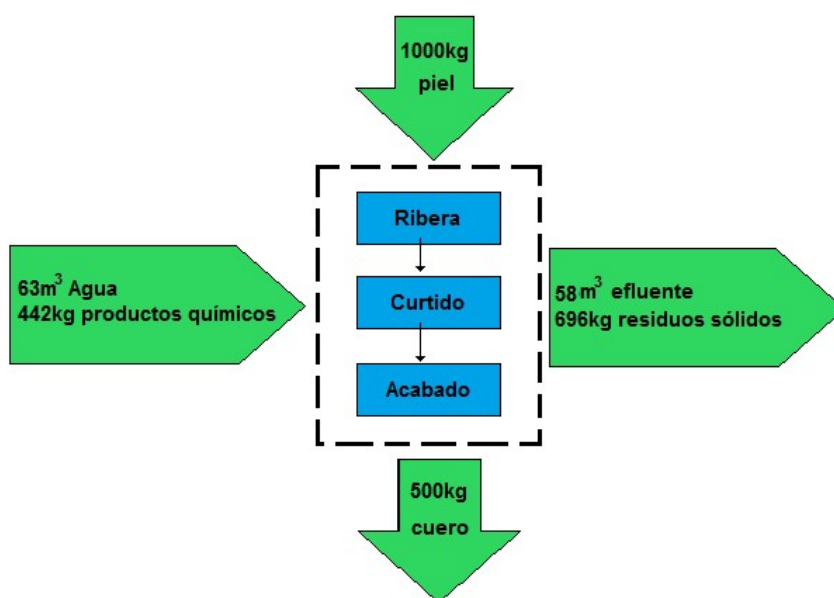


Figura 2. Balance de materia global representativo de un proceso de curtido en el cual se emplea como base de cálculo 1 t de piel salada y húmeda (Adaptado de: Artiga, 2005)

Esta figura es solo una representación para servir de guía, ya el balance puede variar según el tipo de proceso de curtido que se realice.

Es importante señalar que el tamaño de las industrias, sean grandes o pequeñas no importa, todas contaminan, solo que con mayor o menor volumen de agua residual.

Aproximadamente, el consumo mundial total de agua cada año para la industria del cuero bovino es de unos 400 mil millones de L.

Aunque la producción de cuero implica un alto consumo de agua, cabe señalar que las pieles utilizadas para producir cuero provienen prácticamente todas del ganado que se cría para carne, por lo que puede decirse que toda la industria del cuero es utilizar un subproducto que de otra manera iría a la basura.

2.1. Impacto Ambiental

El proceso de curtido produce cantidades significativas de polvo y sulfuro de hidrógeno. Las otras emisiones gaseosas provienen de la separación del amoníaco y de las calderas. Además, el proceso genera desperdicios sólidos en forma de carne, polvo arenoso, recortes de las pieles, lodos, grasas, etc., que se rescatan, normalmente, para vender a las plantas de recuperación de grasa. Se vende el pelo, como subproducto.

2.1.1. Problemas ambientales fundamentales generados por las tenerías

Los dos grandes problemas ambientales generados por las actividades desarrolladas en las empresas de curtiembre y que van asociados a su Gestión Ambiental son:

- ✓ Las descargas de aguas residuales sin tratar o con un tratamiento incompleto, en los cursos de aguas superficiales, lo que imposibilita o dificulta su posterior utilización. Las sales de cromo son uno de los compuestos químicos utilizados en proceso de curtición, de manera que las altas concentraciones de este en las aguas residuales hacen que cuando sean vertidas en fuentes de agua, imposibiliten o dificulten su uso como aguas de consumo humano, salvo que se le realicen diversas acciones que permitan su potabilización lo que generalmente resulta costoso. De igual forma, el uso de sulfato de amonio y la descomposición de materia orgánica de los cueros frescos que son usados como materia prima, contribuyen

directamente al proceso de eutrofización de los cursos de agua y crean las condiciones ideales para la proliferación de microorganismos patógenos, transmisores de enfermedades, aguas abajo del sitio de los vertidos.

- ✓ La problemática ambiental, unida a problemas sociales, sanitarios y económicos, que se manifiestan por la emisión de malos olores, especialmente los directamente relacionados con el sulfuro de hidrogeno (H_2S) y su característico olor a “Huevo podrido”, generado por el uso del sulfato de sodio como producto que facilita la eliminación del pelo en las etapas de pelambre.

2.1.2. Impactos ambientales sobre el agua

El proceso de curtido de las pieles se realiza principalmente en medios líquidos, razón por la cual, este medio actúa como receptor de los principales impactos ambientales, facilitando el transporte de los agentes contaminantes, sean estos químicos, físicos o biológicos. Una vez que el agua residual o el efluente tratado, entra en contacto con el cuerpo de agua receptor, pueden comenzar a producirse una serie de Impactos Ambientales en el mismo, entre los que cabe la pena mencionar:

- Disminución de los niveles de oxígeno, el cual es vital para la vida acuática, debido a que el mismo es consumido en la estabilización por vía aeróbica de la materia orgánica presente en el efluente. En los vertidos líquidos de una tenería hay que tener especial cuidado con las cantidades de sulfuro presentes en los mismos, ya que, según los estudios realizados, 1mg/L de sulfuro remueve 0,5mg/L del oxígeno presente en el agua del medio receptor.
- Variaciones en el pH del medio receptor, lo que trae como consecuencia efectos directos sobre el componente biótico del ecosistema.
- Incremento en los niveles de sales disueltas, como consecuencia del vertido de efluentes altamente salinos y tóxicos, como en el caso de algunas sales inorgánicas.
- Aumento de nutrientes, principalmente los compuestos asociados al nitrógeno y al fósforo, lo cual se traduce en un crecimiento acelerado de algas y plantas acuáticas, aumentando la velocidad con que se sucede el proceso de eutrofización.

- Alteración del equilibrio microbiológico del medio receptor, como consecuencia del vertido de efluentes con una alta concentración de microorganismos patógenos transmisores de enfermedades.
- Aumento significativo de los niveles de color y turbidez del curso de agua receptor, lo que a su vez trae como consecuencia una minimización de la actividad fotosintética con la consecuente disminución del oxígeno generado en el mismo.

El elemento más contaminante en el proceso de curtumbre es cromo (III) con la posible oxidación a cromo (VI), el cual es un metal pesado. El cromo y sus formas son difícilmente biodegradables, por lo cual son una carga para el ambiente debido a su persistencia, acumulación en el tiempo y efectos impredecibles sobre la vida acuática.

2.1.3. Daños sobre la salud

En las empresas del sector curtiembre, los trabajadores expuestos al posible desarrollo de las enfermedades profesionales de mayor riesgo para la salud, son los que entran en contacto directo con los cueros que se procesan y con los productos químicos que se les añaden. Algunas de estas enfermedades son:

- Ulceraciones cutáneas y perforaciones del tabique nasal producto de la acción de las sales de cromo cuando se encuentran en estado sólido.
- Dermatitis producidas por el contacto directo o indirecto del trabajador con ácidos como el clorhídrico, sulfúrico, nítrico, fluorhídrico.
- Conjuntivitis y querato-conjuntivitis, producto de la exposición directa a agentes físicos como el calor; químicos como el amoníaco, sulfuro de hidrogeno, ácido sulfúrico, solventes, barnices entre otros.
- Intoxicación por solventes utilizados en las etapas de pintura y acabado como por ejemplo anilinas, alcoholes metílico, etílico, propílico, butílico, etc.
- Benzolismo, producto del contacto con el benceno o sus derivados, el cual es utilizado como solvente en las etapas de pintura y acabado. Esta enfermedad se manifiesta principalmente por la afectación de los tejidos encargados de la formación de la sangre.

- Infecciones, parasitosis, micosis y virosis, debido a la acción de parásitos, hongos, virus y bacterias presentes fundamentalmente en los cueros frescos y en las aguas residuales.
- Carbunco, enfermedad infecciosa que afecta principalmente las vías respiratorias, el tracto gastrointestinal y la piel de las personas que desarrollan la misma. Los curtidores se encuentran directamente expuestos a esta enfermedad debido a que es transmitida por animales ungulados como el ganado bovino.
- Aspergilosis, los trabajadores más expuestos a esta enfermedad son los limpiadores de cueros ya que en estos vienen los gérmenes causantes de la misma, del género *Aspergillus*. Las principales formas mediante las cuales se manifiesta esta enfermedad, es mediante problemas bronco respiratorios, alergias, colonización del hongo de cavidades, fiebre, pérdida de peso, asma, tos, etc.
- Erisipeloide, normalmente producida por entrar en contacto con animales o sus cadáveres, pelo o cuero.

Según un informe presentado por Greenpeace, la Agencia Internacional para la investigación del cáncer clasifica los compuestos del cromo VI como cancerígenos. También aporta que según el Servicio de Salud Pública de Estados Unidos determina que para los humanos el consumo de agua, pescado y otros alimentos contaminados con Cr III podrían aumentar los niveles de absorción diaria mucho más allá de lo recomendado. La ingesta de niveles superiores a los recomendados durante lapsos prolongados puede provocar efectos perjudiciales para la salud, incluidos irritación gastrointestinal, úlcera estomacal y daños renales y hepáticos.

Caracterización de las aguas residuales de tenerías

La industria del curtido de pieles, por su tamaño, es una de las que consume mayor cantidad de agua en todo el mundo, desde el agua utilizada para criar animales hasta el agua utilizada en los procesos de curtido y acabado. La industria también se destaca por la cantidad de efluentes que produce, a veces con una pesada carga contaminante.

Un trabajo realizado en Argentina (Bergana, 2011), se estudió en qué medida cada una de las etapas del proceso aporta al efluente global y en qué grado de toxicidad. De esta manera se encontró que la etapa de *Ribera* aporta el 70% de la contaminación mientras que la etapa de *Curtido* ocupa el segundo lugar.

Contemplando todas las entradas y salidas de los principales procesos y, a sabiendas del peso en la contaminación de las operaciones vinculadas a la etapa de Ribera, fueron valorados los procesos para priorizar los esfuerzos de estudio a fin de mitigar las cargas contaminantes y generación de vertidos, ver Figura 3.

ETAPA	OPERACIÓN	ENTRADAS		SALIDAS		RELEVANCIA
		AGUA	QUÍMICOS	ELUENTES	RESIDUOS	
RIBERA	REMOJO	●●●		●●●	●	6,5
	PELAMBRE	●	●●●	●●●	●●●	9
	DESENCALADO	●●●		●●●		5
CURTIDO	PIQUELADO Y CURTIDO	●	●●●	●●●	●	7,5
RTE	RECURTIDO, RASPADO, TEÑIDO Y ENGRASE		●	●	●	4
Se pondera como: círculo grande 2,5 puntos, mediano 1,5 puntos y pequeño 1 punto. Con este modelo la calificación máxima posible para un proceso es de 10 puntos						

Figura 3. Relación de procesos con la generación de vertidos y su aporte a la contaminación (Fuente: Bergana, 2011)

3.1. Principales contaminantes del residual de curtimbres

El proceso de curtido es una cadena de varios procesos en discontinuo, caracterizándose las aguas residuales generadas por un alto contenido de sustancias orgánicas: lo que se traduce en altas concentraciones de DQO y DBO₅ y alto contenido de nitrógeno, así como una adecuada concentración de sales inorgánicas como cromo, amonio, cloruro, sulfuros y sulfatos además de una alta concentración de sólidos en suspensión (Artiga, 2005).

Las características de las aguas residuales producidas en las tenerías, son muy variables debido a las particularidades de los procesos productivos de cada empresa, tamaño de la tenería, tipos de reactivos químicos usados en procesos específicos, cantidad de agua usada y tipo de producto final. Por tanto, la caracterización de los efluentes de una tenería, es un requisito fundamental debido a la fuerte variabilidad en la concentración de sus componentes (Pire Sierra, et al, 2011).

En la práctica dependiendo de las características del producto deseado y del proceso aplicado, los efluentes presentan diversas concentraciones de los compuestos contaminantes. En la Tabla 2 se muestran valores de concentración de diferentes parámetros de muestras de aguas residuales brutas de tenerías. Es importante destacar que las características y la concentración de los compuestos presentes en el agua residual pueden variar en instalaciones distintas.

Tabla 2. Caracterización de efluentes globales de la industria del curtido

Parámetro	Concentración (mg/L)
DQO	7000 - 8000
DBO ₅	4000 - 4500
NH ₃	200 - 250
Sólidos suspendidos SS	3500 - 4000
Cr ³⁺	200 - 300
S ²⁻	200 - 250
SO ₄ ²⁻	1800
Cl ⁻	5000 - 6000

Fuente: Artiga Acuña, 2005

A continuación, se muestra la carga contaminante generada en las diferentes etapas del proceso de curtimbre.

Etapa de Ribera: El 50% de los efluentes líquidos generados en el proceso de la curtiembre provienen de la etapa de ribera y constituye la etapa más contaminante, específicamente la operación de pelambre. Las pieles saladas al someterlas a un lavado producen efluentes con altos contenidos de cloruros, sangre, estiércol, sebo, presentándose un remanente de los mencionados contaminantes en los efluentes del remojo los cuales elevan la DBO₅. En la Tabla 3, se muestra la carga contaminante generada en la etapa de ribera.

Tabla 3. Carga contaminante de la etapa de Ribera

Parámetro	Remojo (kg/ton de cuero crudo)	Pelambre (kg/ton de cuero crudo)
SS	11 - 21	53 – 97
DQO	22 - 33	79 – 122
DBO ₅	7 - 11	28 – 45
NKT	1 - 2	6 – 8
Cloruros	133 - 186	5 – 10
Sulfatos	1 - 2	1 – 2
Sulfuros	-	4 – 9

Fuente: DPLyCS, Argentina, 2007

Etapa de Curtido: Del desencalado la carga de cal en el efluente puede causar depósitos y producir incrustaciones en las tuberías de desagüe; los desechos de la etapa de curtido contienen curtientes, sales de sodio y ácidos orgánicos e inorgánicos; debido a los ácidos empleados dan lugar a aguas residuales con pH entre 2,7 - 4,0; el efluente del curtido presenta del 20 – 40% de sales de cromo. En la Tabla 4, se muestra la carga contaminante generada en la etapa de curtido.

Tabla 4. Carga contaminante de la etapa de curtido

Parámetro	Desencalado (kg/ton de cuero crudo)	Curtido (kg/ton de cuero crudo)
SS	8 - 14	5 – 10
DQO	13 - 20	7 – 11
DBO ₅	5 – 10	2 – 4
NKT	3 - 5	0,6 - 0,9
Cloruros	2 - 4	40 – 60
Cromo III	-	2 – 5
Sulfatos	10 - 26	30 – 55

Fuente: DPLyCS, Argentina, 2007

En la Figura 4, se muestra un diagrama de bloques del proceso de curtición con entradas y salidas en términos de parámetros contaminantes.

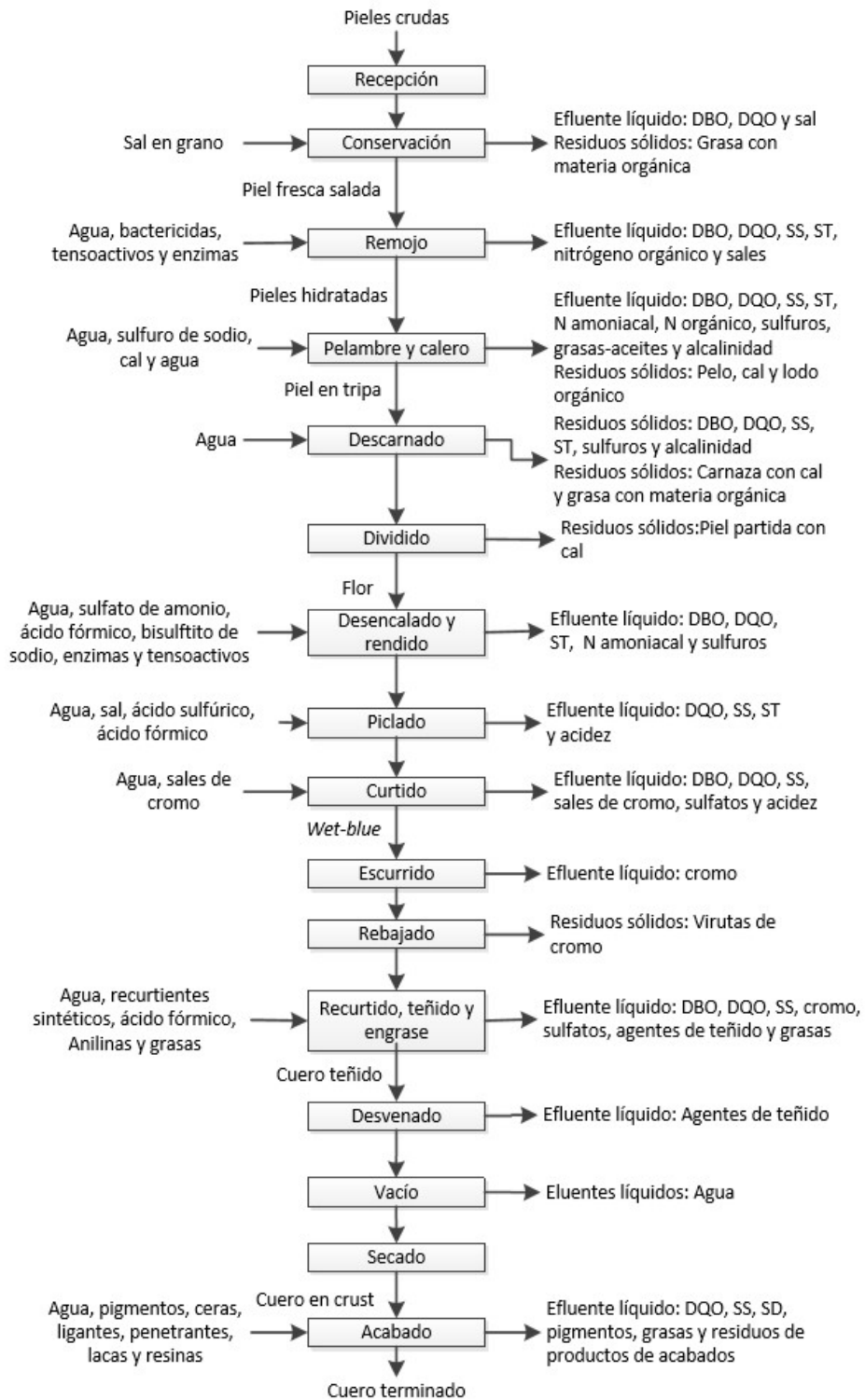


Figura 4. Diagrama de bloque del proceso de curtición (Fuente: Hidalgo, 2015)

3.2. Caudales de aguas residuales generas en curtiembres

El volumen de efluentes descargados por una curtiembre, es uno de los datos más importantes ya que está asociado con la planta depuradora de estos residuales. A menudo estas las plantas son proyectadas sobre la base de consumos de agua teóricos que pueden ser muy distintos de los efectivos.

El consumo de agua de una curtiembre se encuentra entre 20 y 100m³/tphs (1 tphs=tonelada de piel húmeda y salada). De los efluentes totales generados, entre el 45 y 50% corresponden al agua de servicios industriales e insumos, entre el 20 y 25% a la etapa de ribera y el restante a la etapa de curtido y acabado (Hidalgo Ruiz, 2015).

De acuerdo con un estudio realizado por este mismo autor, en la Tabla 5, se detalla el % de agua residual aportada por cada etapa del proceso de curtido de pieles.

Tabla 5. Aporte de agua residual por proceso

Etapa del proceso	Aporte de cada proceso (%)
Ribera	55,6
Curtido	13,2
Acabado	31,2
Total	100

Fuente: Hidalgo, 2015

Los rangos típicos de agua residual generada en las diferentes corrientes del proceso de curtido de piel se muestran en la Tabla 6. Estos valores son indicativos ya pueden variar en instalaciones distintas

Tabla 6. Rangos típicos de volumen de agua residual en diferentes corrientes del proceso de curtido

Etapa del proceso	Volumen de agua residual (m³/t)
Ribera	20 - 25
Curtido	1 - 3
Post curtición	3 - 8
Acabado	1
Total	24 - 37

Fuente: Artiga Acuña, 2005

Tratamiento de aguas residuales de una tenería

Previo a la selección de un tratamiento para residuos, emisiones y efluentes industriales, se debe partir de la gestión integrada de residuos, que inicia con la prevención, el reciclaje, el tratamiento y finalmente la disposición de los de los contaminantes. La estrategia de P + L (producción más limpia), se encuentra dentro de la prevención y el reciclaje, y es la opción que más se ajusta a la realidad de la pequeña y mediana industria (Hidalgo, 2015).

Para la selección de los procesos unitarios que se llevan a cabo para el tratamiento de las aguas residuales de tenerías, se deben considerar criterios de selección, que tienen en cuenta la funcionalidad y la viabilidad de los métodos en cada una de las etapas de la PTAR. Así como las características más relevantes del efluente a tratar (caudales y carga contaminante).

Los tratamientos de aguas residuales implementados en las curtimbres son: físico-químico y biológico, y en varios casos una combinación de los que permiten alcanzar mayores eficiencias en el desarrollo de la planta.

Los tratamientos físico-químicos son necesarios, debido a la alta carga contaminante de estos efluentes que se deben reducir para el posterior tratamiento biológico. Entre los físicos son necesarios, el desbaste de sólidos gruesos y finos, la eliminación de sulfuros, la homogenización, la sedimentación, la deshidratación de lodos. Entre los tratamientos químicos la coagulación – floculación, la precipitación química (Artiaga, 2005).

Los tratamientos biológicos son necesarios para reducir la elevada carga orgánica que estas aguas presentan; entre los métodos más empleados están los aerobios, anaerobios y mixtos.

4.1. Etapas de tratamiento

A continuación, se describen las operaciones unitarias más comunes en las etapas de pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario.

4.1.1. Pretratamiento

Es el tratamiento básico con operaciones físicas-mecánicas con la finalidad de remover los sólidos gruesos, grandes y voluminosos aumentando la efectividad de los posteriores sistemas de tratamiento (Metcalf & Eddy, 1995, Merchán V., 2015; Fernández, 2015; Artiaga, 2005; Bustos, 2012).

- **Rejas:** Sirven para separar objetos sólidos gruesos que son arrastrados por la corriente de agua, tienen una separación entre barrotes de 3 a 5 cm. Son diseñadas con material anticorrosivo con un grosor de 6mm y se les coloca en forma inclinada sobre la horizontal con ángulos entre 60-80°. Pueden ser de limpieza manual o automática, ver Figura 5.



Figura 5. Cámara de rejas a) Manual, b) Automática (Fuente: <https://images.app.goo.gl/BNxQ>)

- **Tamizado:** Pueden ser estático autolimpiante o rotatorio que permiten remover un porcentaje más alto de sólidos como: pelos semihidrolizados, virutas de piel, ambos decantan con dificultad y dan valor elevado en DQO; están contruidos con mallas filtrantes de acero inoxidable con separación entre 0,5 – 1mm, dispuestas en una inclinación particular que deja atravesar el agua y obliga a deslizarse a la materia sólida retenida hasta caer fuera de la malla por sí sola, ver Figura 6.



Figura 6. Tamiz utilizado en el tratamiento de aguas residuales

(Fuente: <https://images.app.goo.gl/TxiuMWzb>)

- **Eliminación de sulfuros:** Suelen eliminarse mediante la oxidación con aire, aunque también se pueden utilizar oxidantes más enérgicos. La reacción mayoritaria que se produce a pH 11 y con suficiente aireación es:



En plantas modernas, generalmente, se incorpora esta alternativa de tratamiento, pero solamente en aquellos casos de descarga indirecta.

- **Homogenización y neutralización:** Se utiliza para mezclar las corrientes de aguas discontinuas provenientes de los procesos. Se lleva a cabo en depósitos dotados de un agitador mecánico y difusores de aire para facilitar la homogeneización de las aguas alcalinas y ácidas. Además, con ello se realiza una neutralización, consiguiendo ajustar el pH al óptimo para llevar a cabo la posterior etapa de coagulación-floculación. En caso de que fuera necesario se adiciona H_2SO_4 para reducir el pH o cal viva o hidratada o NaOH para aumentarlo, ver Figura 7.



Figura 7. Tanque de homogenización (Fuente: <https://images.app.goo.gl/3adFpEtUX>)

- **Desarenado:** El objetivo de este método es eliminar las partículas de arenas y otras generalmente inorgánicas de granulometría superior a 200 micras. El desarenado no es muy frecuente para los desagües de curtiembre ya que, en efecto, la arena se deposita en la homogeneización y es extraída junto con los depósitos de lodo durante el vaciado y la limpieza para el mantenimiento periódico del tanque, ver Figura 8.



Figura 8. Desarenador (Fuente: <https://images.app.goo.gl/fVhm9RER>)

• **Desengrasado:** En este proceso se eliminan materiales flotantes como, grasas, espumas y otras. El desengrasado también se utiliza muy poco para los desagües de curtiembre y principalmente se limita a las empresas que trabajan con pieles de cerdo. En estos casos, la mayoría de las veces se trata de simples “trampas” para la grasa, que se instalan a lo largo de los desagües de los baños más grasos (por ejemplo, de pelambre) y que se limpian manualmente, ver Figura 9.



Figura 9. Trampa de grasa (Fuente: <https://images.app.goo.gl/LgWxNAfzb>)

4.1.2. Tratamiento primario

Tiene como objetivo remover los materiales o sólidos que sean posibles sedimentar y algunos suspendidos o aquellos que pueden flotar como las grasas, usando tratamiento físico o físico-químico (Metcalf & Eddy, 1995, Merchán V., 2015; Artiaga, 2005; Bustos, 2012).

- **Sedimentación primaria:** Es la opción tradicional para separar sólidos de una fase líquida. En los decantadores se hace fluir el líquido a una velocidad inferior a la de sedimentación de las partículas que interesa eliminar, las cuales se depositan en forma de lodos. A través de éste tipo de decantación es posible disminuir las concentraciones de DBO_5 , DQO y materias en suspensión, sin necesidad de la adición de productos químicos, ver Figura 10.

- **Separación por flotación:** Constituye otra alternativa para la eliminación de sólidos en suspensión cuando la densidad de las partículas a separar es cercana o menor a la del vertimiento. En vez de sedimentarlos, se les hace ascender hasta la superficie. Se presuriza agua saturándola con aire disuelto para a continuación reducir la presión del agua a la entrada de la cámara de flotación, produciéndose al descomprimir infinidad de burbujas que al adherirse con los flóculos hacen que éstos tienden a flotar en vez de sedimentar.



Figura 10. Decantadores (Fuente: <https://images.app.goo.gl/gFyKyZZTD>)

- **Coagulación - Floculación:** En las aguas residuales, además de tener partículas sólidas que pueden ser eliminadas con un proceso de decantación primaria, existen sustancias coloidales, que son difícilmente sedimentables debido al hecho de que, al estar cargadas electrostáticamente con iones del mismo signo, se repelen entre ellas manteniéndolas en movimiento constante que les impide sedimentar. Para desestabilizar estas suspensiones hay que neutralizar el potencial Z, mediante coagulantes tales como el sulfato de aluminio, sales de hierro y también de cromo. Con esta desestabilización, las materias no disueltas y las coloidales se precipitan y, tras la decantación, el líquido queda clarificado.

4.1.3. Tratamiento secundario

Consiste en procesos biológicos para convertir la materia orgánica soluble y de partículas coloidales, en sólidos sedimentables floculentos que puedan separarse en tanques de sedimentación secundaria (Metcalf & Eddy, 1995, Merchán V., 2015; Artiaga, 2005; Menéndez G. y Pérez O., 2007).

Puede ser mediante procesos aeróbicos, donde intervienen microorganismos facultativos que en presencia de oxígeno metabolizan la materia orgánica, ideal para tratamiento de aguas con carga orgánica leve y procesos de tipo anaeróbicos para tratar efluentes con alta carga orgánica, empleando bacterias específicas para degradar la materia orgánica en ausencia de oxígeno, produciendo metano.

En el esquema de la Figura 11 se presentan algunos métodos biológicos para el tratamiento de este tipo de residual.

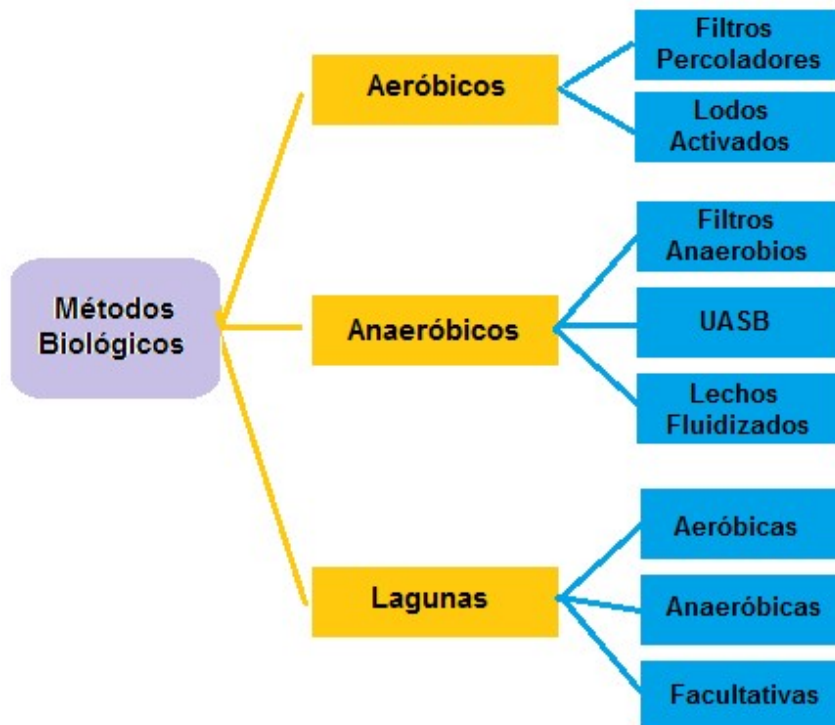


Figura 11. Métodos biológicos de tratamiento secundario

- **Procesos aeróbicos:** Son los procesos de tratamiento biológico que se realizan en presencia de oxígeno. Pueden ser de cultivo en suspensión como los lodos activado; o de cultivo fijo como los filtros percoladores, ver Figura 12.
- **Procesos anaerobios:** Son los procesos de tratamiento biológico que se realizan en ausencia de oxígeno. Pueden ser de cultivo en suspensión como los UASB o de cultivo fijo como los filtros anaeróbicos, ver Figura 13.



Figura 12. Procesos biológicos aeróbicos (Fuente: <https://images.app.goo.gl/TxiuMWzb>)



Figura 13. Procesos Biológicos Anaeróbicos (Fuente: <https://images.app.goo.gl/TxiuMWzb>)

- **Procesos facultativos:** Son los procesos de tratamiento biológico en que los organismos responsables de ellos son indiferentes a la presencia del oxígeno disuelto.
- **Sedimentación secundaria:** Los principios de la sedimentación biológica son los mismos vistos para la sedimentación primaria, pero los valores de los parámetros

de proceso difieren ya que el lodo biológico, en particular el conseguido con un proceso de oxidación total, es mucho más fino y ligero que el químico-físico.

- **Lagunas:** Son sistemas naturales de tratamiento que requieren grandes superficies de terrenos con tiempos de retención largos que les hace prácticamente insensibles a las variaciones de las cargas (Gutiérrez Díaz, J. y García Fernández, J. 2015). Las lagunas se pueden clasificar en tres tipos aerobia, anaerobias y facultativas, ver Figura14.

4.1.4. Tratamiento Terciario

Remueve contaminantes específicos, usualmente tóxicos o compuestos no biodegradables o aún la remoción complementaria de contaminantes no suficientemente removidos en el tratamiento secundario; a través de procesos físicos y químicos (Bustos, 2012; Merchán, 2015).



Figura 14. Procesos mediante lagunas(Fuente: <https://images.app.goo.gl/TxiuMWzb>)

Este tratamiento es más caro que los anteriores y en él se emplean procesos como: precipitación, intercambio iónico, adsorción, ultrafiltración, electrodiálisis, oxidación-reducción, desinfección, entre otras.

- **Precipitación:** Puede realizarse a través de varios procesos, por ejemplo: sales de hierro, el sulfuro se precipita como sulfuro de hierro y al mismo tiempo, se precipita el cromo y las proteínas.
- **Intercambio iónico:** Este proceso se utiliza tanto, para la extracción de disolventes sólidos en el agua, como para tratar la dureza de la misma, en donde un ión es sustituido o intercambiado por otro de la misma carga, para este tratamiento el agua debe estar libre de turbidez.
- **Adsorción:** Es el tratamiento donde un sólido por ejemplo carbón activo se utiliza para eliminar una sustancia soluble del agua.
- **Ósmosis inversa:** Este tratamiento se utiliza cuando se requiere de agua muy pura; se elimina todas las sales disueltas y sólidos en suspensión mediante una membrana en la cual el solvente (agua) es transferido a través de una membrana densa diseñada para retener sales y solutos de bajo peso molecular.

4.1.5. Otras tecnologías de tratamiento

- **Biorreactores de membrana (MBR):** Un MBR es básicamente una modificación del proceso de fangos activados, donde la separación del fango se realiza por filtración a través de un sistema de membranas en sustitución a la decantación secundaria (Iglesias Esteban, 2016).



Figura 15. Biorreactores de membrana (Fuente: <https://images.app.goo.gl/W6cMKDZ>)

Debido al rápido desarrollo de los sistemas de membranas, a los buenos rendimientos que presentan y a la reducción continuada de su costo, la aplicación de esta tecnología en la industria del curtido está en aumento. Presentan como ventaja sobre los sistemas tradicionales de biomasa en suspensión la alta concentración de sólidos volátiles en suspensión con los que se pueden operar reduciendo considerablemente la producción de lodos debido a los altos tiempos de retención de sólidos, además de la calidad del efluente, ver Figura 15 (Artiga, 2005).

4.1.6. Tratamiento de Lodos

Los lodos producidos por la planta depuradora (primarios, biológicos en excedencia y eventualmente terciarios) se deben deshidratar antes de su eliminación o reutilización final. La deshidratación de los lodos se efectúa principalmente para reducir los costos de las operaciones de transporte y eliminación (Metcalf & Eddy, 1995; Artiaga, 2005; Menéndez G. y Pérez O., 2007; Clonfero y Favazzi, 2006).

- **Espesamiento:** El espesamiento no es más que la concentración de los lodos a través de la reducción, por decantación, de su volumen. En particular, en las plantas grandes los lodos extraídos de los varios tanques de sedimentación a menudo se mezclan juntos y se espesan antes de deshidratarlos. El espesamiento se realiza en tanques espesadores, en la curtiembre, los más utilizados son los que pueden trabajar por gravedad, ver Figura 16.



Figura 16. Espesadores de lodos a gravedad (Fuente: <https://images.app.goo.gl/nPr8Vy84>)

- **Sistemas naturales de deshidratación:** Estos sistemas son viables sólo en zonas con clima caliente y seco. Cuando se dispone de espacio, los sistemas de secado de los lodos pueden representar una alternativa económicamente ventajosa. Los métodos más utilizados para la deshidratación natural de los lodos son: los lechos de arena y las lagunas de secado, ver Figura 17.



Figura 17. Lechos de secado de lodos (Fuente: <https://images.app.goo.gl/KUT>)

- **Deshidratación Mecánica:** Los filtros de placas de con cámara (filtro-prensas) son los equipos mayormente utilizados en curtiación para deshidratar los lodos, después vienen las centrifugas continuas (decanter) y los filtros de cintas continuas (cinta prensas), ver Figura 18.



Figura 18. Filtros prensa para lodos (Fuente <https://images.app.goo.gl/xDvSDxMq>)

La disposición final de los lodos residuales constituye sin duda alguna el mayor problema para las curtiembres, llegando a sobrepasar también el problema de la depuración de los efluentes. Hoy en día, el sistema de eliminación más utilizado sigue siendo la entrega a vertederos controlados, con costos que han ido subiendo año tras año.

4.2. Esquemas de tratamiento de aguas residuales de curtimbres

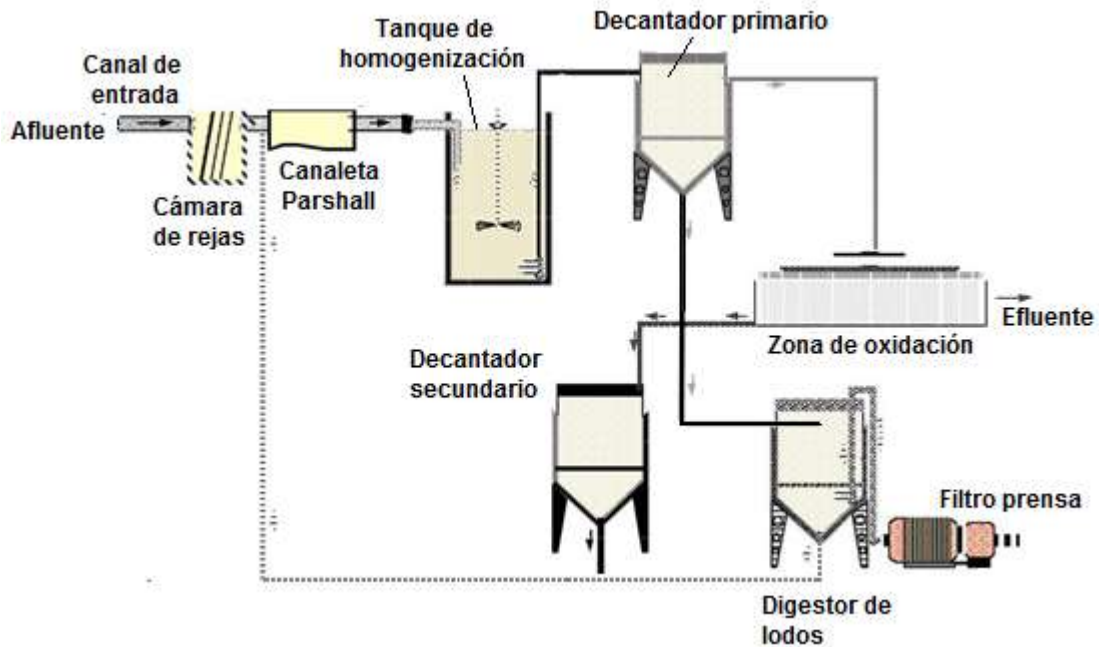
El caudal de desagüe de una curtiembre varía mucho durante la jornada laboral, según las fases del ciclo productivo. Si como sucede a menudo, aguas arriba de la planta existe un tanque de homogeneización, estas fluctuaciones son atenuadas y no influyen en el funcionamiento de la planta depuradora.

El caudal de tratamiento generalmente está controlado por la bomba de vertido desde el tanque de homogeneización. En efecto, el caudal de esta bomba gobierna todo el flujo a través de la instalación también porque, normalmente, después de este bombeo, el efluente pasa a los tratamientos siguientes por gravedad.

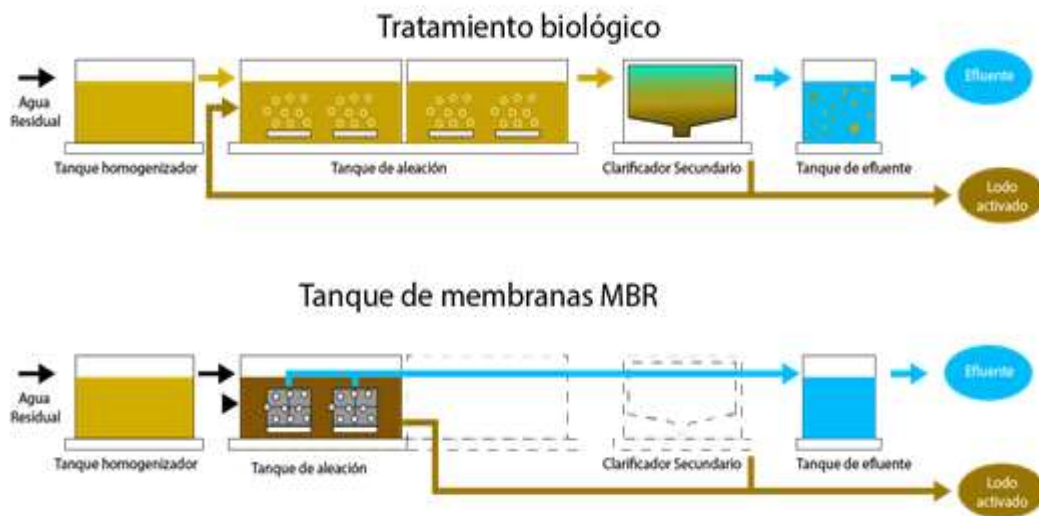
Una técnica muy utilizada en el tratamiento de las aguas residuales de curtimbres es la segregación interna de los desagües. Esto permite efectuar tratamientos separados de algunos baños o eventuales recuperaciones de baños, dentro de la curtiembre antes de introducirlos en el desagüe general.

En algunos países, las curtimbres de nueva construcción están obligadas a tener dentro de ellas dos canales separados para recoger los desagües de las secciones de ribera (alcalinos) y de las de curtición (ácidos). La finalidad principal de la segregación en dos líneas se debe a motivos higiénicos y sanitarios que se proponen evitar que de la mezcla de los dos tipos de efluente se desarrollen gases tóxicos (en particular H_2S) en el ambiente de trabajo. En las curtimbres al cromo se instala una tercera línea para el drenaje de los baños de fin de curtición que facilite su recuperación o tratamiento previo.

En la figura 19, se muestran esquemas típicos para el tratamiento de aguas residuales, con características similares a las aguas residuales de curtimbres, ver figura 19.



a) Esquema convencional con zanjas de oxidación



b) Comparación entre un esquema con tanque de oxidación y procesos de membranas, como se observa el tamaño del tanque de aireación disminuye y no se requiere del decantador secundario.

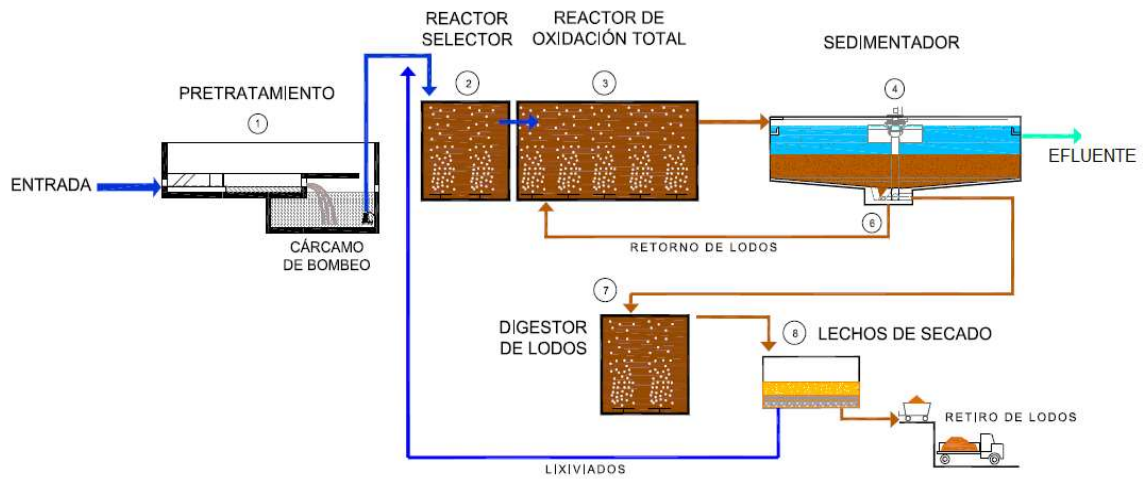


Figura 19. Diagramas de flujo para el tratamiento de aguas residuales industriales

Tratamiento de las aguas residuales en la mini tenería Santiago de Cuba

5.1. Antecedentes de la Inversión

La elaboración de Cuero, en su mayoría, es de ganado vacuno o porcino, lo que indica que su producción depende de la obtención de pieles procedentes de la matanza nacional de los mataderos industriales. Las distintas clases de cuero, proceden de animales muy diversos como: vacas, cabras, camellos, reptiles, peces, cerdos, sapos, conejos, y difieren en su estructura, propiedades y aspectos. Tienen muchas aplicaciones en zapaterías, modas, artesanías, deporte, implementos de seguridad, entre otras. En la inversión que se propone, la piel será de ganado vacuno, extraída del matadero de la empresa cárnica de la provincia de Santiago de Cuba.

La piel animal, está formada por una serie de capas de tejido epitelial y conjuntivo, de naturaleza fundamentalmente proteínica, y fuertemente hidratada (60-70%) y presentan características específicas como:

1. Pieles frescas o condicionadas con sal.
2. Las pieles frescas, por lo general, llegan sin ser lavadas previamente, por lo que traen consigo estiércol, tierra y suciedad.
3. Pieles procedentes de mataderos industriales.

A su vez, los insumos utilizados en el proceso de elaboración del cuero son sustancias químicas y/o naturales que permiten preparar la piel para el curtido y convertir la materia orgánica en inerte. La mayoría de las operaciones del inicio del proceso, se realiza con un consumo considerable de agua, que disminuye en la etapa de curtido y acabado, por lo que se requiere un control del gasto de agua para no incurrir en consumos excesivos.

La piel debe llegar a la Tenería en buen estado de conservación. Si el proceso de transportación desde el matadero a la tenería no es inmediato, hay que evitar la putrefacción para prevenir el deterioro de la flor y con ello la calidad del cuero.

En la provincia de Santiago de Cuba actualmente no existe este tipo de industria, solos algunos talleres artesanales que no cubren las demandas de pieles generadas por los mataderos.

Actualmente las pieles fundamentalmente del ganado vacuno, son trasladadas para otras provincias y en la mayoría de los casos muchas de estas se echan a perder por falta de elaboración, así como no se aprovechan las pieles exóticas.

Esta situación ha propiciado que la Empresa de Industria Locales de Santiago de Cuba “AUGE” subordinada al Consejo de la Administración Provincial, ubicada en San Gerónimo No. 306 entre San Félix y San Pedro, se proyecte en la apertura a nuevos mercados internacionales y la sustitución de importaciones, aspirando a la inversión de una tenería de procedencia China con tecnología de punta para el aprovechamiento de estas pieles convirtiéndolas en artículos elaborados con cuero como es el caso de monturas, cintos de seguridad, fundas para machetes y cuchillos y taburetes. Teniendo en cuenta, además, el efecto del impacto ambiental.

Uno de los grandes retos de la inversión es garantizar que los productos elaborados se mantengan en el mercado, y que responda a las exigencias de calidad y cantidad.

5.1.1. Objetivos, alcance y fundamentación de la inversión

El proyecto de Inversión tiene como objetivo: Potenciar las producciones en la preparación de la piel animal, para la rama de la talabartería, por medio del montaje de una tenería, para realizar producciones que puedan ser comercializadas con varios destinos de venta, a través de la utilización de grandes posibilidades de materias primas (piel), que brinda la empresa cárnica en el territorio, permitiendo sustituir importaciones, además la producción de diferentes artículos que utilizan el cuero como materia prima y son de alta demanda en el país.

La inversión por su naturaleza es de **construcción y de montaje**, por su destino es **productiva** y de acuerdo con la planificación y control **no nominal**.

Los costos de inversión están dados, por la construcción y el montaje, compra del equipamiento tecnológico y otros gastos necesarios, asociados al proceso inversionista.

El proyecto tiene como **alcance**, abastecer el mercado nacional e internacional con un nivel de producción de cuero, para la confección de monturas tejanas, fundas para machetes, fundas para cuchillos, taburetes y cintos de seguridad, que son productos de alta demanda, con la adecuada protección del medio ambiente.

5.2. Ubicación del área de estudio

El proyecto de la Mini tenería Santiago se emplazará, donde existe una antigua construcción que en algún momento se utilizaba para curtir de forma artesanal algunas pieles, ubicándose en la Carretera Vieja de El Cobre S/N, colindando con la Textilera Celia Sánchez Manduley. Actualmente estos locales y el terreno están sin ningún tipo de uso, y los mismos pertenecen a la Empresa Provincial de Industrias Locales AUGE.

Es un área topográficamente llana, cubierta por algunos árboles frutales y de otras especies, como fuente fluvial lo más cerca que se encuentra de la misma, es el río Los Guaos, cuyo cause está afectado por los vertimientos de residuales sólidos y líquidos de los pobladores que habitan en esa zona.

Colindante con esta área, además del Combinado Celia Sánchez, también habitan pobladores en un fondo habitacional en bastante mal estado.

El local de emplazamiento requerirá acciones constructivas de remodelación y ampliación, acorde al equipamiento a instalar, ver imagen 20.



Figura 20. Ubicación de la mini tenería Santiago de Cuba

5.3. Características del residual a tratar

Como ya se ha descrito anteriormente, en el procesamiento del curtido de pieles se utilizan una gran cantidad de productos químicos que en su mayoría van a parar a las aguas residuales, siendo de los más peligrosos el cromo tres, el cual, si se combina con el sulfuro, puede producir el cromo seis, siendo este muy tóxico.

Otra variante del proceso del curtido, se puede realizar sin recurrir al cromo; en este caso son utilizados ciertos tipos de productos naturales. En la tenería de Santiago de Cuba, se pretende realizar el curtido vegetal utilizando taninos (l es una sustancia extraída del tronco de los árboles, como el roble y el castaño.

Por tanto, se esperan efluentes muy diferentes, en cuanto a carga contaminantes. En la tabla 7 se muestra una comparación de estos residuales realizada por un estudio del PENUMA.

Tabla 7. Caracterización de las aguas residuales del para diferentes del proceso de curtido

Parámetro / tipo de curtido	Curtido vegetal (mg/l)	Curtido al cromo (mg/l)
DBO5	1.000	900
DQO	3.000	2.500
Sulfuro	160	160
Sulfato	2.000	2.000
Cloruro	2.500	2.500
Nitrógeno total	120	120
Aceites y grasas extractables con éter	200	200
Fósforo	1	1
Cromo ⁺³	-	70
Sólidos totales	10.000	10.000
Sólidos suspendidos	1.500	2.500
Ceniza total	6.000	6.000
Ceniza en sólidos suspendidos	500	1.000
Sólidos sedimentables (2h)	50	100
PH	9	9

En la tabla 8, se muestra un estudio realizado por Ramírez y Argota, donde caracterizaron un agua residual del procedentes del curtido de pieles del tipo vegetal.

Tabla 8. Caracterización de las aguas residuales procedentes del curtido vegetal

Parámetros determinados	U/M	Valor
pH	u	6 - 9
Conductividad eléctrica	mg/l	4000
Sólidos Sedimentables	mg/l	10
DQO	mg/l	700
DBO ₅	mg/l	300
Al	mg/l	<10
Cd	mg/l	<0.3
Cr	mg/l	<2.0
Co	mg/l	-
Cu	mg/l	<0.5
Fe	mg/l	-
Pb	mg/l	1.0
Mn	mg/l	-
Zn	mg/l	5.0
As	mg/l	<0.5
Hg	mg/l	0.01
Ni	mg/l	-
Be	mg/l	-
Sb	mg/l	-

Fuente: Ramírez, 2019

Como se puede observar las cargas contaminantes esperadas con este tipo de procesamiento son mucho menores que las que se reportan en la literatura.

Caudales a tratar

En el caso del volumen de aguas residuales esperado, la literatura plantea diferentes criterios en función del proceso productivo. Para el procesamiento con taninos, se propone el criterio que plantea que el procesamiento de 1kg de piel genera 10 litros de agua residual.

Según datos ofrecidos, la mini tenería Santiago tendría una capacidad productiva instalada 74000 kg. Piel/año, por tanto, se esperaría generar unos 740m³/año de agua residual, aproximadamente unos 3,05m³/d. para asegurar las variaciones de caudal en el proceso y poder procesar el caudal punta, se tomará como caudal de diseño 5,0m³/d.

5.4. Propuesta de esquema de tratamiento

El propósito de este trabajo, es proponer un esquema de tratamiento que me minimice la carga contaminante de las aguas residuales generadas en todos los procesos productivos, cumpliendo con las normas de vertimiento y de ser posible la reutilización de parte de estos residuales líquidos tratados de nuevo en dicho proceso.

La empresa AUGE, ha llevado a cabo algunas experiencias en el tratamiento de las aguas residuales que se generan en la fábrica de pintura de dicha empresa, donde se ha construido una pequeña planta para tratar esos residuales, ver figura 21



Figura 21. Planta de tratamiento de la fábrica de pintura ubicada en Boniato

En esta planta se ha utilizado como coagulante el Licor WL, el cual es un subproducto que se genera en la obtención de cobalto en la fábrica de Moa. Este desecho en la actualidad constituye un serio problema de contaminación en la zona.

Un trabajo de investigación llevado a cabo por Ramírez y Argota, donde se realiza un estudio de tratabilidad de los residuales líquidos de esta fábrica, demuestra la viabilidad de la utilización del Licor WL, ver figura 21.

- El mismo estudio fue realizado para los residuales procedentes de la Industria Cárnica de Santiago de Cuba, obteniéndose igualmente muy buenos resultados, ver figura 22.



Figura 21. Estudio de tratabilidad del residual de la fábrica de pintura
(Fuente: Ramírez y Argota, 2019)



Figura 22. Estudio de tratabilidad del residual de la Industria Cárnica
(Fuente: Ramírez y Argota, 2019)

Para cumplir con los objetivos propuestos se propone el siguiente esquema de tratamiento.

- A la salida del proceso de ribera con el objetivo de remover los pelos que genera y van a parar a las aguas residuales, se colocará un tamiz con orificios de 3mm de luz.
- A la entrada de la planta como pretratamiento se colocará una cámara de rejillas con barras separadas a 3cm.
- Luego un tanque desgrasador de flujo horizontal.

- Con el objetivo de homogenizar las variaciones de carga y caudal y promover un flujo fijo en el resto de los procesos, seguidamente se ubicará un tanque de homogenización de caudales. En este mismo lugar y aprovechando la agitación, se añadirá el coagulante a utilizar (WL).
- Seguidamente el residual pasará a un sedimentador cuyo propósito es sedimentar los sólidos y flóculos que se encuentran en suspensión.
- Antes del vertimiento, con la finalidad de mejorar las condiciones del residual, (remover olores, color y algunos químicos que se usan en el proceso) este pasará por un filtro de flujo descendente cuyo medio filtrante estará compuesto por minerales (carbón activado, zeolita, caliza), que servirá a su vez de intercambiador iónico.
- Finalmente, el efluente obtenido será vertido al río los Guao que pasa cerca de la zona.

En la figura 23 se muestra el diagrama de flujo del esquema propuesto.

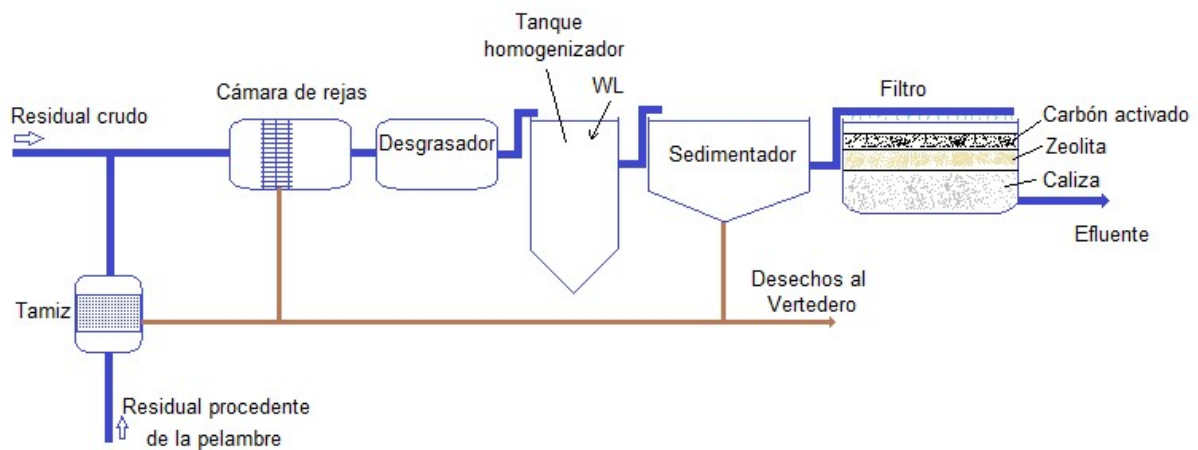


Figura 23. Diagrama de flujo del proceso de tratamiento

Conclusiones

- Se realizó una amplia búsqueda en la literatura referente al tema del tratamiento de las aguas residuales de la industria de curtumbre, donde se ha podido constatar que los procesos de tratamiento utilizados en este tipo de residual industrial, se basan en unidades de tipo convencional, aunque con algunas diferencias en la concepción de la planta.
- Se han utilizado otros tipos de procesos modernos como los biorreactores de membrana para el tratamiento de estos residuales. Además, se han realizado estudios en humedales artificiales.
- El esquema de tratamiento propuesto es viable, según las consideraciones observadas en la literatura referente al tema y en cuanto a la aplicación del WL como coagulante.

Recomendaciones

Se recomienda:

- Realizar estudios de tratabilidad del residual de curtimbres aplicando el WL como coagulante.
- Caracterizar el residual de curtimbre desde el punto de vista bacteriológico con la finalidad de evaluar su carga bacteriana.
- Si finalmente se construye este tipo de planta de tratamiento, se realice un estudio completo del proceso a fin de evaluar su eficiencia.

Bibliografía

- Artiga Acuña, Priscila. (2005). Contribución a la mejora del tratamiento biológico de aguas residuales de la industria de curtidos. Memoria presentada para optar al grado de Doctor. Universidad de Santiago de Compostela. España.
- Berganga, Fabio. (2011). Reconversión efluentes líquidos de curtiembre. Resumen Ejecutivo. Facultad de Ingeniería. Universidad de Buenos Aires. Argentina.
- Bustos Mecías, Inés P. (2012). Diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales de las etapas ribera y curtido para la tenería San José. Tesis de grado a la obtención del título de Ingeniero Químico. Facultad de ciencias. Escuela de Ingeniería Química. Ecuador.
- Clonfero, Giuseppe y Favazzi, Andrea. (2006). La depuración. En Los Cuadernos de Ingeniería del Curtido. ASSOMAC. Italia.
- CPML. (2008). Manual de buenas prácticas ambientales para el sector MIPYME – Tenerías. Centro de Producción más Limpia de Nicaragua y Unidad de Gestión Ambiental del Ministerio de Fomento, Industria y Comercio. Nicaragua.
- Fernández Lescano, Juan Bolívar. (2015). Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para optimizar el proceso de pelambre en la empresa “Curtipiel Martínez” Parroquia Izamba, Canton Ambato, provincia de Tungurahua.
- Fernández Lescano, Juan. (2015). Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para optimizar el proceso de pelambre en la empresa “Curtipiel Martínez”. Tesis presentada en obtención del Título de Ingeniero en Medio Ambiente. Unidad Técnica de Cotopaxi. Ecuador.
- García Muñoz, Oscar y Ramírez Rodríguez, Lissette. (2019). Evaluación de una propuesta para el sistema de tratamiento de aguas residuales de curtiembre y

- marroquinería F.B. Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Químico. Facultad de Ingenierías. Colombia.
- Gómez Acosta, Daviel. (2015). Propuesta de una tecnología para el tratamiento de residuales líquidos de la Tenería "Patricio Lumumba".
- Gutiérrez Díaz, J. y García Fernández, J. (2015). Manual de lagunas de estabilización. INRH. Cuba.
- Hidalgo Ruiz, Juan F. (2015). Diseño de una planta de tratamiento primario para las aguas residuales de curtumbre con base en flotación con aire inducido en un clarificador de platos inclinados. Proyecto para la obtención del título de Ingeniero Químico. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria Escuela Politécnica Nacional. Ecuador.
- Iglesias Esteban, Raquel. (2016). Biorreactores de membrana para la depuración y reutilización de aguas residuales urbanas. XXXIV Curso sobre Tratamiento de Aguas Residuales y Explotación de Estaciones Depuradoras. Centro de Estudios Experimentales CEDEX. España.
- Izquierdo Kulich, E.; Menéndez Gutierrez, C.; Morón Alvarez, C. (2002). Manual de trabajo para el diseño y evaluación de plantas de tratamiento biológico de aguas residuales. Centro de Estudio de Ingeniería de Procesos. ISPJAE. Cuba.
- Lais Fragela, Alejandro. (2016). Propuesta de Diseño de una Planta de Tratamiento Residual para la Tenería "Patricio Lumumba".
- Menéndez Gutierrez, C. y Pérez Olmo, J. (2007). Procesos para el tratamiento biológico de aguas residuales industriales. 2^{da} edición. Centro de Estudio de Ingeniería de Procesos. ISPJAE. Cuba.
- Merchán Viteri, Janeth C. (2015). Planta de tratamiento de efluentes para los procesos del área húmeda en la tenería INCA CIA. LTDA de la ciudad de Ambato. Proyecto de investigación, para obtención del título de Ingeniera Industrial en Procesos de Automatización. Facultad de ingeniería. Universidad Técnica de Ambato. Ecuador.

Metcalf & Eddy. (1995). Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento Vertido y Reutilización. 3ª edición. McGraw – Hill. España.

Pire Sierra, María C. Et al. (2011). Biodegradabilidad de las diferentes fracciones de agua residual producidas en una tenería. Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Vol. 21-2, pp 5 – 19. Colombia.

Ramírez López, José A. y Argota, Humberto. (2019). Propuesta de un sistema de tratamiento de los residuales líquidos y sólidos para la tenería Santiago. AUGE. Santiago de Cuba.