

## Capítulo 8

### Otras medidas de producción más limpia: Valorización de residuos

En una curtiembre típica, para procesar 1,000 kg de piel salada húmeda, se agrega, en promedio, alrededor de 450 kg de diferentes reactivos químicos. Concluido el proceso, se tiene cerca de: 255 kg de cuero acabado; 40 kg de solventes emitidos a la atmósfera; 380 kg de residuos sólidos y líquidos que contienen reactivos químicos, y 135 kg de agua eliminada por la piel.

En este contexto, si bien las medidas de PML, descritas en el capítulo 6, disminuyen el consumo de insumos (agua, energía, materia prima y reactivos químicos), la gran cantidad de residuos que inevitablemente se genera, exige aplicar medidas que permitan valorizar los residuos. Cabe hacer notar que la valorización de residuos será más fácil, si los flujos de dichos residuos no han sido mezclados, es decir que se los ha mantenido segregados, desde su generación.

Estas medidas de valorización también permiten reducir tanto el volumen como la carga contaminante del efluente industrial, por lo que, en caso de ser necesaria la instalación de una planta de tratamiento final, ésta será de menor capacidad, y, por consiguiente, los costos de adquisición y los gastos de operación, serán menores. En general, según datos recabados por el CPTS, se estima que, en Bolivia, una planta de tratamiento final de efluentes líquidos, tiene un costo anual de operación (mantenimiento, reactivos químicos, electricidad, etc.) que fluctúa entre el 10 y el 15% del monto que se requiere para su instalación. Adicionalmente, la aplicación de medidas de valorización permite dar un valor económico a los residuos.

Por lo tanto, antes de implementar cualquier sistema de tratamiento final, se debe agotar todas las opciones de PML incluyendo la valorización de residuos.

#### 8.1 Valorización de aguas residuales

Como se mencionó anteriormente, si bien es importante reducir las cargas contaminantes como la materia orgánica, el sulfuro y el cromo en los efluentes segregados, es también importante valorizar los residuos remanentes. Existen varios métodos disponibles para este objetivo, de los cuales, en esta sección, se explica uno de los más empleados para valorizar las aguas residuales, la que está dando buenos resultados en curtiembres de diferentes países<sup>27</sup>.

##### A. Explicación de la medida

###### a. Segregación de efluentes

En las curtiembres se generan dos tipos principales de efluentes líquidos: los ácidos y los básicos. Éstos deben mantenerse segregados para su procesamiento, antes de ser mezclados en el efluente final.

La importancia de evitar la mezcla de estos efluentes radica en que:

- los efluentes básicos provenientes del pelambre, que contienen sulfuro, al ser neutralizados con efluentes ácidos provenientes del piquelado, darán lugar a emanaciones de sulfuro de hidrógeno, cuya cantidad y peligrosidad dependerá de la concentración del sulfuro y del pH de la mezcla.
- la segregación de efluentes facilita la recuperación de residuos en forma de productos útiles y a que éstos tengan una mayor pureza.

---

<sup>27</sup> Existen sistemas más sofisticados, pero también más complicados y costosos, como los tratamientos biológicos aeróbicos y anaeróbicos p.e. lodos activados, filtros biológicos, biodiscos y lagunas aeróbicas y anaeróbicas. El gas metano generado en los tratamientos anaeróbicos, podría utilizarse como combustible, sin embargo su aprovechamiento no es muy práctico para las curtiembres.

1. *Efluentes básicos*: Proviene del pelambre, que es la operación más contaminante de una curtiembre. Los efluentes del pelambre contienen cantidades relativamente altas de materia orgánica (proteínas, básicamente queratina, y grasas suspendidas) e inorgánica (sulfuro de sodio, cloruro de sodio e hidróxido de calcio). En el efluente final, contribuyen substancialmente con la carga contaminante, ya que representan entre 41 y el 64% de los sólidos suspendidos, 48 y 53% de la DBO, 48 y 53% de la DQO, 48% del nitrógeno total y 95 y 97% del sulfuro /13/.

Los datos que se presentan en el Cuadro 8.1, sobre cantidades típicas de sulfuro utilizadas en la operación de pelambre y descargadas en el efluente, muestran que entre el 50 y el 80% del sulfuro introducido en el pelambre es descargado al efluente.

**Cuadro 8.1:** Concentración de sulfuro en la solución de pelambre (con destrucción de pelo) y en el efluente sin tratamiento alguno<sup>28</sup>

Fuente	Sulfuro en pelambre [kg S <sup>2-</sup> /t piel]	Sulfuro en el efluente [kg S <sup>2-</sup> /t piel] <sup>(1)</sup>	% Agua <sup>(2)</sup>
W. Frendrup/5/	8.0	5	--
J. Ludvick /13/	3.7	3	200
T. Thorstensen/14/	6.2	3-5	100

Fuente: Elaboración del CPTS en base a las referencias citadas.

(1) El sulfuro restante desaparece en su mayoría por oxidación en el fulón y por el consumo en la operación de depilación. Cantidades menores se pierden con el pelo, carnazas y retazos de piel.

(2) Porcentaje sobre el peso de la piel.

2. *Efluentes ácidos*: Proviene del piquelado, curtido y recurtido, además de escurrimientos del cuero en las operaciones de post-curtido. Estos efluentes tienen un pH relativamente bajo (2.8 a 4), contienen cromo, además de sales y agentes recurtientes. De estos insumos, el cromo es el elemento contaminante más importante que debe ser eliminado del efluente. Por lo general, entre el 70 - 80% del cromo que es ofertado en el baño de curtido queda retenido en la piel y el 20 - 30% restante es descargado al efluente.

**b. Separación de sólidos gruesos** (aplicable luego de cualquier operación húmeda).

Para prevenir posibles daños en las bombas, así como inconvenientes en el filtrado (ver siguiente paso), los sólidos gruesos deben ser retenidos a la salida del fulón para evitar su incorporación al efluente. Ello puede conseguirse instalando rejillas en todos los canales (ver Figuras 8.1 y 8.2).

**Figura 8.1:** Rejillas en medio de las canaletas



Foto CPTS

**Figura 8.2:** Rejillas sobre las canaletas



Foto CPTS

<sup>28</sup> En el Anexo B se presenta las fórmulas para calcular el porcentaje de Na<sub>2</sub>S presente en función de la cantidad de S<sup>2-</sup>

**c. Filtrado** (aplicable luego de cualquier operación húmeda). **Figura 8.3:** Tamiz inclinado

Mediante una bomba, los baños deben enviarse a un tamiz inclinado para remover los sólidos suspendidos.

Este tamiz puede estar hecho de un marco de madera y una tela de material sintético (el nylon se usa para soluciones básicas; el poliéster para ácidas y el polipropileno para ambas), y debe ser colocado en forma inclinada (ver Figuras 6.9, 6.10 y 8.3).

A continuación del tamiz, sólo en caso necesario, se puede instalar una trampa de aceites y grasas, con un tanque de sedimentación, para asegurar la separación de grasas.

Los baños residuales de pelambre se filtran separados de los de piquelado, curtido y recurtido, por las consideraciones antes explicadas.



Curtiembre CURMA (Foto CPTS)

**d. Oxidación del sulfuro (S<sup>2-</sup>)** (aplicable a los efluentes de pelambre).

Una vez que los efluentes del pelambre han pasado por el tamiz, y una buena parte de los sólidos suspendidos ha sido removida, el sulfuro contenido en estos líquidos debe ser oxidado. Dependiendo del tipo de oxidante y del pH de la solución, el sulfuro puede ser oxidado a sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), tiosulfato (S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup>) o azufre elemental (S).

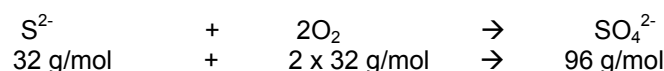
La oxidación puede llevarse a cabo de diferentes maneras. El método más común empleado es la aeración, que se detalla más adelante. Existen también otros métodos químicos y biológicos más sofisticados, pero no son muy usuales en las curtiembres /5/ y /6/. La selección de una u otra alternativa debe ser estudiada en mayor detalle por la curtiembre.

Es importante recalcar que para prevenir la formación de sulfuro de hidrógeno, gas venenoso, durante la oxidación del sulfuro, el pH de la solución debe mantenerse por encima de 10.

*Oxidación por aeración*

Los sistemas de oxidación por aeración utilizan el oxígeno del aire como agente oxidante<sup>29</sup>. Al ser el oxígeno un gas relativamente poco soluble en agua, es necesario reponer el oxígeno a medida que se consume, para mantener una concentración de oxígeno adecuada y permanente en solución. Para ello, es necesario incrementar la velocidad de disolución del oxígeno, lo que se logra aumentando la superficie y el tiempo de contacto de las burbujas de aire con la solución, mediante la producción de burbujas de aire, cuyo tamaño sea lo más pequeño posible.

Para oxidar el sulfuro a sulfato la cantidad estequiométrica (teórica) de oxígeno requerida es de 2 g O<sub>2</sub>/g S<sup>2-</sup>, de acuerdo a la siguiente reacción:



Sin embargo, en la práctica, la dosis de oxígeno necesaria es mucho mayor, dado que depende de varios factores, como la concentración del sulfuro, la temperatura, la eficiencia del sistema de

<sup>29</sup> El aire está compuesto principalmente por ~79% de nitrógeno (N<sub>2</sub>) y ~21% de oxígeno (O<sub>2</sub>).

aeración (tamaño de las burbujas y tiempo de contacto)<sup>30</sup>. Éste último, en el mejor de los casos, puede estar entre 25-30%, /14/. Por este motivo, los sistemas de aeración (ver más adelante) deben ser lo más eficiente posible para reducir los tiempos, uso de insumos y facilitar la oxidación.

El tanque de aeración debe tener normalmente el doble del volumen de los efluentes a tratar, a fin de evitar rebalses debido a la formación de espuma, pero podría reducirse su tamaño si se utiliza un agente antiespumante. El tiempo de reacción puede reducirse considerablemente agregando un catalizador, generalmente sulfato de manganeso ( $MnSO_4$ ), en cantidades que fluctúan entre 0.5 y 1 kg por cada  $m^3$  de agua residual a tratar /14/. La cantidad óptima del catalizador debe obtenerse a través de pruebas en cada curtiembre.

Para comprobar que todo el sulfuro ha sido oxidado, se puede realizar una prueba simple. A una muestra de la solución oxidada, se adiciona un poco de sal de cobre (II), por ejemplo sulfato de cobre (cristales de color celeste), disuelta en agua. Si hay presencia de sulfuro, éste precipitará como sulfuro de cobre, de color negro (turbio); de lo contrario, no habrá precipitado. Para realizar una determinación cuantitativa del sulfuro remanente en la solución, puede realizarse una titulación con yodo (ver el Anexo H).

Es necesario recordar que, para establecer las condiciones de trabajo óptimas, es imprescindible realizar pruebas piloto antes de la implementación a nivel industrial.

En los sistemas más comunes y sencillos, el aire, proporcionado por un compresor, es introducido desde el fondo del tanque de aeración, a través de una tubería o de una placa perforada, cuyos orificios tienen un diámetro pequeño (alrededor de 0.5 mm). Por lo general, estos sistemas no son muy eficientes, ya que requieren demasiado tiempo para alcanzar una oxidación completa del sulfuro.

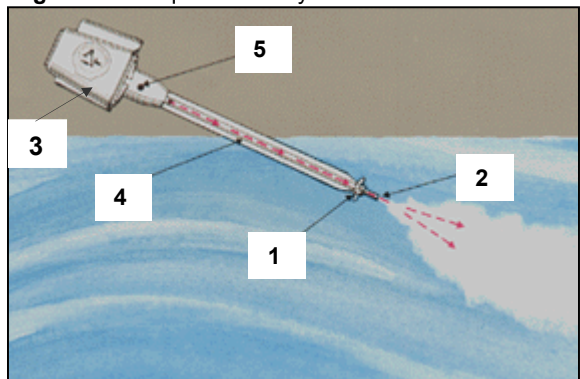
Los equipos de aeración más eficientes son aquellos que logran la formación de micro burbujas, las cuales incrementan la superficie y el tiempo de contacto entre el aire y la solución. Entre los más empleados están los inyectores de aire, discos de aeración y difusores tipo venturi<sup>31</sup>.

- Inyector de aire, (Figuras 8.4 y 8.5): Según se describe en el esquema de la Figura 8.5, está compuesto por un motor eléctrico (N° 3), el cual se halla por encima de la superficie del agua y lleva acoplado un eje hueco (N° 4), en cuyo extremo inferior posee un tubo eyector (N° 2) y una pequeña hélice (N° 1). El empuje sobre el líquido que genera la hélice al girar a gran velocidad, crea un vacío que succiona aire por un orificio (N° 5) y lo hace pasar a través del eje hueco, dispersándolo y eyectándolo en el seno del líquido en forma de finas burbujas.

Figura 8.4: Inyector de aire



Figura 8.5: Esquema del inyector de aire



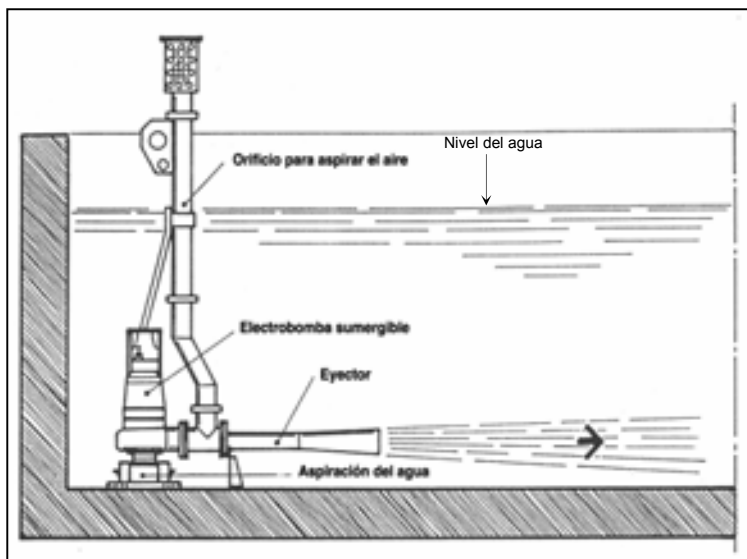
Fuente: Aeration Industries International: [www.aireo2.com](http://www.aireo2.com)

<sup>30</sup> La eficiencia del sistema de aeración, se define como la relación entre la cantidad de oxígeno que ha reaccionado respecto al oxígeno que se ha insuflado.

<sup>31</sup> Para mayor información consultar: [www.aireo2.com](http://www.aireo2.com) y [www.flygt.it](http://www.flygt.it)

Otro mecanismo de aeración, tipo inyector de aire, es el denominado “Flo Get” (Figura 8.6): está compuesto de una electrobomba sumergible y un tubo venturi. Usa también el principio de eyección de agua para aspirar aire (venturi), mezclándolos en una zona muy turbulenta y generando burbujas finamente divididas que se dispersan en el líquido.

Figura 8.6: Aerador tipo “Flo-Get”



Fuente: Flygt [www.flygt.it](http://www.flygt.it)

Figura 8.7: Disco aerador



Fuente: [www.snatural.com.br](http://www.snatural.com.br)

- Discos de aeración (Figura 8.7): son discos de cerámica porosa, por los que pasa el aire, produciéndose microburbujas. Varios de estos discos se colocan en el tanque de oxidación, para asegurar una buena generación de microburbujas y así aumentar la superficie de contacto entre el agua y el aire.
- Difusor en cruz con movimiento giratorio (Figuras 8.8 y 8.9): es un sencillo equipo diseñado por el CPTS, donde el aire es inyectado por el eje de un difusor compuesto de cuatro tubos delgados de acero dispuestos en forma de cruz, los que llevan pequeñas perforaciones (0.1 mm) por donde salen microburbujas. Las perforaciones del tubo de acero están ubicadas a lo largo de una línea, apuntando en dirección horizontal (sobre el plano formado con el próximo tubo). Cada uno de los 4 tubos está perforado de la misma manera, de tal suerte que, bajo una presión de aire (proporcionada por una compresora), la cruz de bronce que sujeta a los cuatro tubos gira impulsada por el escape del aire a través de las perforaciones mencionadas.

El equipo fue probado en septiembre del 2002 dando una eficiencia del 98% en la oxidación del sulfuro (ver Anexo G).

**Figura 8.8:** Aerador para oxidar el sulfuro de las soluciones de pelambre, a sulfato, en presencia de manganeso (II)



Curtiembre CURMA (Foto CPTS)

**Figura 8.9:** Detalle del mecanismo de aeración



Curtiembre CURMA (Foto CPTS, Cochabamba 2002)

**e. Precipitación de proteínas.**

Una vez oxidado el sulfuro de los líquidos de pelambre, se procede a precipitar las proteínas disueltas que provienen de las pieles, lo que se logra cuando se alcanza su punto isoeléctrico a un pH determinado. La mayoría de estas proteínas alcanzan este punto a un pH de aproximadamente 5.5, por lo que el pH de la solución oxidada debe bajarse a este valor, usando soluciones de ácido sulfúrico. Las aguas residuales ácidas (efluentes ácidos) provenientes del curtido, no deben utilizarse para este fin debido a que el cromo contenido en éstas precipitará junto con las proteínas lo que impide que las proteínas sean utilizadas para alimentos de animales, como abono o para la fabricación de cosméticos, entre otros. Adicionalmente, se requieren grandes volúmenes de las aguas de curtido para mezclar con las de pelambre (sin sulfuro) y alcanzar el pH de 5.5.

Antes de mezclar soluciones ácidas con las de pelambre, debe asegurarse que la totalidad del sulfuro haya sido oxidado.

**Precaución: La mezcla de aguas o soluciones ácidas con aguas que contienen sulfuro, generan sulfuro de hidrógeno, el cual es un gas muy venenoso.**

La precipitación de proteínas y su posterior remoción por filtración, puede reducir en un 50% la carga de DBO en el efluente. Más aún, la proteína recuperada puede ser utilizada como abono (por su alto contenido en nitrógeno) o, alternativamente, en la preparación de alimento balanceado para animales /5/. En ambos casos, se debe asegurar que las proteínas no contengan sulfuro y que no se hayan usado aguas de curtido para bajar el pH.

**f. Precipitación de cromo.**

Para iniciar la precipitación de cromo, los sólidos en suspensión, así como las grasas en suspensión, pueden ser removidos mediante los pasos a y b de esta medida.

En algunos países, las curtiembres recuperan el cromo precipitado en forma de lodos para reprocesarlo y regresarlo nuevamente al ciclo del curtido. Para llevar a cabo esta práctica, es necesario recordar que la precipitación del cromo es más eficiente cuando se la efectúa en efluentes segregados que provienen del curtido (es decir, antes de ser mezclados con efluentes provenientes de otras operaciones).

La descripción de la medida se detalla en la Sección 6.7.3.

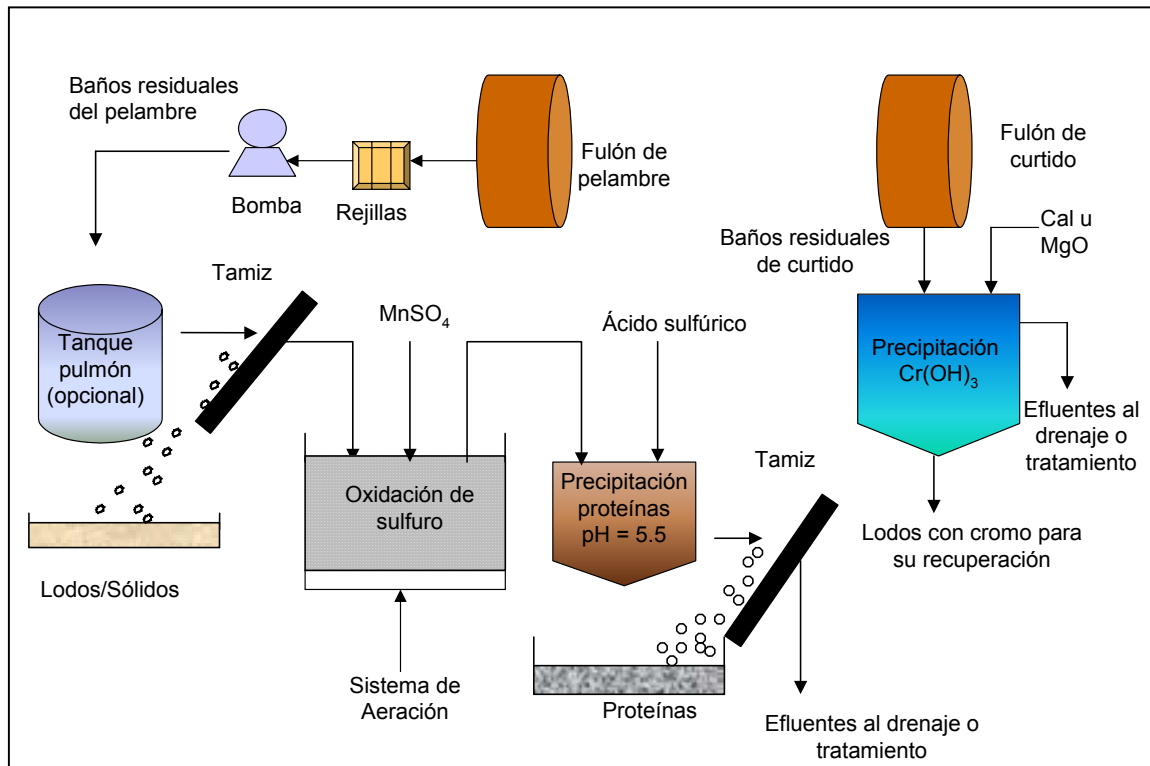
El sistema de valoración de aguas residuales provenientes del curtido de pieles, que se describe en los seis pasos anteriores (a, b, c, d, e y f), se resume en forma esquemática en la Figura 8.10.

**B. Beneficios de la medida**

*Beneficios ambientales:*

- Reducción de la carga contaminante de sólidos totales, sulfuros, materia orgánica y cromo descargados a los cuerpos receptores.
- Transformación de contaminantes (p.e. material orgánico contenido en los efluentes de pelambre) en subproductos útiles (p.e. alimento para animales, abono).

**Figura 8.10:** Sistema de valorización de aguas residuales de una curtiembre



Fuente: Elaboración del CPTS, en base a esquema de Thomas Thorstensen /14/

**Beneficios económicos:**

- Desde el punto de vista económico, las prácticas de producción más limpia destinadas a minimizar y/o evitar la generación de residuos, además de generar ahorros, son de menor costo si se las compara con los sistemas de tratamiento final de descargas. Estas plantas de tratamiento no conllevan beneficios económicos para las empresas, por el contrario, representan gastos. De ahí la importancia que tiene el agotar las posibilidades de implementar medidas de producción más limpia.

**8.2 Valorización de residuos sólidos y lodos**

En esta sección se presenta las técnicas que se utilizan para el escurrido y exprimido de lodos, los métodos de valorización de los residuos y las precauciones que se deben tomar para la disposición final de aquellos residuos a los cuales ya no es posible darles un uso (desecho).

En general, los residuos sólidos en las curtiembres se clasifican de acuerdo a su composición en:

- Orgánicos, provenientes de la piel o los materiales empleados en el curtido vegetal.
- Inorgánicos, como las sales insolubles de calcio, cromo y otros.

**8.2.1 Conversión de lodos a residuos sólidos**

Según T.Thorstensen /14/, la importancia de exprimir los lodos (eliminar el agua retenida en los lodos por presión) radica en que, si éstos son dispuestos en la tierra (por ejemplo, por ausencia de rellenos sanitarios adecuados), varias de las sustancias contenidas en dichos lodos pueden lixiviarse e incorporarse a las aguas subterráneas y contaminarlas. El cromo (como óxido de cromo) y el sulfuro

(como sulfuro de calcio) no son un problema porque tienen una solubilidad limitada. Sin embargo, las sales como el cloruro de sodio y el sulfato de sodio, entre otros, son el problema mayor.

Mediante el exprimido, el agua es eliminada conjuntamente con las sales que están disueltas en ella, lo cual constituye una ventaja cuando los residuos son posteriormente dispuestos en un relleno, dado que la cantidad de sales que pueden ser lixiviadas habrá disminuido significativamente.

El secado de lodos se realiza después del exprimido fundamentalmente para reducir los volúmenes de desechos y, por consiguiente, los costos asociados a su manejo, traslado y disposición. Si los lodos son solamente secados, las sales solubles contenidas en éstos permanecerán y sólo el agua se eliminará. Además, si los lodos son colocados en un relleno sanitario pobremente diseñado, donde no existe un sistema para evitar las infiltraciones de agua por las lluvias y si, además, no está impermeabilizado en su base, las sustancias presentes en los lodos serán lixiviadas y arrastradas hacia las aguas subterráneas. En este caso el secado de los lodos no tiene ninguna trascendencia, es decir beneficio alguno.

La selección del método de exprimido de lodos depende de factores como: la calidad y cantidad de los lodos; los costos de equipo, mantenimiento y operación; el transporte de desechos al sitio de disposición; la disponibilidad de sitios de disposición y las regulaciones locales.

La composición de los lodos varía en función de las operaciones de una curtiembre, del tipo de tratamiento que se da a la piel en todo el proceso del curtido y en el sistema de tratamiento de efluentes. Los lodos, que se producen en una planta de tratamiento de aguas residuales de una curtiembre, contienen aproximadamente 130 kg de materia seca por cada 1,000 kg de piel fresca de vacuno /5/. El contenido de humedad en los lodos, que depende de la forma de filtrado y secado, puede hallarse entre el 80 y 10% (este último porcentaje se logra mediante tratamiento térmico /6/).

Los lodos pueden aprovecharse de diferentes maneras dependiendo de su composición (algunos de sus usos se explican en la siguiente Sección 8.2.2).

#### **A. Explicación de la medida**

Se han desarrollado diferentes métodos, unos más complejos que otros. Algunos de ellos, son:

##### **a. Por escurrimiento.**

El escurrido de lodos es un método sencillo y de bajo costo, pero toma más tiempo que otros métodos. Los lodos son colocados en bolsas porosas o mallas de nylon, y se apilan sobre una rejilla debajo la cual existe una fosa o cámara. El agua, debido a la presión que ejercen las bolsas entre sí, se escurre lentamente por los poros de la tela de las bolsas y se colecta en la cámara. El agua de los lodos también puede escurrirse en turriles o recipientes perforados (orificios pequeños).

##### **b. Filtración en lechos de arena.**

Es un método que se aplica bastante en pequeñas curtiembres, por su sencillez y bajo costo. Los lodos son enviados a un filtro de arena (arena compacta, que puede estar dentro de un tanque) donde quedan retenidas las partículas sólidas, formando una capa sobre la arena. El líquido filtrado puede ser descargado al drenaje o enviado a un clarificador primario dependiendo del contenido de sólidos presentes en la solución. El filtro de arena funciona mejor si el tamaño de grano de la arena tiene entre 2-4 mm de diámetro /14/.

##### **c. Filtrado a presión.**

El filtrado a presión es un método mucho más rápido que los dos métodos anteriores, y puede ser operado automáticamente en filtros prensa o rodillos de presión. Sin embargo, el costo de un filtro prensa es considerablemente mayor que los anteriores.

En general, es mucho más fácil eliminar el agua de los lodos provenientes de pelambre cuando no se hace una destrucción completa del pelo, debido a que se evita la formación de lodos gelatinosos.

## B. Beneficios de la medida

### *Beneficios ambientales:*

- Se reduce el volumen de los residuos.

### *Beneficios económicos:*

- Se reduce el gasto de la disposición final de residuos sólidos, con posibilidades de obtener ingresos adicionales por la venta de los residuos o subproductos.

## 8.2.2 Valorización de los residuos como subproductos

De manera general, el término “residuo” se conceptúa como “*insumo de menor valor*”, mientras que el término “desecho” se conceptúa como “*materia o energía a la que ya no se le da valor alguno*” (ver capítulo 2). Queda claro que cuanto menos compleja sea una mezcla, más fácil será la recuperación de los “*insumos de menor valor*”; y, por lo tanto, se debe tomar la precaución de no mezclar los residuos entre sí, a fin de que su recuperación o reciclaje sea atractivo en términos económicos. Es decir, es una ventaja mantener los residuos en forma segregada, a fin de reducir la cantidad de los materiales desaprovechados, el consumo de agua, de energía y de los reactivos químicos necesarios para procesar estos residuos.

Pero además, se debe agotar todas las posibilidades para minimizar la generación de residuos y desechos a través de un trabajo eficiente, con maquinaria bien mantenida y obreros capacitados.

## A. Explicación de algunas medidas

- Sal común.** Ver la descripción de la medida correspondiente en la Sección 6.2.
- Recortes y carnazas de la operación de predescarnado.** Los recortes y las carnazas son un claro ejemplo de lo que constituye un “insumo de menor valor”, ya que por su contenido en proteínas y grasas pueden utilizarse en diferentes procesos industriales, como en la elaboración de alimentos para animales<sup>32</sup>, en jabonería, barnices, etc. Para ello, sin embargo, es necesario que las carnazas sean obtenidas antes del pelambre, a fin de que se encuentren libres de sulfuro y cal. Si ese no fuera el caso, se necesitará de un tratamiento previo para eliminar estos contaminantes, lo que hará más complicado y costoso el aprovechamiento de los recortes y carnazas. A continuación se describe un método sencillo para la valorización de este tipo de residuos.

### ***b.1 Obtención de grasas contenidas en recortes y carnazas (ver ejemplo en el Anexo I)***

Las grasas son compuestos orgánicos naturales que se encuentran en las plantas y animales, sirviéndoles como material de reserva energética. En los animales se encuentran principalmente en el tejido subcutáneo, junto con el colágeno y algunas otras proteínas.

Las grasas son mezclas de triglicéridos de diferentes ácidos grasos. Los triglicéridos son ésteres de la glicerina (1,2,3-propanotriol) con ácidos grasos, principalmente los ácidos oleico, palmítico y esteárico, además de los ácidos mirístico y linoléico que se encuentran en menor proporción.

Todos estos ácidos grasos se utilizan como materia prima en diferentes industrias, por lo que tienen un valor comercial. Por ejemplo:

---

<sup>32</sup> Para que las proteínas de las carnazas sean fácilmente digeribles por los animales, deben ser previamente hidrolizadas.

- El ácido oleico, el más valioso de los cinco ácidos mencionados, es usado principalmente en cosmética.
- Los ácidos esteárico y palmítico son usados principalmente en la industria alimenticia.
- El ácido linoleico es empleado en jabonería y barnices.

Las proporciones de estos ácidos grasos presentes en las grasas de animales se reportan en el Cuadro 8.2. Estos ácidos pueden obtenerse a partir de la hidrólisis de las grasas en medio ácido (entre pH 3 y 4).

**Cuadro 8.2:** Proporciones de ácidos grasos presentes en las grasas animales

Linoleico	Mirístico	Esteárico	Palmítico	Oleico
2-3%	3-6%	20-25%	24-32%	37-43%

Fuente: Introducción a la química orgánica – Robert Oullete /34/

Sin embargo, los triglicéridos, por sí mismos, o mezclados con sus respectivos ácidos grasos (provenientes de la hidrólisis parcial de los triglicéridos), también tienen un valor comercial. Más aún, y a medida que la recuperación de los triglicéridos adquiere un interés económico, contribuye al mismo tiempo a disminuir la cantidad de residuos que se desechan al medio ambiente.

Los triglicéridos pueden ser recuperados e incluso separados entre sí en forma selectiva, mediante operaciones térmicas sencillas, que aprovechan las diferencias en los puntos de fusión de las grasas o de sus ácidos grasos (ver Cuadro 8.3). Un ejemplo de recuperación térmica de grasas, es la implementada por el Matadero San Jorge SRL en Cochabamba (ver descripción en el Anexo I).

**Cuadro 8.3:** Temperaturas de fusión de las grasas (ésteres) y sus ácidos grasos

Grasa (Éster)	Temperatura de fusión [°C]	Ácido graso	Temperatura de fusión [°C]
Trioleína	4.5	Oleico	14
Trilinoleína	10	Linoleico	17
Trimiristina	55	Mirístico	54
Tripalmítina	61 – 62	Palmítico	63
Triestearina	72	Esteárico	70

Fuente: Perry: Manual del Ingeniero Químico/33/, E. Calvet: Química General, aplicada a la industria/40/

Como resultado de la operación térmica mencionada, se obtiene una fracción líquida, de consistencia aceitosa, compuesta por los tres ésteres y sus respectivos ácidos grasos que tienen puntos de fusión inferiores a 60 °C (ver Cuadro 8.3); más otra fracción, compuesta por los ésteres y sus ácidos grasos de mayor punto de fusión, que permanecen en estado sólido junto con los residuos proteicos de las carnazas (ver el ejemplo del Anexo I). Un método similar utiliza la Curtiembre Hércules de Cochabamba, calentando las grasas a 60°C, en una especie de perol (ver Figura 8.11).



Curtiembre Hércules (Foto B. Friis – CPTS)

Para que una curtiembre implemente la recuperación térmica de grasas a partir de recortes y carnazas, debe primero experimentar a escala piloto antes de llevar la operación a una escala mayor.

- c. **Lodos de pelambre.** Pueden ser utilizados como abono, mediante compostaje con el pelo y con otros materiales que pueden contribuir con nitrógeno y carbono. No obstante, se debe controlar la cantidad de sulfuro que puede ser incorporado al suelo.
- d. **Pelo.** Según W. Frendrup, el peso total de pelo seco, en una piel sin tratar, es de 30-50 kg por tonelada de piel fresca. El pelo recuperado puede ser usado en agricultura, como abono, ya que constituye una fuente de nitrógeno y materia orgánica de descomposición lenta, con o sin previo tratamiento o preparación de compost. Las proteínas del pelo también pueden ser usadas en la producción de alimentos para animales. En Inglaterra, el pelo se usa para producir macetas biodegradables, evitando así el uso de macetas de plástico /5/. Un uso potencial del pelo es en la preparación de queratina hidrolizada para champú /5/.
- e. **Los residuos de la piel en tripa.** Son recortes de piel, descarnes inservibles y residuos del dividido (partes desechables de la costra), entre otros, que se obtienen después del pelambre. Estos residuos pueden usarse para la producción de cola para carpintería. Asimismo, eliminando previamente el contenido de sulfuro y otros químicos, se usan para galletas de perros, gelatina, cosméticos e, inclusive, en algunos países, para preparar colágeno hidrolizado, que se usa en la industria alimenticia como envoltura para embutidos.

Algunas curtiembres bolivianas están exportando sus residuos de tripa para la producción de gelatina. Una de ellas seca y prensa los residuos para obtener menor volumen para el transporte (ver Figuras 8.12 y 8.13).

**Figura 8.12:** Prensa para residuos del descarnado



Curtiembre Santa Cruz (Foto B. Friis – CPTS)

**Figura 8.13:** Residuos prensados del descarnado



Curtiembre Santa Cruz (Foto B. Friis – CPTS)

Curtiembre Hércules ha realizado investigaciones y pruebas para desarrollar un recurtiente basado en residuos de tripa. Este nuevo producto ya está a disposición en los mercados nacional e internacional.

**f. Residuos que contienen cromo.**

**f.1 Virutas (o rebajes) y polvo de lijado.** Pueden usarse en la producción de cuero reconstituido, paneles o tableros de cuero (ver ejemplo Caso 7, “Proyecto piloto” en el Anexo I).

Algunas curtiembres destinan las virutas a la fabricación de ladrillos, para mezclarlas con arcilla antes de introducir los ladrillos al horno (esto produce ladrillos más livianos y una coloración más rojiza). Sin embargo, se desconoce cual podría ser el efecto ambiental que pueda tener el Cr (III) cuando se somete a altas temperaturas ( $> 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>33</sup>) en los hornos de cocimiento de ladrillo<sup>34</sup>.

En Cochabamba, se están usando las virutas para aflojar el terreno en zonas muy pedregosas; asimismo, se están realizando investigaciones para utilizar virutas como carga para mezclarlas con cemento.

La viruta puede también usarse en la obtención de proteína hidrolizada (proceso en el que se debe eliminar el cromo), para usos varios, tales como en la producción de cosméticos, papel, bloqueadores solares para protección de la piel, fertilizantes y alimento para animales. El polvo que sale de la lijadora puede ser hidrolizado conjuntamente con las virutas de cromo.

Algunos aspectos a considerar en el manejo de residuos de cromo son:

- Tomar las debidas precauciones para el almacenamiento de las virutas y polvos del lijado del cuero, a fin de evitar su auto-ignición.
- Una discusión permanente y desde hace bastante tiempo, gira en torno a si los residuos que contienen cromo deben, o no, ser clasificados y manejados como residuos peligrosos. La clasificación del Cr (III), según la Dosis Letal LD<sub>50</sub>, es parecida a la de la sal común. En la Unión Europea, estos residuos no están clasificados como peligrosos /6/. Por su parte, el Cromo (VI) es tóxico (irrita la piel, y se piensa que es cancerígeno). En los suelos, el Cr (VI) se reduce rápidamente a Cr (III) y, en la naturaleza, solamente existe como Cr (III).
- Cuando el cromo precipita en el efluente, los lodos contendrán hidróxido de Cr (III), que es un compuesto insoluble. Sin embargo, la solubilidad de este hidróxido depende del pH y puede redisolverse, como se mencionó, tanto en medio ácido, como en medio básico, pudiendo causar la contaminación de suelos y cuerpos de agua. Por ejemplo, una investigación realizada en Dinamarca, detectó la presencia de 0.2 mg Cr/litro en el lixiviado generado por un relleno sanitario que recibió residuos de curtiembres /6/. Sin embargo, otra investigación realizada en la Unión Europea, sobre disposición de residuos de curtiembres que contienen cromo, concluye que no hay migración u oxidación del Cr (III) ni se produce contaminación de aguas subterráneas.

En Bolivia, la prueba para determinar si un residuo es o no peligroso, se realiza mediante la Norma Boliviana 753.

En general, si los lodos contienen sulfuro y/o cromo y éstos no pueden ser removidos, se los debe disponer en un relleno sanitario, con las debidas precauciones. Esto para evitar una posible lixiviación posterior y, en consecuencia, su incorporación a cuerpos de agua o napas freáticas, contaminándolos. En algunos países, estos lodos (que contienen sulfuros y cromo) se los emplea también como abono de plantas ornamentales, posibilidad que debe investigarse.

- g. Embalaje:** Las paletas y los turriles pueden ser devueltos al proveedor o usados como material auxiliar (para mantenimiento, servicios u otros).
- h. Residuos orgánicos.** Grasas y otros residuos recuperados con contenido de materia orgánica, pueden usarse para la producción de biogás, aunque todavía es una práctica poco común en las curtiembres.

<sup>33</sup> Es la temperatura a partir de la cual comienza el cocimiento de los ladrillos

<sup>34</sup> En España se han realizado investigaciones para ver los efectos del cromo en la fabricación de ladrillos; consultar referencia /5/

**B. Beneficios de las medidas**

*Beneficios ambientales:*

- Se minimiza la cantidad de desechos.

*Beneficios económicos:*

- Se reduce los gastos en la disposición final de desechos sólidos, con la posibilidad de obtener ingresos adicionales por la venta de los residuos o subproductos.