

## **Gestión ambiental del agua en las empresas de curtiembre**

**Autor principal:** José Agustín Peña Rodón

Institución: Departamento de Ingeniería Ambiental (Universidad del Tachira, Venezuela)

Teléfono: 00-58-276-3432856

E-mail: joseagustinpena@yahoo.com.

**Otros autores:**

## RESUMEN

El proceso que permite transformar las pieles frescas en cuero listo para ser manufacturado, se denomina Curtición, esta técnica ancestral pretende estabilizar la materia orgánica, inhibiendo sus procesos de descomposición; mediante una serie de etapas, en las que es necesario adicionar productos químicos que tienen consecuencias ambientales significativas, especialmente en los cursos de agua natural en los que son vertidos, razón por la cual, es necesario ampliar las investigaciones en este campo, así como difundir los conocimientos ya existentes.

El presente trabajo genera los lineamientos básicos que se deben seguir en las curtiembres con el fin de controlar, minimizar y en algunos casos eliminar sus impactos ambientales asociados al agua. El diseño metodológico planteado es de tipo descriptivo, de campo y documental, en el cual se recabó la información, "in situ", en trece (13) empresas de curtición, a las cuales se les aplicó un instrumento de recolección de información denominado "Cuestionario Ambiental", adicionalmente, en el transcurso de la investigación, fue seleccionada, como unidad de estudio, una de las mayores empresas del sector curtiembre venezolano, Tenería Rubio, ubicada en la población del mismo nombre, en la cual se hicieron sucesivas visitas y se recabó información ambiental detallada que permitió establecer las directrices de gestión ambiental del agua en las curtiembres; posteriormente se describió su proceso productivo y sus impactos ambientales, para luego comparar esta información con la documentación bibliográfica existente, se emitieron recomendaciones para mejorar la actuación ambiental en la actividad estudiada y se analizaron las principales tecnologías limpias o de bajo impacto ambiental que podrían ayudar en la solución de la problemática planteada.

A nivel de resultados, se logró describir el proceso productivo y sus impactos ambientales sobre los cursos de agua, identificando las etapas que presentan una mayor carga contaminante: Recepción, lavado y remojo, pelambre, descarnado mecánico, desencalado y curtición. Igualmente, se determinaron los principales efectos en el medio receptor: Disminución de los niveles de oxígeno, variaciones en el pH, alteración del equilibrio microbiológico, aumento significativo de los niveles de color, nutrientes, sales disueltas y turbidez del curso de agua receptor. Se plantearon mecanismos de minimización del impacto ambiental en las aguas, mediante un sistema tradicional de depuración de los efluentes líquidos, manejo y disposición final de lodos y residuos sólidos. Se hizo una propuesta metodológica de control del área ambiental de este tipo de empresas, enmarcada dentro de los requisitos establecidos por la Norma ISO 14.001, "Sistemas de gestión ambiental, requisitos, con orientación para su uso". Finalmente se analizaron las principales opciones tecnológicas de producción que pueden disminuir los niveles de contaminación de las aguas, entre las que destacaron la reutilización del cromo y el uso de productos químicos bajos en sulfuro para el desencalado.

**Palabras Clave:** Tenería; aguas residuales; gestión ambiental; cromo; curtición.

## **1. INTRODUCCION.**

El proceso que permite transformar las pieles frescas en cuero listo para ser manufacturado, se denomina Curtición, esta técnica ancestral pretende estabilizar la materia orgánica, inhibiendo sus procesos de descomposición, tanto aeróbicos como anaeróbicos; obteniendo un cuero con características de durabilidad, textura, flexibilidad y resistencia, adecuadas al uso que se le pretenda dar: marroquinería, tapicería, industria del calzado, entre otros.

El curtido de pieles bovinas, es consecuencia de una serie de etapas productivas, en las que es necesario adicionar productos químicos que tienen consecuencias ambientales significativas, entre los que cabe resaltar, las sales de cromo y el sulfato de amonio, dado que se transforman en compuestos contaminantes de las aguas de difícil degradación y generan gases como el sulfuro de hidrogeno y el amoniaco que son tóxicos y fácilmente se perciben en los alrededores de este tipo de empresa. Algunos de los potenciales impactos del proceso de curtición son ampliamente desconocidos (IE/PAC, 1994), en el presente trabajo se pretende señalar los principales, haciendo énfasis en los mecanismos de minimización y/o control de sus impactos ambientales, mediante el uso de tecnologías limpias o ecológicas.

En el caso venezolano, existe un número, no determinado con exactitud, de pequeñas y medianas empresas dedicadas al curtido de pieles, principalmente de origen bovino, algunas de ellas funcionan de manera artesanal y la mayoría no cuenta con la infraestructura necesaria para minimizar sus impactos ambientales, específicamente los relacionados con la contaminación de las aguas superficiales; con lo cual existe una clara violación de la Legislación Ambiental venezolana en general y específicamente del Decreto 883: "Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos".

El presente trabajo genera los lineamientos básicos que se deben seguir en las curtiembres con el fin de controlar, minimizar y en algunos casos eliminar sus impactos ambientales, específicamente los que representan una mayor importancia como es el caso de los asociados al agua. El diseño metodológico planteado es de tipo descriptivo, de campo y documental, en el cual se recabó la información, "in situ", en trece (13) empresas de curtición, a las cuales se les aplicó un "Cuestionario Ambiental", adicionalmente se seleccionó, como unidad de estudio, una de las mayores empresas del sector curtiembre venezolano, Tenería Rubio, ubicada en la población del mismo nombre, en la cual se hicieron sucesivas visitas y se recabó información ambiental detallada; posteriormente se describió su proceso productivo y sus impactos ambientales, para luego comparar esta información con la documentación bibliográfica existente, se emitieron recomendaciones para mejorar la actuación ambiental en la actividad estudiada y se analizaron las principales tecnologías limpias o de bajo impacto ambiental.

## **2. OBJETIVOS.**

El objetivo general consiste en desarrollar los lineamientos básicos que permitan lograr una gestión ambiental del agua adecuada a los requerimientos de las Empresas de Curtiembre.

Adicionalmente, se plantea:

- Dar una visión sobre los aspectos e impactos ambientales asociados al proceso de curtido de pieles.
- Generar los lineamientos básicos que se deben seguir en las curtiembres con el fin de controlar, minimizar y en algunos casos eliminar sus impactos ambientales, específicamente los que representan una mayor importancia como es el caso de los asociados al agua.
- Describir los principales métodos de control de la contaminación, haciendo especial énfasis en los sistemas de tratamiento de aguas residuales.
- Plantear una propuesta metodológica de control del área ambiental de este tipo de empresas, enmarcada dentro de los requisitos establecidos por la Norma ISO 14.001, "Sistemas de gestión ambiental, requisitos, con orientación para su uso"
- Identificar las principales opciones tecnológicas de producción que pueden disminuir los niveles de contaminación de las aguas.

### **3. METODOLOGIA.**

El diseño metodológico planteado permitió recabar información, en trece (13) empresas de curtición, ubicadas en el Estado Táchira, a las cuales se les aplicó un instrumento de recolección de información denominado "Cuestionario Ambiental", con el fin de identificar los aspectos e impactos ambientales de este tipo de organización; adicionalmente, en el transcurso de la investigación, fue seleccionada, como unidad de estudio, una de las mayores empresas del sector curtiembre venezolano. Un fundamento indirecto de la investigación realizada, pero esencial para el desarrollo del trabajo lo constituyeron las actividades académicas relacionadas con diversas asignaturas de pregrado y postgrado dictadas por el autor, como es el caso de Ecología y Contaminación Ambiental, Seguridad e Higiene Industrial, Auditorías Ambientales, Proyectos Ambientales; entre otras; así como la experiencia profesional, por más de dos años, como Asesor Ambiental, de la Empresa Tenería Rubio, todo esto, permitió presentar este proyecto de investigación al Programa de Ambiente y Eco-tecnología del Decanato de Investigación de la Universidad Nacional Experimental del Táchira, quien financió la ejecución del mismo.

### **4. LAS CURTIEMBRES: PROCESO PRODUCTIVO Y SUS IMPACTOS AMBIENTALES.**

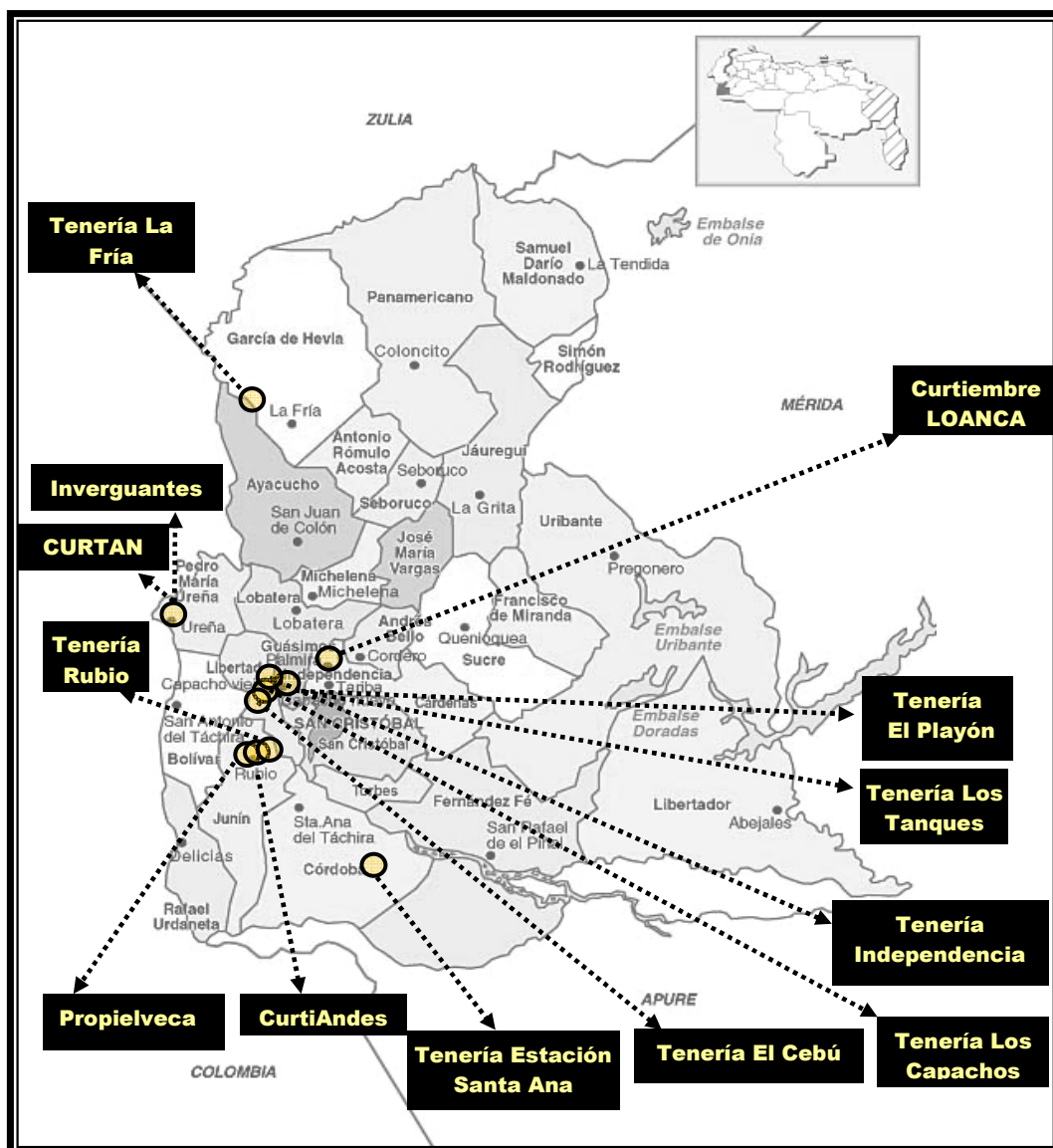
Para analizar el proceso de curtición desde el punto de vista ambiental es necesario describir y evaluar cada una de sus etapas, identificando plenamente las entradas y salidas de cada una de ellas y del proceso en general, señalando especialmente los productos, subproductos, desechos e insumos, incluyendo la materia prima, energía y otros recursos adicionales. Una herramienta que puede ser de gran ayuda es el balance de materia y energía, ya que mediante su desarrollo se pueden visualizar la igualdad cuantitativa de estos aspectos, así como calcular la relación costo beneficio entre las inversiones a realizar y los ahorros producto de las mejoras hechas. El análisis detallado del proceso productivo trae múltiples beneficios, que no solo se traducen mejoras ambientales sino que adicionalmente aumenta la eficiencia de la empresa y genera ahorros relacionados con la disminución de los residuos y desechos producidos, así como un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles. Esta concepción de tratar la problemática ambiental en conjunto con el fin fundamental de las empresas manufactureras, como es la producción, ha sido ampliamente difundida en los últimos

años por los principales organismos y empresas asesoras que desarrollan sus acciones en el área de gestión ambiental, como es el caso particular de la Organización ISO, la cual fomenta la normalización a nivel mundial y en los actuales momentos esta en vías de fusionar normas de calidad del proceso (Serie ISO 9.000) con normas de gestión ambiental (Serie ISO 14.000); mejorando ampliamente los elementos señalados.

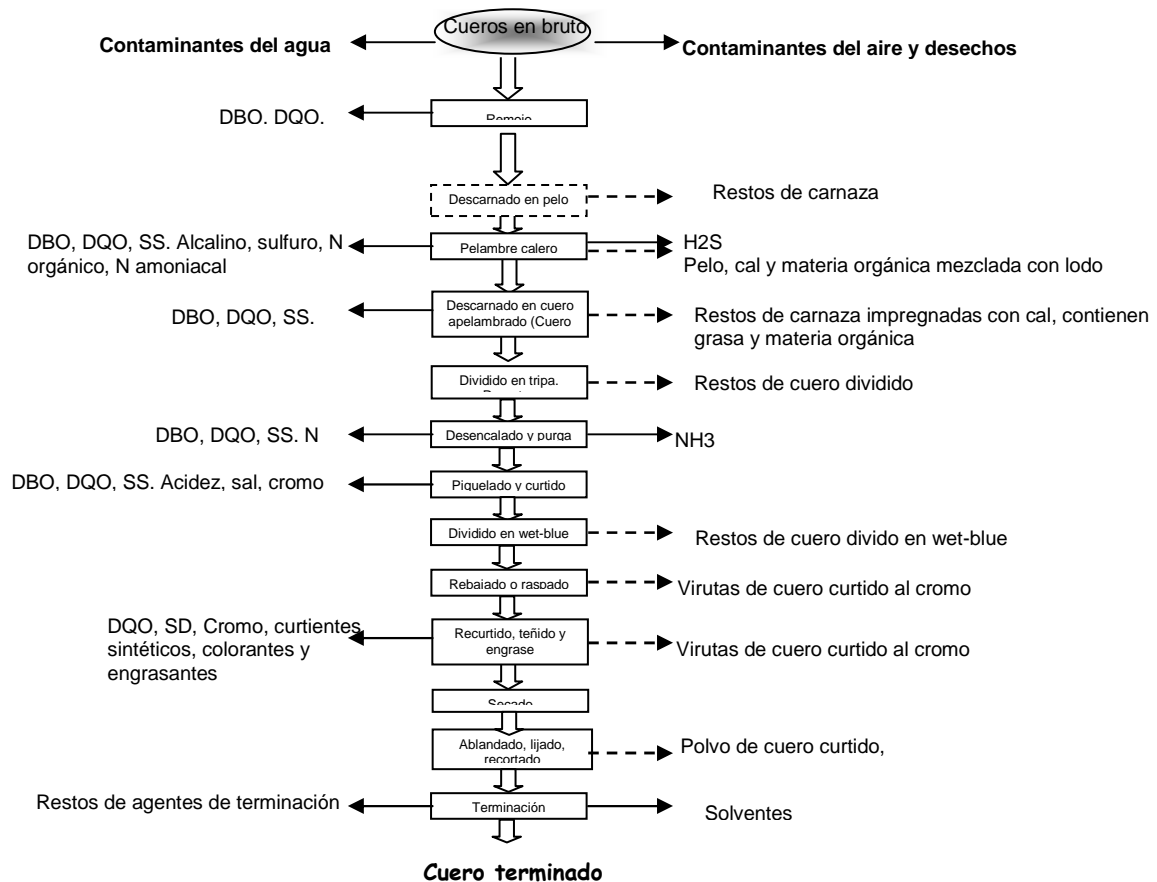
Al aplicar el cuestionario ambiental en las curtiembres señaladas en la Figura N° 1, se verificó que la totalidad de estas realizan un proceso productivo similar y las variaciones que puedan existir, no son significativas. El proceso que normalmente es seguido y sus principales emisiones y vertidos se muestran en la Figura N° 2. Este proceso, se inicia cuando los cueros frescos, llegan a las instalaciones de la curtiembre provenientes de mataderos industriales o municipales sin ningún tratamiento previo, salvo la eliminación de restos de carne y pellejos de mayor tamaño que estén adheridos. En algunos casos, cuando el tiempo entre la matanza y el procesamiento de los cueros se estima que será largo y que podrían iniciarse procesos de descomposición en los mismos, se le agrega sal, con el fin de inhibir la acción de microorganismos descomponedores, sean estos anaeróbicos o aeróbicos, eliminando la humedad de los mismos y su contacto directo con el aire que le rodea. Desde el punto de vista ambiental, es aconsejable procesar cueros frescos ya que los cueros “Salados” contribuyen a aumentar la cantidad de cloruros en las aguas residuales, parámetro regulado en la legislación ambiental venezolana y que genera un aumento de la salinidad en el medio receptor. El manejo de los cueros, normalmente se realiza de manera manual y representa una gran carga de trabajo físico para los trabajadores que lo realizan, puesto que el peso de cada pieza puede superar los 50 kilogramos, adicionalmente, es una labor que podríamos catalogar de poco higiénica ya que estos cueros generalmente vienen cubiertos de gran cantidad de materiales putrescibles. En la etapa de limpieza y remojo, se procura eliminar los restos de sangre, tierra y estiércol que normalmente vienen adheridos a los cueros. Para ello, los mismos se introducen manualmente en los “bombos” con agua, jabones y tensoactivos. En el caso de los cueros “Salados” esta etapa del proceso productivo cumple con la función adicional de humectarlos, ya que los mismos han perdido buena parte de su humedad debido a la acción de la sal sobre su superficie. Las descargas producto de esta etapa presentan niveles altos de materia orgánica, inorgánica, grasa animal y espuma, producto principalmente de la sangre, el estiércol y la tierra que viene adherido a los cueros, así como los productos de lavado (Jabones y tensoactivos industriales) de que se utilizan en los mismos.

La etapa de pelambre, consiste fundamentalmente en la inmersión de los cueros en baños de cal y sulfuro de sodio, con la finalidad de disolver el pelo y posteriormente extraerse en las aguas residuales, generando una alta carga orgánica. Posteriormente, sigue el descarnado mecánico o manual; la cual es una operación que tiene por objeto la eliminación de los restos de carne y grasa que sigan adheridos al cuero, para ello se utilizan, normalmente, máquinas especiales de rodillos metálicos con cuchillas en su superficie y en algunos casos un simple cuchillo afilado. Luego de la operación de pelambre, es necesario remover de los cueros, la cal añadida en esta etapa, para ello se lava el exceso en continuos baños denominados desencalantes, adicionalmente, se le agregan productos neutralizantes-desencalantes, como ácidos orgánicos, sulfato de amonio, bisulfito de sodio, melaza, etc. A continuación viene una adición de ácidos que permiten preparar químicamente los cueros para su posterior curtido, facilitando la entrada del curtiente al interior del cuero. Los ácidos que normalmente se utilizan son el fosfórico y el sulfúrico, con los cuales se reduce considerablemente el pH, obteniéndose valores en torno a 3,7., a esta etapa se le conoce con el nombre de piquelado.

**Figura N° 1**  
**Mapa de ubicación de las curtiembres analizadas**



**Figura N° 2**  
**Diagrama de flujo del proceso productivo en una curtiembre. Operaciones unitarias**



El curtido es una de las etapas críticas, desde el punto de vista productivo y ambiental y la misma impide la posterior degradación o descomposición del cuero inhibiendo la acción de los microorganismos responsables de ello. Para lograr esto, existen dos posibilidades, la primera, es mediante el uso de productos curtientes vegetales, específicamente taninos cuyo origen es natural y son biodegradables, con lo cual su impacto ambiental es menos perjudicial que con los otros tipos de curtientes, sin embargo, su uso presenta la desventaja de dar como resultado pieles de menor calidad a nivel de suavidad que las obtenidas por otros procedimientos. La segunda alternativa de curtición y que en la actualidad se utiliza en mayor medida, son los curtientes minerales, específicamente, el cromo trivalente, requiriéndose adicionalmente de elevados consumos de agua para poder realizar los baños curtientes. El procedimiento que normalmente se sigue, consiste en la preparación de soluciones de cromo en los botes o bombos, en los cuales se introducen los cueros, lográndose su estabilización y dando origen a un producto semielaborado llamado comúnmente "Wet Blue", cuya traducción literal sería "Azul húmedo", directamente relacionada con su coloración azul y su humedad, la que es necesaria para su conservación.

En la etapa de escurrido se persigue eliminar el exceso de agua de los cueros "Wet Blue", para ello se introducen en una maquina de rodillos de goma con bandas de materiales textiles, entre los cuales se aprisionan los cueros mediante una presión continua de los mismos, eliminando el líquido sobrante. En los casos en los cuales, la empresa no cuente con máquinas escurridoras, esta operación se puede realizar de

manera manual, simplemente colgando los cueros y dejando que escurra el sobrante de agua, sin embargo este tipo de escurrido interfiere y dificulta los niveles de calidad que se deseen obtener.

El dividido y rebajado es una operación que tiene por objeto cortar la piel longitudinalmente, separándole su parte interna llamada carnaza, la cual es utilizada para la manufactura de artículos que no requieren de finos acabados, como es el caso de guantes y delantales de uso industrial, forros internos de bolsos y calzado, etc. Posteriormente se eliminan las imperfecciones que puedan haber quedado del corte realizado en la operación anterior, para ello, los cueros se pasan por maquinas especiales de “lijado industrial”. En las operaciones de dividido y rebajado, se obtienen el calibre o grosor del cuero que es requerido por el cliente.

La recurtición, tintura y engrase son tres operaciones se realizan de manera conjunta, mediante la introducción de los cueros en “Bombos” en donde se le dan baños con productos vegetales, sintéticos, grasas, aceites y colorantes; todo esto con la finalidad de obtener un producto con características específicas de suavidad, color y elasticidad. Luego de lo cual, se procede a estirar las arrugas naturales de la piel, con lo cual se logra, adicionalmente, la eliminación del agua en exceso resultante del proceso anterior, mediante su paso por una maquina que se asemeja a una plancha, la cual transforma la humedad en vapor de agua. Posteriormente, cada cuero es colgado en una cadena de transporte lento en la cual termina el proceso de secado. Finalmente, los cueros son rehumectados y en algunos casos pasados por maquinas de ablandamiento mecánico, con lo cual se logra obtener tipos específicos de cueros, relacionados con su flexibilidad y dureza, dándole su acondicionamiento y acabados finales para definir las características finales del cuero, las cuales vienen dadas por los requerimientos de los clientes y las directrices de la moda mundial. Esto permite obtener cueros de diferentes tipos de colores, texturas, brillos, etc. Finalmente se realiza la medición de las piezas de producto terminado y se empaican y despachan a las empresas dedicadas a la manufactura del cuero, principalmente a la industria nacional del calzado. Un inventario de los principales insumos químicos utilizados en este sector productivo en la Tabla N° 1.

**Tabla 1**  
**Principales productos químicos utilizados en el proceso de curtición.**

<b>Etapas más representativas.</b>	<b>Principales insumos químicos</b>	
Lavado, pelambre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sulfuro de sodio</li> <li>• Hidróxido de sodio</li> <li>• Pesticidas</li> <li>• Tensoactivos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cal.</li> <li>• Carbonato de sodio</li> <li>• Cloruro de sodio (Sal)</li> </ul>
Curtido	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desengrasantes</li> <li>• Tensoactivos</li> <li>• Taninos</li> <li>• Formiato de sodio</li> <li>• Solventes</li> <li>• Cloruro de sodio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sulfato de cromo</li> <li>• Sulfato de amonio</li> <li>• Acido fórmico</li> <li>• Acido sulfúrico</li> <li>• Bisulfito de sodio</li> <li>• Productos enzimáticos (Croaron, Enzilon)</li> </ul>
Acabado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metil etil cetona</li> <li>• Metil butil cetona</li> <li>• Monoclorobencina</li> <li>• Kerosene</li> <li>• Butanol</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etilmercaptano</li> <li>• Etilbenceno</li> <li>• Ciclohexano</li> <li>• Acetato isobutílico</li> <li>• Acetato de butilo</li> </ul>

Fuente: Recopilación propia.

## 5. IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LAS AGUAS Y LAS ALTERNATIVAS DE MINIMIZACION.

En el primer bloque de etapas del proceso, específicamente en la recepción, lavado y remojo de cueros, pelambre, descarnado mecánico y desencalado, las fuentes generadoras de contaminantes van asociadas principalmente a:

- Sucio adherido a la superficie exterior del cuero, como por ejemplo: Estiércol, tierra, pasto, etc.
- Sangre y líquido linfático presente en el cuero, ya que su presencia además de ser indeseable para el proceso productivo, genera elevaciones en las cantidades de materia orgánica presente en las aguas residuales, manifestándose esta situación mediante un incremento en los niveles de algunos parámetros, específicamente la DBO<sub>5,20</sub> y los valores de nitrógeno amoniacal, entre otros.
- Pelo. En la etapa pelambre se elimina el pelo adherido al cuero, mediante la inmersión de los cueros en inmersión de los cueros en baños de cal y sulfuro de sodio, lográndose la dilución del mismo. Esto se traduce en un aumento significativo de la DBO<sub>5,20</sub> y los sólidos, especialmente los suspendidos.
- Grasa, producto de la dilución de diversos compuestos orgánicos que vienen adheridos a la parte interna de los cueros, principalmente pellejos y otras fibras.
- Cal, agregada en la etapa de pelambre con la finalidad de mantener el baño en un medio alcalino.
- Sulfuro, el cual es añadido en la etapa de pelambre y es un compuesto altamente tóxico en medio acuoso, ya que por su carácter reductor agota rápidamente el oxígeno disuelto en un medio acuático. De igual forma, un agua residual, con una alta concentración de sulfuro y pH menores a 10, desprende ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), el cual podría llegar a ser mortal en altas concentraciones.
- Alcalinidad
- Sales
- Tensoactivos, los cuales van asociados directamente al uso, en el proceso productivo de diversos detergentes y jabones, de origen sintético o natural, que manifiestan su actuación mediante la reducción de la tensión superficial del agua, generando espumas en el efluente.

Los elementos anteriormente señalados, se traducen en una mayor carga orgánica que influye en el funcionamiento de cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales y en la capacidad de auto-depuración de un ecosistema acuático. (THORSTENSEN, T 1994), señala, luego de múltiples análisis, que la carga contaminante asociada a la producción de una tonelada de cueros frescos se muestra en la Tabla N° 2.

**Tabla N° 2.**  
**Carga contaminante asociada a la curtición de una tonelada de cueros**

Contaminante	Valor promedio
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5,20</sub> )	50 Kg. / Ton
Demanda Química de Oxígeno(DQO)	10 Kg. / Ton
Sólidos Suspendidos	60 Kg. / Ton
Sulfuros	8 Kg. / Ton
Volumen Vertido	20 Kg. / Ton

Fuente: Thorstensen, T (1.994)

La solución específica a un problema de contaminación de un curso de agua va a depender del estudio y análisis profesional del caso particular, razón por la cual

únicamente se describirán algunas posibles alternativas con fines netamente didácticos e informativos.

Los tratamientos previos, en términos generales, tienen por objeto principal, eliminar los sólidos gruesos, para evitar problemas hidráulicos en los tratamientos posteriores. También es necesario medir los caudales de aguas residuales que se tratarán ya que dependiendo de estos, se establecerán los mecanismos y métodos de control, específicamente en lo relacionado a consumos de productos químicos, mantenimiento de equipos electromecánicos, tiempos de aireación etc. En el caso específico de las Curtiembres, es de vital importancia eliminar los sólidos gruesos, ya que buena parte de ellos está conformado por restos de cueros que tienen una alta carga orgánica que aumenta los costos y la dificultad del posterior tratamiento. Los equipos que normalmente se utilizan son las rejas, rejillas, tamices, separadores de grasas y desarenadores.

Las rejas las podemos clasificar según el tipo de sólido que pueden separar y el tipo de limpieza que se le realiza (Automática y manual), es el caso, que encontramos las rejas de gruesos con una separación entre los barrotes de entre 30 y 100 mm. y las rejas de finos con una luz entre 10 y 30 mm. (DIQA/US. 2002). Las rejas que normalmente son utilizadas en las curtiembres, están conformadas por barrotes metálicos introducidos en los canales de desagüe, con una separación de aproximadamente 2 cm. Es aconsejable instalar estas rejas de una manera fija, con el objeto de que no puedan ser retiradas por el personal obrero sin que realicen su respectivo mantenimiento. En algunos casos, se observa que es conveniente colocar una secuencia de rejas y rejillas en las cuales la separación de los barrotes valla disminuyendo secuencialmente desde unos tres (3) cm. a dos (2) cm. y luego a un (1) cm. esto se realiza, principalmente para evitar que los desperdicios que lleguen obstruyan rápida y repentinamente el paso de las aguas residuales, con lo cual se facilita su mantenimiento.

Los separadores de grasas y aceites, tienen por objeto principal la eliminación del caudal de agua residual, los sólidos finos que sean menos densos que el agua, especialmente las grasas y aceites. El proceso de flotación se puede dar mediante las condiciones naturales asociadas a la densidad del fluido y su peso específico o mediante una ayuda externa que se logra con la inyección de pequeñas burbujas de aire por medio de difusores de burbuja fina u otros equipos existentes en el mercado. La importancia de realizar esta operación, radica en el hecho de que las grasas y aceites pueden:

- Atascarse en los orificios de los tamices o filtros que se utilicen en etapas posteriores.
- Acumularse en forma de bolas de grasa en el homogenizador.
- Dificultar la transferencia de oxígeno molecular en el tratamiento biológico por haberse formado una película de aceite.
- Aumentar la carga orgánica que se tiene que disminuir en el tratamiento de las aguas residuales.

El equipo que normalmente es utilizado para la separación de estos agentes contaminantes, es la trampa de grasas y aceites; la cual permite el reposo del afluente y lo obliga a circular por la parte inferior del mismo, quedando retenidos los sólidos y líquidos flotantes en la parte superior del mismo. Este dispositivo, presenta la ventaja de tener asociados unos bajos costos de construcción, sin embargo su desventaja son los altos costos de operación, ya que es necesaria su limpieza manual diaria y su baja eficiencia.

Posterior al uso de rejas y rejillas, es común el uso de tamices, los cuales, por tener un entramado de menor área de paso, terminan por retener los sólidos, sin embargo, es necesario realizar actividades de mantenimiento rutinario con una frecuencia mayor, ya que se obstruyen con más facilidad que las rejas. Normalmente, los tamices están conformados por chapas perforadas o por telas metálicas ranuradas con pequeñas aberturas que van desde 0,5 mm. A 3,5 mm. (ACOLCUR, 2.004). Existen algunos modelos que se denominan autolimpiantes, debido a que utilizan agua a presión para despegar los sólidos que puedan haber quedado retenidos en las mallas. Estos equipos son muy eficientes, pero presentan las desventajas asociadas a sus costos de adquisición y de mantenimiento, así como la dificultad de adquirir sus repuestos, ya que la mayoría son importados.

La homogenización es un proceso que pretende lograr unas aguas residuales, con la menor variación posible en cuanto a volumen y calidad de las mismas; así como también oxidar el sulfuro de hidrogeno, presente en las aguas de la etapa de pelambre, mantener los sólidos en suspensión y corregir, en algunos casos los valores de pH. Su importancia radica en el hecho de que en las diferentes etapas del proceso productivo del curtido de pieles, las descargas de aguas residuales presentan características muy diferentes, en cuanto a sus componentes y cantidades. A modo de ejemplo, se puede señalar que las aguas de la etapa de pelambre son alcalinas y con altos contenidos de materia orgánica, mientras que en las últimas etapas de curtición son ácidas y presentan compuestos químicos diluidos como sales de cromo, entre otros. La situación antes descrita trae como consecuencia una difícil adaptación de los microorganismos del tratamiento biológico de esta agua. De igual forma los efluentes líquidos del proceso productivo no se realizan de manera continua, sino en intervalos muy variantes, razón por la cual se necesita tener una reserva de las aguas a depurar, que permitan realizar su tratamiento de forma continua. Los homogenizadores constan fundamentalmente de un tanque con una capacidad equivalente al volumen de aguas residuales de una jornada laboral y algún dispositivo de agitación y aireación como por ejemplo el sistema de soplador - aireador de burbuja fina o agitadores mecánicos superficiales, con lo cual se debe garantizar la mezcla completa de los efluentes de las diversas etapas del proceso productivo. Como medidas de control de operaciones, se recomienda:

- Nunca reducir el volumen de agua en el tanque homogenizador a valores menores al 30% de su capacidad total (Volumen de una jornada laboral). Con esto se logra amortiguar o disminuir los choques de carga y caudal producto de descargas puntuales.
- Dejar en funcionamiento constantemente, los equipos de aireación/agitación, independientemente de las cantidades de aguas residuales que les lleguen, esto con la finalidad que se creen condiciones sépticas que contribuyan a la generación de malos olores
- Mantener o acondicionar el pH a valores comprendidos entre 7,5 y 9,0 dado que entre estos valores se facilitan los procesos de precipitación en el tratamiento físico químico. El método de corrección del pH que normalmente se utiliza, consiste en la adición de una solución de cal (CaO), para el caso en que las aguas a tratar presentan valores de pH bajos.

Los tratamientos físico químicos, tienen dentro de sus principales objetivos la separación de los sólidos sedimentables y en suspensión existentes en las aguas que previamente han pasado por los tratamientos previos. Para lograr esto, se utilizan equipos e instalaciones diseñados para facilitar la mezcla, el reposo, la sedimentación de sólidos y la decantación de los mismos. Estos tratamientos se basan fundamentalmente en una

secuencia de procesos, específicamente: Coagulación, floculación, sedimentación y decantación; los cuales permiten “separar” gran parte de los sólidos con su respectiva carga contaminante del agua. Los sólidos en suspensión, mayoritariamente, están formados por pequeñas y microscópicas partículas llamadas coloides, las cuales generalmente presentan cargas electronegativas (DEGREMONT, 1979); lo cual genera unas fuerzas de repulsión entre ellas, que se manifiestan con un equilibrio que les impide sedimentar. La coagulación pretende neutralizar esta carga y facilitar la unión de estos coloides en sólidos de mayor tamaño llamados coágulos. Para lograr esto, es necesario la adición de productos químicos, específicamente sales de aluminio y sales de hierro; los más utilizados, debido principalmente a sus costos y a su eficiencia, son el sulfato de aluminio  $[Al_2(SO_4)_3]$ , sulfato ferroso  $[FeSO_4]$  y cloruro férrico  $[FeCl_3]$ .

Aún cuando los coágulos obtenidos en el proceso anterior, presentan un tamaño que permite visualizarlos sin ningún equipo adicional, en la mayoría de los casos, estos no pueden sedimentar por si solos, lo que hace necesario que se le añada un nuevo producto químico llamado floculante, el cual permite agrupar los coágulos en grupos de mayor tamaño, volumen y cohesión, facilitando su deposición en el fondo del dispositivo seleccionado para este proceso y su posterior decantación. La floculación, debería ser realizada en tanques de mezcla lenta, que eviten la ruptura de las agrupaciones de coágulos y facilite su engrosamiento. Los floculantes más utilizados son las moléculas de cadena larga, polímeros que pueden ser sintéticos o naturales, aniónicos, catiónicos o no iónicos (ACOLCUR, 2.004). La cantidad específica de coagulante y floculante que se utilizará por litro de agua a tratar, va a depender de la carga contaminante, la temperatura ambiental y la pureza del producto utilizado, entre otros aspectos a considerar. La concentración exacta, se determinará mediante la realización de un análisis experimental de ensayo y error denominado prueba de jarra, el cual consiste en tomar muestras representativas del agua residual y en condiciones de agitación y temperatura iguales, añadirle el coagulante y el floculante a diferentes dosis, con el fin de comparar los resultados del floculo obtenido, señalando su presencia o ausencia; sus características de peso, cohesión, volumen y capacidad de sedimentar. Una vez determinado cual es la dosis de coagulante y floculante que genera un floculo con mejores condiciones, esta se le aplica al efluente a tratar y se debería verificar cada día o en su defecto, cuando se observe que el agua no esta clarificando lo suficiente.

Una vez que ha concluido los procesos de coagulación y floculación, se hace necesario mantener la mezcla líquida en condiciones de tranquilidad durante un tiempo determinado, llamado tiempo de retención, con la finalidad de que actúe la gravedad y los sólidos se depositen en el fondo del equipo o instalación destinada a la sedimentación y posterior decantación de los lodos generados, también denominados lodos primarios, los cuales se deben tratar mediante operaciones y procesos que posteriormente se describirán. Cuando al efluente le han sido removidos los lodos primarios, se pueden obtener reducciones significativas en los valores de D.B.O., D.Q.O. y sólidos suspendidos de hasta 70%, 60% y 90% respectivamente, generándose un líquido parcialmente tratado llamado agua clarificada (ACOLCUR, 2.004). Algunos de los equipos que permiten desarrollar adecuadamente los procesos de coagulación, floculación, sedimentación y decantación, son los llamados decantadores físico químicos o de decantación primaria, los cuales pueden tener diversas formas geométricas que dependen de las características y tipo de agua residual a tratar, así como del diseño y eficiencia que se desee obtener. Su funcionamiento se basa en el principio físico que establece que los sólidos de mayor peso específico que el agua, tienden a depositarse en el fondo, cuando están en relativo reposo, mientras que los de menor peso específico

ascienden; con lo cual se facilita su separación físico mecánica. Existen múltiples tipos de decantadores físico químicos, pero los que normalmente son utilizados en este tipo de industria, son los circulares, rectangulares y laminares; sin embargo, hay otras posibilidades de diseño, las cuales dependen principalmente del diseñador y de sus criterios de cálculo y diseño. Pruebas experimentales han permitido estimar que un tanque de decantación primaria, posee una eficiencia de eliminación de sólidos suspendidos, entre el 50 % y el 70% y para la DBO<sub>5,20</sub> de entre el 25% y el 40% (METCALF & EDDY, INC. 1.998); sin embargo, estos índices pueden variar aun mas, debido principalmente al control de las operaciones de explotación del mismo, principalmente a lo relativo al manejo y formación del personal y del tipo de productos floculantes y coagulantes que se utilizan, incluyendo su calidad.

Los tratamientos biológicos se basan en la acción de seres vivos microscópicos que tienen la posibilidad de alimentarse de los residuos biodegradables presentes en las aguas residuales, transformándolos en tejido vivo o biomasa, es decir, en nuevos microorganismos. Aún cuando existan gran cantidad de microorganismos, no todos procesan los contaminantes biodegradables con la misma eficiencia, razón por la cual, en algunos casos, es necesario inocular una cepa madre, que contenga los que estén en mejores condiciones de adaptabilidad para que cumplan con su función; alimentándose principalmente, de los sólidos biodegradables presentes en las aguas residuales. Para las tenerías se recomienda que esta inoculación provenga de lodos de mataderos o de otras curtiembres, ya que se encuentran adaptados adecuadamente a los compuestos que le servirán de alimento.

Para favorecer estos tratamientos, los equipos o instalaciones que se diseñan, se basan en la satisfacción de las necesidades básicas de los microorganismos, en lo relativo a medio de sustento, temperatura, intervalo de pH, nutrientes esenciales y suministro o ausencia de oxígeno; con lo cual se pretende aumentar su tasa de crecimiento y por ende la disminución de la carga contaminante, principalmente en lo referente a los niveles de materia orgánica. En el caso específico de las curtiembres, es necesario, adicionalmente, a lo planteado previamente, eliminar o minimizar las cantidades de cromo que entren en contacto con este tipo de tratamiento, ya que este elemento inhibe la acción microbiana, llegando en algunas situaciones a suspenderla totalmente.

Las posibilidades de uso de equipos o instalaciones de tratamientos biológicos son múltiples, sin embargo algunos de los más utilizados son los siguientes:

- Lodos activados
- Reactores biológicos aireados.
- Biodigestores anaeróbicos.
- Lagunas de estabilización.

Uno de los principios básicos de depuración de aguas residuales consiste en la separación de los sólidos del agua; esto trae como consecuencia que sea necesario analizar detalladamente las operaciones y procesos que se le realizarán en la línea de agua y en la línea de lodos del sistema de tratamiento.

Los tratamientos que se le realizarán a los lodos, tienen por objeto principal, lograr su espesamiento, disminuyendo su humedad y transformándolos de una mezcla sólida acuosa a un material "relativamente seco", (5% de humedad), que pueda ser manejado con facilidad, mediante el uso de herramientas manuales comunes como palas, carretillas, etc.

La selección del tipo de tratamiento que se le dará los lodos, dependerá fundamentalmente de la capacidad de inversión de la empresa, del grado de humedad final que se desee obtener y el uso posterior que se le dará. Los principales sistemas de tratamiento son:

- Lechos de secado de lodos.
- Filtro prensa de bandas:
- Filtros de placas
- Espesadores de lodos
- Disposición directa al suelo.

Las cantidades de lodos producidos van a estar en función directa de los sólidos suspendidos y las características propias de la coagulación y floculación empleadas, incluyendo los tipos de productos químicos, equipos, operación y monitorización de los procesos.

Dependiendo de las condiciones específicas de la curtiembre que necesite depurar sus aguas residuales, pueden existir métodos y tecnologías alternativas que se podrían utilizar dependiendo fundamentalmente de aspectos relacionados con la carga contaminante unitaria, el caudal a tratar, el método productivo, nivel de producción, espacio disponible y recursos financieros.

Algunas de estas nuevas alternativas, son las lagunas de estabilización, disposición al suelo y evaporación del efluente, sin embargo, aunque las posibilidades planteadas pueden ayudar al saneamiento de los vertidos líquidos, es importante enfatizar que su uso independiente difícilmente logrará el cumplimiento de los límites exigidos por las autoridades, razón por la cual deberían estar acompañados de algunos tratamientos como los mencionados en las secciones previas y del uso de tecnologías limpias; quedando en manos del ingeniero responsable del diseño, la selección de estos tratamientos, así como las modificaciones del proceso que sean pertinentes.

## **6. LA GESTION AMBIENTAL Y LAS CURTIEMBRES**

Un sistema de gestión ambiental se define como todas aquellas herramientas que permiten a una organización, controlar las actividades, productos y procesos que causan o podrían causar impactos ambientales, (ROBERTS, H. 1.998). La implantación de un sistema de gestión ambiental dependerá de las condiciones específicas de la organización objeto del mismo; sin embargo, una guía fácilmente adaptable, la constituye la desarrollada por la Norma ISO 14.001, "Sistemas de gestión ambiental, requisitos con orientación para su uso", la cual no es la única alternativa, pero es la que presenta mayor difusión a nivel mundial debido fundamentalmente al respaldo de la organización ISO y a las posibilidades de aplicación a cualquier tipo de organización, sean grandes o pequeñas, de producción o de servicios.

Cuando se inicia un proceso de organización del área ambiental, es necesario obtener información, lo más detallada posible, sobre la realidad actual de la empresa desde el punto de vista ambiental y productivo, luego de lo cual, se pueden generar acciones que solucionen o minimicen la problemática encontrada; sin embargo, es recomendable que no sea únicamente una actuación puntual, sino por el contrario, sea un nuevo modelo de gestión de la empresa que siempre tenga presente al ambiente y su entorno, como parte

integrante de la misma. La norma ISO 14.001 plantea un modelo centrado en el principio de mejora continua, también utilizado en la normativa de calidad del producto (ISO 9.000) y de seguridad y salud ocupacional (OSHA 18.000). Este principio se basa en una secuencia de etapas, que a su vez tienen múltiples acciones o actividades, que conllevan a la planificación, implantación, comprobación y acción correctiva del sistema de gestión ambiental, para posteriormente, iniciar nuevamente el ciclo, con la planificación.

Cualquier organización, incluyendo las tenerías, cuentan con mayor o menor formalidad, con un sistema de gestión ambiental. Con esta afirmación nos referimos a todas sus herramientas, actividades, acciones, procedimientos, valores y principios de relevancia ambiental; que aplica rutinaria o esporádicamente. Aún cuando la mayor parte de las organizaciones no lo han formalizado, ni plasmado; es aconsejable que realicen periódicamente su revisión y en la medida de sus necesidades y posibilidades lo registren o certifiquen en caso de que el análisis de los costos y beneficios producto de esta certificación indiquen que es conveniente.

En la etapa de planificación del sistema de gestión ambiental, se pretende diagnosticar la situación ambiental actual de la organización, así como comprometerla con una adecuada y cada vez mejor actuación ambiental. Es importante que en esta etapa se verifique el grado de compromiso de los responsables directos de la empresa, ya que la ejecución y aplicación del sistema de gestión ambiental conlleva una serie de decisiones, inversiones y actuaciones que seguramente implicarán cambios en los modelos gerenciales llevados hasta ese momento. Igualmente se debe plantear la visión de futuro, desde el punto de vista ambiental, de la Organización y la forma mediante la cual pretende lograrlo, así como el grado de cumplimiento de la legislación ambiental. Entre los tópicos que son necesarios para el correcto desarrollo de esta etapa, se deben destacar:

- Revisión ambiental inicial.
- Análisis y registro de los aspectos e impactos ambientales de la empresa.
- Política ambiental.
- Análisis y registro de la legislación ambiental directamente relacionada con las actividades de curtiembre.
- Objetivos y metas ambientales por cumplir.
- Programas de gestión ambiental.

El desarrollo de la etapa de implantación del sistema de gestión ambiental, comprende todos aquellos elementos que permitirán lograr los objetivos de la visión ambiental de la Organización, así como mejorar la actuación ambiental de la misma. Los puntos que es necesario desarrollar en esta etapa, para estar acorde con lo establecido en la Norma ISO 14.001 son los siguientes:

- Estructura y responsabilidades relacionadas al área ambiental.
- Establecimiento de los procedimientos ambientales.
- Desarrollo de un plan de formación y concienciación ambiental.
- Ejecución de un plan de comunicación ambiental, tanto en lo interno como en lo externo de la empresa.
- Elaboración del manual de gestión ambiental.
- Implantación de sistemas de control de la documentación y de las operaciones directamente relacionadas con el área ambiental.
- Preparación y respuesta ante emergencias.

En la etapa de comprobación y acción correctiva, comprende los siguientes puntos:

- Plan de monitoreo y medición de los parámetros ambientales.
- Registro y corrección de las no conformidades con el sistema de gestión ambiental.
- Registro de los parámetros ambientales de la empresa.
- Ejecución periódica de auditorías del sistema de gestión ambiental.

La última etapa del sistema de gestión ambiental, la comprende la revisión por la gerencia del mismo, la cual comprende un auto-análisis de la organización y de su actuación ambiental, así como las alternativas de corrección, con el fin de enmarcar el área ambiental en los principios de la mejora continua.

## 7. ALTERNATIVAS DE PRODUCCION LIMPIA EN CURTIEMBRES

En este tipo de organización es importante que la solución de los problemas ambientales, en la medida de las posibilidades económicas y técnicas de la empresa, se de a nivel de procesos y operaciones propias de la misma, dejando como última opción las soluciones de final de línea, es decir las que obligatoriamente tienen que eliminar los contaminantes, siendo preferible el uso de alternativas tecnológicas de producción que eviten su generación. Las principales tecnologías estudiadas fueron:

- Mejoras en el control y eficiencia en el proceso de curtido, estandarizando y ensayando las dosis de producto químicos curtientes (Sales de cromo) para las cuales exista un mejor nivel de agotamiento, es decir, que las cantidades de cromo residual sean las mínimas en las aguas residuales vertidas luego de los baños de curtición. Algunas recomendaciones sobre este particular, serían las de alargar la duración de los procesos, seleccionar curtientes y colorantes que presenten buena afinidad con el cuero y variar los valores de pH y temperatura de los baños a niveles que optimicen el agotamiento del producto.
- Desencalado con CO<sub>2</sub>, evitando el uso de sales amoniacales. Ambientalmente es una buena solución que permite la disminución de nitrógeno amoniacal en el efluente, pero su implantación representa costos que es necesario evaluar y ponderar en una relación costo beneficio.
- Favorecer el curtido vegetal, con respecto al mineral.
- Para el caso de empresas que trabajen con cueros salados es recomendable la eliminación mecánica de la sal.
- Reciclaje de los baños de curtido al cromo, mediante la precipitación de este compuesto y su posterior uso.
- Reducción del consumo de agua mediante campañas de concienciación en el personal encargado de las operaciones de producción.

## 8. CONCLUSION

Luego del análisis realizado a las empresas señaladas y al proceso productivo por ellas desarrollado, se puede concluir que esta actividad representa graves impactos ambientales para los cursos de agua receptores de los efluentes líquidos, en los casos en los cuales no existe sistema de tratamiento o esté es realizado de forma incompleta o incorrecta. Sin embargo, es necesario divulgar ampliamente las alternativas tecnológicas que permitan lograr una adecuada gestión ambiental de agua, como es el caso de los sistemas de tratamiento de aguas residuales y las opciones denominadas “tecnologías limpias” o de bajo “impacto ambiental”; todo esto con la finalidad de que se continúe desarrollando esta técnica ancestral, pero enmarcada en los principios del desarrollo sostenible.

## 9. BIBLIOGRAFIA

- IE/PAC. INDUSTRY AND ENVIRONMENT PROGRAMME ACTIVITY CENTRE (1994). Tanneries and the environment: A technical guide to reducing the environmental impact of tannery operations. United Nations Environment Programme. (UNEP). Paris, France.
- THORSTENSEN, T (1994). Fundamentals of pollution control for the leather industry. United Nations Environment Programme. (UNEP). Paris, France.
- DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA Y AMBIENTAL. ESCUELA SUPERIOR DE INGENIEROS DE SEVILLA. UNIVERSIDAD DEL SEVILLA (DIQA/US.), (2002). Tecnología del Medio Ambiente. Sevilla, España.
- ACOLCUR. ASOCIACION COLOMBIANA DE QUIMICOS Y TECNICOS DE LA INDUSTRIA DEL CUERO. (2004) Tratamiento de efluentes de curtiembre y tecnología limpia. XI Encuentro Nacional de Químicos y Técnicos de la Industria del Cuero.
- DEGREMONT, DEPURACION DE AGUAS. (1.979). Manual Técnico del Agua, Cuarta Edición. Editorial Grafo, S.A. Bilbao, España.
- METCALF & EDDY, INC (1.998). Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Tercera edición. Editorial MacGraw-Hill. Madrid, España.
- ROBERTS, H. ROBINSON, G. (1.998) ISO 14001. EMS. Manual de sistema de gestión medioambiental. Editorial Paraninfo, Madrid, España.