Distr.
RESTRINGIDA

LC/R.1356
22 de noviembre de 1993

ORIGINAL: ESPAÑOL

C E P A L

Comisión Económica para América Latina y el Caribe

ANALISIS ECONOMICO DE ALTERNATIVAS NO CONTAMINANTES PARA CURTIEMBRES EN CHILE

Este documento fue preparado por la señora Patricia Ilabaca Arenas, consultora de la Unidad Conjunta CEPAL/PNUMA de Desarrollo y Medio Ambiente de la División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos, en el marco del proyecto "Políticas para la gestión ambientalmente adecuada de los residuos" Fase II, que realiza la CEPAL con el apoyo de la Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ). Las opiniones expresadas en este trabajo, el cual no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de la autora y pueden no coincidir con las de la Organización.

93-12-1625

INDICE

Página

PRESENTACION..... 1

PRIMERA PARTE: EL SECTOR INDUSTRIAL DEL CUERO..... 3

I. INTRODUCCION..... 5

II. LA INDUSTRIA DEL CUERO EN CHILE..... 7
A. EL SECTOR CURTIDOR..... 7
B. LA MANUFACTURA DEL CUERO..... 9

III. EL PROCESO DE CURTIDO..... 13
A. DESCRIPCION..... 13
B. RESIDUOS LIQUIDOS DE CURTIEMBRE..... 20
C. IMPACTO AMBIENTAL DE LAS CURTIEMBRES..... 21
D. EL PROBLEMA AMBIENTAL DE LOS RESIDUOS LIQUIDOS DE LAS CURTIEMBRES..... 23
E. TECNOLOGIAS EN EL PROCESO DE CURTIDO..... 26

IV. LEGISLACION Y NORMATIVA EN CHILE..... 40
A. SITUACION ACTUAL DE LA LEGISLACION..... 40
B. PROYECTO DE NORMA TECNICA SOBRE RILES EN CHILE.. 42
C. SITUACION ACTUAL DE LOS INDUSTRIALES CURTIDORES. 47
D. LIMITES DE DESCARGA EN OTROS PAISES..... 48

SEGUNDA PARTE: ANALISIS ECONOMICO DE ALTERNATIVAS DE SOLUCION AL PROBLEMA DE LOS RILES..... 53

I. INTRODUCCION..... 55

II. TECNOLOGIAS LIMPIAS EN CURTIEMBRES Y SUS COSTOS.... 56
A. TECNOLOGIAS DISPONIBLES..... 56
B. DESCRIPCION DE TECNOLOGIAS LIMPIAS FACTIBLES DE EVALUAR..... 58
C. DESCRIPCION DE ALTERNATIVAS PARA EL PROCESO DE CURTIDO..... 64

III. TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO EN CURTIEMBRES Y SUS COSTOS..... 69

Página

IV. CONCLUSIONES..... 79

ANEXO 1: LA INDUSTRIA MUNDIAL DEL CUERO..... 81

ANEXO 2: EVALUACION ECONOMICA: ALTERNATIVA 1..... 85

ANEXO 3: EVALUACION ECONOMICA: ALTERNATIVA 2..... 89

ANEXO 4: EVALUACION ECONOMICA CON PLANTA DE TRATAMIENTO.... 93

ANEXO 5: COSTOS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRES EN OTROS PAISES..... 97

ANEXO 6: TERMINOS USADOS..... 103

Notas..... 106

***

PRESENTACION

El problema del impacto que causan los residuos líquidos de curtiembres (RILES) en el medio ambiente y el camino que se debe recorrer para enfrentarlo por parte de los industriales y por parte de las autoridades que deben legislar y controlar el vertimiento de estos residuos líquidos, ya ha sido abordado en muchos países desarrollados -se conocen los resultados obtenidos y las dificultades que se han enfrentado para conseguirlos.

En Chile, los industriales del cuero están viviendo esta situación, así como todas las industrias que vierten efluentes líquidos provenientes de sus procesos productivos. Actualmente ya se ha elaborado un proyecto de norma técnica que controlará el vertido de estos residuos.

Es de interés, para las actividades del proyecto CEPAL/GTZ "Políticas para la gestión ambientalmente adecuada de los residuos, Fase II", conocer el problema de los residuos líquidos de curtiembres y la factiblidad técnico-económica de las soluciones existentes para el caso de Chile.

Este trabajo se ha desarrollado en dos partes. En la primera, se presenta un análisis de la situación actual del sector industrial del cuero y del problema de los riles. La segunda parte contiene una descripción de las tecnologías disponibles que se pueden implementar para minimizar las emisiones y una evaluación económica de la adopción de algunas de estas tecnologías.

Primera Parte

EL SECTOR INDUSTRIAL DEL CUERO

I. INTRODUCCION

El curtido de pieles para convertirlas en cuero ha sido una importante actividad industrial desde la antiguedad. Es ampliamente conocido el potencial impacto ambiental de sus operaciones, el cual por mucho tiempo, se ha considerado como una consecuencia inevitable de esta industria.

En el proceso de curtido de pieles se debe realizar una serie de operaciones para dejar la piel limpia, sin pelos ni restos de carne y en las condiciones adecuadas para su procesamiento en las etapas posteriores. En estas etapas, las pieles se mantienen en contacto con curtientes tales como sales de cromo o taninos vegetales, con el fin de lograr su estabilización.

En general, se pueden identificar tres etapas principales: etapa de rivera, etapa de curtido y etapa de acabado. De estas operaciones se originan una serie de efluentes líquidos que son de características y caudales diferentes y que, en su conjunto, presentan una alta carga contaminante, cuyo nivel estará determinado por el proceso de manufactura empleado.

La carga de los efluentes líquidos de las curtiembres, es producto de la materia prima utilizada y de los insumos químicos. El impacto ambiental que produce se puede clasificar en tres tipos: físico, químico y biológico. Además, el proceso de curtido es intensivo en el uso de agua. El consumo promedio por kg de piel curtida puede variar desde 25 lt/kg hasta 80 lt/kg para tecnologías aparentemente similares.

Los elementos que necesariamente deben ser eliminados de los residuos líquidos antes su descarga son los sulfuros, las sales de cromo, los aceites y grasas, la materia orgánica, ph elevado, dureza y todo lo que sea material sedimentable.

Para solucionar este problema hay dos alternativas. En primer lugar, existen las tecnologías limpias o de baja producción de deshechos que apuntan a reducir al mínimo la cantidad de deshechos producidos y a reciclar y a reusar tanto como sea posible los residuos. En segundo lugar, existen las tecnologías de tratamiento, cuyo objetivo es remover de los residuos los elementos potencialmente contaminantes lo suficiente como para evitar un impacto ambiental indebido.

Hay experiencias de tecnologías de tratamiento muy sofisticadas, y también de procesos relativamente simples con los que se puede lograr una importante reducción de la carga contaminante. El nivel del tratamiento requerido dependerá de las exigencias legales y técnicas respecto a la disposición de los residuos tratados.

Este problema ya ha sido experimentado en otros países, en los cuales la industria del curtido se ha enfrentado a una legislación que norma y controla los RILES provenientes de sus actividades y ha debido por lo tanto, adoptar soluciones concretas para disminuir la carga contaminante que es vertida durante el proceso en las aguas y para tratar estas aguas residuales.

En Chile se ha comenzado a vivir esta misma situación, pues la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SSS) ha elaborado un proyecto de norma técnica relativo a las descargas de riles. Esta norma controla las descargas a los sistemas de recolección de aguas servidas y a los cursos y masas de aguas superficiales y subterráneas y se encuentra en vigencia, con carácter de provisoria, desde febrero de 1993.

También se cuenta con los resultados de un Catastro Nacional de Descargas de Residuos Industriales Líquidos, cuya elaboración fue encargado por la SSS a una empresa de servicios de ingeniería durante el año 1992. El objetivo de este catastro fue identificar las principales fuentes contaminantes de los cursos y masas de aguas. Estos resultados están siendo porcesados para tener una evaluación final que permita establecer sistemas de control adecuados.

II. LA INDUSTRIA DEL CUERO EN CHILE

A. EL SECTOR CURTIDOR

En Chile la industria curtidora está compuesta por aproximadamente 40 curtiembres que se encuentran agrupadas en la Asociación de Curtidores de Chile, de las cuales alrededor del 70% están ubicadas en la Región Metropolitana. Se estima que el número de trabajadores es de 2000 aproximadamente.[1]

Las pieles que se elaboran en el país son principalmente de bovinos, ovinos y caprinos, y su producción anual es cercana al millón para bovinos, alrededor de 700.000 para caprinos y 500.000 para ovinos. Aproximadamente el 50% de las curtiembres se dedica exclusivamente a las pieles de vacuno y el resto a los otros tipos de pieles.

Debido a que las pieles son un subproducto de la actividad agropecuaria, el abastecimiento de la demanda en Chile presenta dificultades por el bajo volumen de masa ganadera y en consecuencia, por el déficit en la matanza de animales. Esta situación se ha visto acentuada en los últimos 15 años por variables económicas, biológicas y climáticas las cuales, descontando el comportamiento cíclico característico del ganado bovino, han influído notoriamente en mantener estática la masa ganadera, alrededor de 3,4 millones de cabezas anuales promedio.[2]

En la actualidad es posible pronosticar cambios favorables en la actividad pecuaria bovina impulsados por la mejor rentabilidad que ha venido registrando la producción de carne. En el Cuadro 1 se presenta el número de cabezas de ganado beneficiado en los últimos cinco años.

Cuadro 1

GANADO BENEFICIADO
(Número de cabezas)

AÑO	BOVINOS	OVINOS	PORCINOS	EQUINOS	CAPRINOS
1987	696.028	873.734	1.246.002	43.249	26.858
1988	799.305	873.217	1.383.607	41.398	23.407
1989	924.732	799.785	1.570.426	48.998	20.375
1990	1.010.521	955.342	1.666.651	50.352	13.739
1991	941.649	830.062	1.700.746	54.453	13.302

Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas (INE), Compendio Estadístico 1992.

De la demanda anual de pieles bovinas, aproximadamente un 20%, son importadas y el resto, entre 800 y 850 mil pieles, son abastecidas por el mercado nacional.[3] Tradicionalmente las importaciones comprendían cueros semiterminados (**crust**), curtidos (**wet blue**) o piquelados, y una pequeña cantidad de cueros en bruto se traían de Argentina y Bolivia. Sin embargo, en 1991 se aprobaron numerosos registros de importación de cueros salado* provenientes de Europa, Centroamérica y Sudamérica.

En el Cuadro 2 se presentan las importaciones y exportaciones de los últimos trece años de cueros en bruto y semiterminados.

---

* Se refiere a cueros en bruto conservados con sal.

Cuadro 2

IMPORTACIONES Y EXPORTACIONES DE CUERO 1980-1992

(Miles de US$ de cada año)

AÑO	EXPORTACIONES	IMPORTACIONES	SALDO
1980	7.117	13.004	(5.887)
1981	4.342	13.586	(9.254)
1982	5.277	2.217	3.060
1983	3.683	1.309	2.374
1984	3.939	3.442	497
1985	4.319	2.462	1.857
1986	4.678	6.874	(2.196)
1987	8.314	9.382	(1.068)
1988	9.322	11.655	(2.333)
1989	8.510	15.218	(6.708)
1990	7.815	7.403	412
1991	3.140	20.686	(17.546)
1992 a/	1.500	15.500	(14.000)

Fuente: Años 1980-1991, Base de Datos de Comercio Exterior, División de Comercio Internacional y Desarrollo, CEPAL, Santiago.

a/ Los valores de 1992 corresponden al período enero-agosto. Boletín de Comercio Exterior del Banco Central de Chile, agosto 1992.

B. LA MANUFACTURA DEL CUERO

La mayor parte de las pieles procesadas están destinadas al mercado interno, en el cual la manufactura de calzado demanda entre el 92% y el 94% de los cueros producidos.[4] A su vez, las manufacturas de cuero, especialmente en los rubros de calzado y vestimenta , están accediendo al mercado internacional en volúmenes importantes. Se estima que existen alrededor de 241 establecimientos manufactureros de calzado y 44 establecimientos manufactureros de otros artículos de cuero en Chile.[5]

La exportación de calzado ha tenido un crecimiento importante en los últimos años, debido a un aumento en la calidad de los productos exportados. De acuerdo a información del Tabulado ENIA (Encuesta Nacional de la Industria) del Instituto Nacional de Estadística (1988), el sector exportador de la industria de calzado está constituído por 100 fábricas aproximadamente. La ocupación en esta industria alcanza un total de 11.157 trabajadores, de los cuales 8.787 pertenecen a empresas de 50 o más trabajadores y 2.370 a empresas de 10 a 49 trabajadores. El sector del calzado representa un 3% de la fuerza de trabajo de la industria manufacturera, la cual reúne en total a 335.312 trabajadores.[6]

Los países compradores de calzado chileno fueron: 20 en 1988, 19 en 1989 y 30 en 1990, destacándose, por su participación, Estados Unidos y Canadá (véase Cuadro 3).

Cuadro 3

DESTINO DE LAS EXPORTACIONES DE CALZADO, 1988-1990

(Miles de US$ de cada año)

Año	1988		1989		1990	
	Monto	(%)	Monto	(%)	Monto	(%)
Estados Unidos	7.670	64,0	15.344	71,0	17.432	50,0
Canadá	789	6,6	905	4,0	4.414	12,6
Otros	3.566	29,4	5.435	25,0	13.118	37,4
Total	12.025	100,0	21.684	100,0	34.964	100,0

En el Cuadro 4 se indican las exportaciones e importaciones del sector calzado en los últimos 13 años, correspondientes a calzados de cuero y calzados con partes de cuero y otros materiales.

Cuadro 4

EXPORTACIONES E IMPORTACIONES DE CALZADO 1980-1992

(Miles de US$ de cada año, precios FOB)

AÑO	EXPORTACIONES	IMPORTACIONES	SALDO
1980	340	18.770	(18.430)
1981	750	52.482	(51.732)
1982	329	30.651	(30.322)
1983	179	7.663	(7.484)
1984	362	6.667	(6.305)
1985	184	3.111	(2.927)
1986	2.658	4.920	(2.262)
1987	6.549	8.504	(1.955)
1988	12.025	9.528	2.497
1989	21.684	13.249	8.435
1990	34.964	7.987	26.977
1991	51.700	17.000	34.700
1992a/	26.700	15.000	11.700

Fuente: Años 1980-1987, Base de Datos de Comercio Exterior, División de Comercio Internacional y Desarrollo, CEPAL, Santiago. Años 1988-1992, Banco Central de Chile.

a/ Los valores de 1992 corresponden a enero-agosto.

Las manufacturas de otros artículos de cuero abarcan un mercado menor que el del calzado. En el Cuadro 5 se pueden ver las exportaciones e importaciones de los últimos tres años.

Cuadro 5

IMPORTACIONES Y EXPORTACIONES DE MANUFACTURAS DE CUERO 1990-1992

(Miles de US$ de cada año)

AÑO	IMPORTACIONES		EXPORTACIONES		SALDO
1990	Prendas vestir y peletería	2.000	Artículos de cuero	400	(1.600)
1991	Prendas vestir y peletería	2.900	Artículos de cuero	600	(2.300)
1992 a/	Prendas vestir y peletería	3.600	Artículos de cuero	300	(3.300)

Fuente: Banco Central de Chile.
a/ Los valores de 1992 corresponden al período enero-agosto.

El comercio internacional de la industria del cuero representa un porcentaje relativamente pequeño con respecto al total de la industria nacional. Las cifras totales de importaciones y exportaciones pueden verse en el Cuadro 6.

Cuadro 6

IMPORTACIONES Y EXPORTACIONES INDUSTRIA DEL CUERO

(Millones de US$ de cada año)

AÑO		IMPORT.	EXPORT.	SALDO
1990	INDUSTRIA a/	3.852,9	2.842,5	(1.010,4)
	SECTOR CUERO	20,1	37,6	17,5
1991	INDUSTRIA	4.575,9	3.444,4	(1.131,5)
	SECTOR CUERO	29,7	56,1	26,4

Fuente: Banco Central de Chile.
a/ Corresponden a las importaciones de bienes de consumo y de bienes intermedios destinadas a la industria.

III. EL PROCESO DE CURTIDO

A. DESCRIPCION

Las curtiembres son unidades de proceso en las cuales se transforman las pieles animales en cuero, obteniéndose un material imputrescible y plegable.

El proceso por el cual se realiza esta transformación es el curtido, en el cual los cueros en proceso generalmente se mantienen en contacto con curtientes tales como sales de cromo o taninos vegetales, con el fin de lograr su estabilización. Antes del proceso de curtido propiamente tal, se deben realizar una serie de operaciones para dejar la piel limpia, sin pelos ni restos de carne y en las condiciones adecuadas para el procesamiento posterior. De estas operaciones se originan una serie de desagües líquidos que son de características y caudales diferentes y que, en su conjunto, presentan una alta carga potencialmente contaminante, la cual estará determinada por el proceso de manufactura empleado.

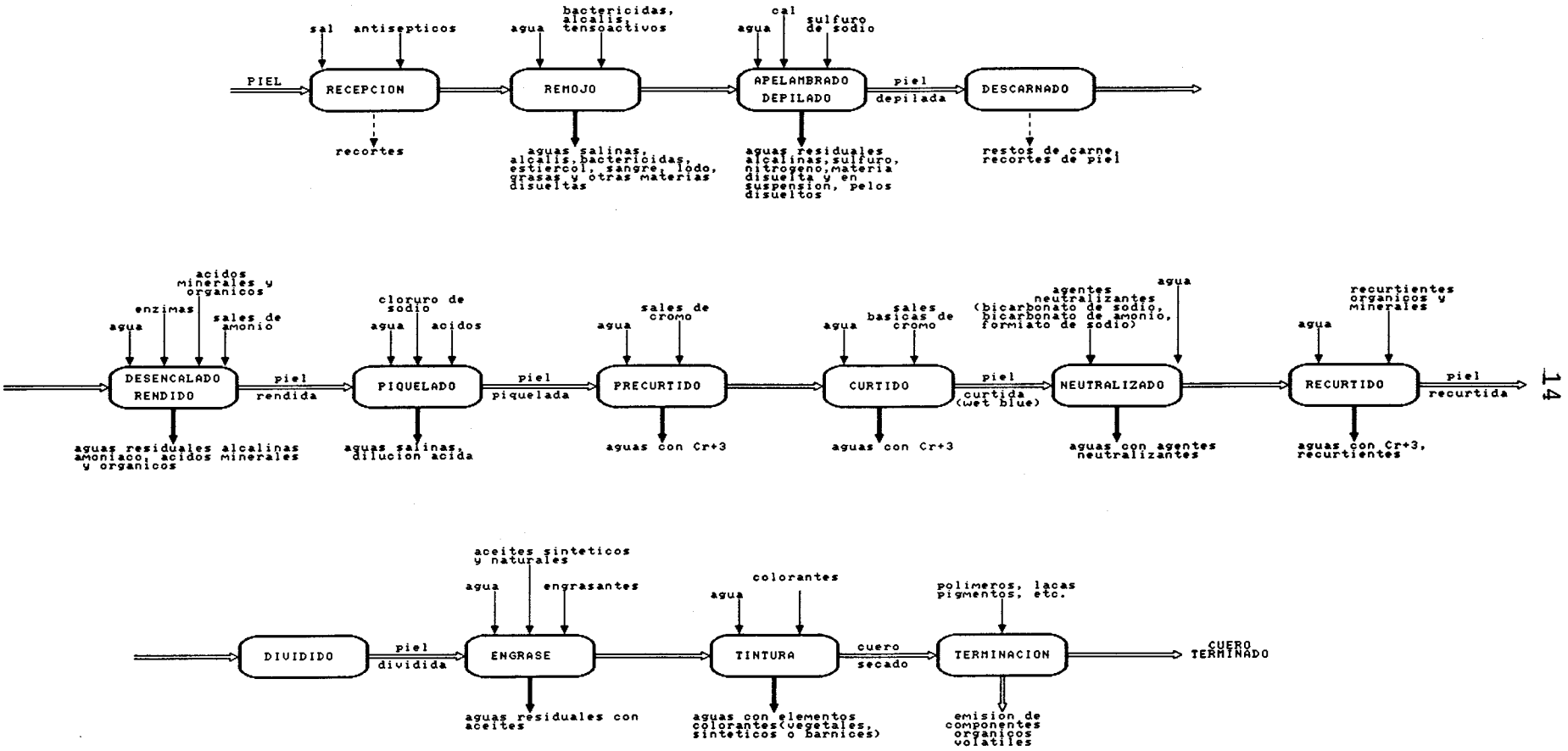
El proceso que se lleva a cabo en una curtiembre sigue siendo un arte industrial, aún en los países desarrollados, pues la mayoría de los técnicos emplean sus propios procesos. Sin embargo, se pueden describir las etapas que se llevan a cabo para transformar la piel en cuero, las cuales son bastante parecidas en la mayoría de las curtiembres hasta que se obtiene el cuero curtido. En la parte final del proceso se presenta una gran diversidad pues la terminación depende del uso que se le dará.

A continuación se describe el proceso de curtido.[7] El diagrama general del proceso se puede ver en la Figura 1, donde se especifican además los efluentes provenientes de cada etapa.

El proceso de curtido de cuero se puede dividir en tres etapas principales: etapa de rivera, de curtido y de acabado.

Primeramente se compran las pieles en los mataderos -que es la fuente de abastecimiento más común- o a los acopiadores. La diferencia en el tratamiento que se le da a la piel antes de la compra condiciona el proceso, pues la materia prima es muy heterogénea, especialmente en Chile.

FIGURA 1
DIAGRAMA DEL PROCESO DE CURTIDO DE
CUEROS VACUNOS



Las pieles se clasifican según el proveedor, en pieles del matadero (frigorífico) o del centro de acopio; o según su peso, en pieles jóvenes y pieles más viejas.

Una vez adquiridas las pieles comienza el proceso de curtido, el cual se desarrolla en las etapas que se describen a continuación.

1. Etapa de rivera

a) Recepción

Las pieles recibidas pueden estar frescas, saladas o secas. Si son frescas y se van a curtir inmediatamente, entonces no se necesita tratamiento de conservación y pasan directamente a la operación de remojo. En general, se procede a conservar las pieles en bruto, para lo cual existen diversos procesos, como: salado normal, salmuerado, salado en fulón, conservación por secado, piquelado de conservación, etc.

El objetivo de la conservación es inhibir el desarrollo de bacterias y evitar la putrefacción. Comúnmente se conservan las pieles saladas, para lo cual se cubren con sal común y se preparan en fardos que se dejan secar. Antes de la conservación o utilización de las pieles recibidas, se realiza la primera operación que consiste en el recorte de las partes de la piel que no se usan (cola, cabeza, etc.).

b) Remojo

El objetivo de esta operación es limpiar la piel, rehumectarla y disolver parcialmente las proteínas solubles en agua. Generalmente se trabaja una partida de cueros, la cual se recoje del saladero. En este proceso, las pieles pueden llegar a perder alrededor de un 17% de agua. La estructura de la piel sufre por la pérdida de agua por lo cual se debe remojar, a temperatura ambiente, por unos 2 a 3 días. El baño de remojo debe estar siempre limpio; el agua debe cambiarse cada 12 horas y debe elimina el lodo acumulado mediante un lavado del sistema utilizado.

Los equipos en los cuales se realiza esta operación son muy simples, como molinetes, fulones rotatorios o pozos. Los factores más importantes a considerar en este proceso son: contenido de bacterias, temperatura, contenido de sustancias disueltas y suspendidas en el agua a emplear. Las sustancias minerales disueltas influyen desfavorablemente en esta operación, sobre todo cuando se presentan altas concentraciones. Para un buen efecto de remojo hay que eliminar la sal sacudiendo previamente las pieles y lavándolas con agua corriente antes de entrar al baño de remojo.

c) Apelambrado y depilado

Los objetivos de esta operación son actuar sobre la epidermis y el pelo y saponificar las grasas naturales, con el fin de purificar el colágeno, acondicionar químicamente la piel y obtener el hinchamiento apropiado. Con el depilado se corta el pelo y con el apelambrado se elimina la raíz del pelo.

Para esta operación se usan fulones, los que al rotar golpean los cueros, produciéndo de esta forma una acción mecánica sobre ellos. El apelambrado se puede realizar en pozos o molinetes, aplicando en el lado de los pelos una pasta preparada con cal y productos para apelambrar.

El agente químico más empleado en el apelambrado es la cal apagada, la cual se trabaja en exceso en la práctica, con el fin de obtener soluciones saturadas. La cal no disuelta se deposita en el fondo y se vuelve a utilizar, siendo eficaz solamente la porción de cal disuelta.

El uso exclusivo de cal resulta antieconómico para la obtención de muchas clases de cueros, debido al largo tiempo de duración de la operación -la cal tiene una acción hidrolítica sobre la epidermis y se demora 10 días). Por esta razón, actualmente se emplea sulfuro sódico como producto químico adicional. Esta operación se realiza a ph altos, aproximadamente 13 y las pieles se hinchan y se tensan, lo que debe ser controlado así como también, el ataque selectivo de las proteínas.

El tipo de apelambrado a realizar depende de la naturaleza de los cueros, de la clase de cueros a producir, de la temperatura y de las características del agua y de los recipientes usados. El tiempo real del proceso es difícil de predecir y generalmente lo determina una buena observación y mucha experiencia.

d) Descarnado

Esta operación tiene como objeto eliminar los restos de carne y grasa que hayan quedado adheridos y se hace por medio de acción mecánica en una máquina descarnadora de cueros. La grasa obtenida como subproducto puede ser utilizada para la fabricación de jabones.

e) Dividido

El dividido consiste en cortar el cuero según un plano paralelo, obteniéndose dos capas de menor grosor: el cuero propiamente tal (parte exterior) y el descarne (parte interior de la piel bruta).

A continuación se recortan las partes extremas del cuero y del descarne, que por su forma son poco utilizables y comúnmente se emplean en la fabricación de gelatinas.

El dividido puede hacerse en esta etapa, después del descarnado, lo que se denomina dividido en tripa o bien, cuando el cuero está en estado **wet blue**, y que se denomina dividido en wet blue.

En Chile, se usa mayoritariamente el dividido en **wet blue**. Se divide el cuero en los espesores que se van a requerir considerando un margen que es eliminado en el proceso de raspado.

En el esquema del proceso que aparece en la Figura 1, el dividido se realiza de esta forma, es decir después de la etapa de curtido.

2. Etapa de curtido

a) Desencalado y rendido

Son operaciones que están relacionadas y se complementan recíprocamente. El desencalado es un proceso destinado a eliminar la cal, pues por su carácter alcalino presenta inconvenientes en trabajos posteriores que deben realizarse en medio ácido o neutro.

Una parte de la cal y del sulfuro sódico presentes ahora en la piel bruta, pueden eliminarse mediante lavado con agua a temperatura no superior a los 37°C para evitar posibles fenómenos de licuación colágena. El álcali contenido en la piel, que se encuentra en forma de sal debido a la reacción que sufre con los ácidos de la piel, se elimina con ácidos capaces de formar sales solubles en agua, tales como ácido clorhídrico, fórmico y láctico.

El rendido es un proceso enzimático que tiene por objetivo limpiar la piel de restos de epidermis y actuar sobre la piel produciendo un aflojamiento de la estructura. Se utilizan enzimas que actúan como catalizadores orgánicos dando mayor velocidad de reacción química específica, tales como las hidrolasas y entre ellas la tripsina y las lipasas. Las de más uso son de origen pancreático; existen también de origen bacteriano y otros.

Estas operaciones se realizan en fulones y tienen una duración promedio de 24 a 48 horas, aunque en general el tiempo está en relación con el efecto de rendido, que depende del cuero elaborado y del proceso de desencalado.

b) Piclado

El objetivo de esta operación es tratar la piel rendida con ácido para alcanzar un ph adecuado para la curtición mineral, completar el desencalado e interrumpir la acción enzimática. Se

usan soluciones salino-ácidas tales como NaCl-HCl, las que funcionan como agentes de conservación por varios días. Se hace un ataque violento a la piel con ácido sulfúrico a ph 2,5 y se agrega sal en el punto de ph bajo para evitar hinchamiento ácido.

El piclado se realiza en fulones con una fuerte agitación y tiene una duración fluctuante entre 3-6 días, dependiendo del tipo de cuero que se quiera obtener. Las variables más importantes son: la concentración de la sal neutra, la temperatura y la naturaleza del ácido usado (mineral u orgánico).

Para lograr un buen curtido hay que preparar las pieles de tal manera que los materiales curtientes tengan libre acceso hacia las fibras y al colágeno.

c) Precurtido

El precurtido consiste en la incorporación de pequeñas cantidades de sustancias curtientes a la piel, tales como el cromo, alumbre, etc., a fin de obtener mejores resultados en el curtido mismo. Esta operación se realiza en fulones y tiene una duración de 2 a 3 días.

d) Curtido

El objetivo es consolidar el colágeno con agentes curtientes, es decir, transformar definitivamente las pieles en materiales estables e imputrescibles. Para esto existen diferentes productos curtientes, tales como sales de cromo, zirconio, aluminio, aldehidos, aceites, taninos vegetales y sintéticos.

En la industria curtidora el cuero curtido al cromo es el producto principal. Se emplean sales básicas de cromo en un solo baño. Al agregar el agente curtiente las pieles están en un estado de piquelado a un ph de 3,5 o menor. A estos valores de ph la afinidad de la sal curtiente con la proteína es baja teniendo lugar una penetración del cromo en la piel. Luego de la penetración del material curtiente se aumenta el ph provocándose cambios en la sal de cromo y en la proteína de la piel que favorecen la reacción entre ellos. Al término de la reacción se dice que el cuero está curtido al cromo y en estas condiciones tiene estabilidad hidrotérmica.

e) Desaguado

Esta operación tiene por objeto extraer el agua en exceso que tiene el cuero. Para ello se usan rodillos.

f) Neutralizado

El objetivo de esta etapa es acondicionar los cueros para los procesos siguientes de recurtición, tintura y engrase. Los cueros salen de la operación de curtido con un ph de 3,5 aprox., por lo que, para fijar las anilinas en el teñido es necesario subir el ph a valores entre 4,5 y 5,0. Esto se logra con algunos reactivos químicos como carbonatos, bicarbonatos, formiato, sulfuros, etc.

g) Recurtido

Esta operación se realiza para otorgar plenitud, favorecer el esmerilado, reducir deshomogenidades, mejorar el secado, conferir cualidades especiales al cuero, favorecer el estampado y ablandar. Se pueden utilizar agentes recurtientes minerales (sales básicas o polifosfatos) u orgánicos.

3. Etapa de acabado

a) Raspado

El raspado se hace con el objeto de dar al cuero homogeneidad de espesores. Se realiza en una máquina raspadora que dispone de cuchillos circulares. De esta forma pueden eliminarse todos los defectos que el cuero presenta por el lado de la carne.

b) Engrase

El objetivo es conferir a los cueros curtidos suavidad, blandura y tacto para hacerlos utilizables. Esta operación es necesaria para casi todas las clases de cuero, ya que evita que se resequen y que se produzca resquebrajamiento al flectarlo. Además el revestimiento de grasa sobre las fibras del cuero reduce su humectabilidad. La operación se realiza en fulones y su tiempo de duración es relativo, ya que depende del tipo de cuero y de los engrasantes utilizados.

c) Tintura

En esta operación se da a los cueros un color, de manera de obtener un tono regular entre las diferentes partes del cuero, entre distintos cueros de una misma partida así como su reproducción en diferentes partidas. Se utilizan colorantes que pueden ser ácidos o básicos.

d) Operaciones posteriores

Al proceso anterior le siguen una serie de operaciones de acabado, que son las siguientes:

- Secado
- Humectado
- Recorte
- Ablandado
- Lijado
- Limpiado
- Empastado
- Planchado

e) Terminación

El objetivo es dar a los cueros las características finales de artículo, plenitud, brillo, opacidad, tacto, resistencia de la película de acabado, solideces, etc. Se utilizan anilinas y lacas entre otros productos.

B. RESIDUOS LIQUIDOS DE CURTIEMBRE

El impacto ambiental de la carga de los efluentes líquidos de una curtiembre se puede clasificar en tres tipos: físico, químico y biológico.

- Carga física: son sustancias que están en suspensión, por ejemplo, sólidos o aceites.

- Carga química: son sustancias químicas disueltas en el agua, tales como ácidos, bases, sales, etc.

- Carga biológica: materia orgánica y organismos como virus, bacterias, etc.

Las características de los efluentes según las etapas del proceso son las siguientes.

1. Efluentes de la etapa de rivera

Estos residuos son muy voluminosos en comparación con las etapas de curtido y acabado y representan aproximadamente el 70% del volumen total de los residuos líquidos. Las descargas son en general intermitentes. Los efluentes de todas las operaciones de rivera son fuertemente alcalinos, contienen grandes cantidades de cloruro de sodio, cal, sulfuro de sodio, materia orgánica disuelta, materia

orgánica en suspensión, restos de carne, suero de la sangre, grasa, pelos, aminoácidos, albúmina, etc. Tienen un ph superior a 11.

Esta etapa contribuye con alrededor de un 80% a la DBO5* total y con un 70% a la DQO** de las aguas residuales totales.

2. Efluentes de la etapa de curtido

Se pueden caracterizar como los más contaminantes por su persistente color rojo oscuro, su alto valor de DBO (5,20) y por tener además, una gran cantidad de sólidos. Son residuos ácidos, con un ph comprendido entre 4.5-6, producto de los procesos mismos de acidificación. Además contienen enzimas, ácidos minerales y orgánicos, sulfatos de cromo y/o taninos.

3. Efluentes de la etapa de acabado

Los residuos líquidos provenientes de la etapa de acabado son ligeramente ácidos con un DBO (5,20) relativamente alto y contienen elementos colorantes, ya sea provenientes de tinturas vegetales, sintéticas o de barnices. Contienen además aceites, existiendo un amplio rango en tipos y cantidades de estos aceites que se agregan a los cueros dependiendo del uso final que se tenga del producto.

C. IMPACTO AMBIENTAL DE LAS CURTIEMBRES

Si los residuos líquidos de una curtiembre son descargados directamente a alcantarillados o cursos de agua provocan lo siguiente:

- Depósito de lodo
- Consumo elevado de oxígeno
- Ataques a estructuras (corrosión)
- Color intenso
- Elevada alcalinidad
- Efectos tóxicos para fauna acuática

---

* La DBO es la medida de la cantidad de oxígeno que puede ser consumido a través de la degradación biológica de los constituyentes orgánicos. La prueba es realizada durante cinco días y el resultado se expresa como DBO5.

** La DQO es la medida de la cantidad de oxígeno consumida durante la oxidación biológica de los componentes del agua residual.

Las sustancias que necesariamente deben ser eliminadas de los residuos líquidos antes de descargarlos son los sulfuros, las sales de cromo, los aceites y grasas, la materia orgánica (DBO 5,20), ph elevado, dureza y todo lo que sea material sedimentable.

Se señalan a continuación los efectos más significativos producidos por estos componentes sobre el medio ambiente.

1. Sólidos

Las materias sólidas que se encuentran en suspensión incluyen materia orgánica e inorgánica. La fracción orgánica puede sedimentar rápidamente y depositarse en el fondo de los cursos o masas receptoras, actuando negativamente sobre la vida de los peces, ya que cubren el fondo del curso receptor con una capa de sólidos que destruye su alimento.

La materia orgánica origina importantes reducciones del oxígeno disuelto en los cursos de agua, creando de esta forma condiciones anaeróbicas que favorecen la producción de algunos gases nocivos como el hidrógeno sulfurado, dióxido de carbono y metano.

2. Grasas

La grasa en los residuos líquidos proviene tanto de las pieles de los animales como también de los productos agregados a los cueros en los procesos. El aceite y la grasa implican una gran demanda de oxígeno. Las emulsiones de aceites pueden adherirse a las branquias de los peces, cubrir y destruir a las algas y otros tipos de placton. Los aceites que se encuentran flotando en la superficie del agua reducen la aireación natural y junto a los aceites emulsionados pueden interferir seriamente en la fotosíntesis.

3. Compuestos sulfurosos

Los compuestos sulfurosos son ampliamente usados en la etapa de rivera, en el proceso de apelambrado. Si estos residuos se mezclan con residuos domésticos o ácidos industriales lo suficiente como para reducir el ph a niveles de 4-5, puede producirse una liberación de hidrógeno sulfurado. A un ph 7,5 aproximadamente, el 30 % del ión sulfuro presente en el residuo líquido, está como hidrógeno sulfurado, el cual al oxidarse por bacterias aeróbicas produce ácido sulfúrico, que es particularmente corrosivo para metales y concreto.

4. Color

El color del residuo líquido de una curtiembre, proviene del proceso de curtido y de la etapa de acabado por el uso de tinturas para el teñido de los cueros. El exceso de color en un curso de agua puede inhibir la actividad de la vida acuática, siendo además un problema de orden estético importante.

5. Turbiedad

La turbiedad es causada por sustancias en suspensión y en algunos casos por material coloidal. Estas materias interfieren en la actividad de recolección de alimentos de los peces y otros tipos de organismos acuáticos, a causa de la reducción de la visibilidad, afectando también al proceso de fotosíntesis.

6. Ph y alcalinidad

El ph de los efluentes de una curtiembre está en un rango alcalino con valores entre 9 y 11. Esto puede afectar la vida acuática presente en el curso de agua, el florecimiento de algas, etc. Cuando se descarga directamente al alcantarillado produce corrosión y pérdida de la capacidad de las cañerías por incrustaciones.

7. Cromo

Su forma más común es la de Cromo trivalente (Cr+3), que es un catión ácido con toxicidad relativamente baja, ya que no es de naturaleza corrosiva y es poco permeable en membrana biológica. También puede funcionar con valencia 6, Cr+6, que es mucho más tóxico y corrosivo que el Cr+3 y además resulta muy permeable en membranas biológicas. En las dos formas, trivalente y hexavalente, el cromo afecta gravemente la oxidación biológica de los residuos líquidos si se encuentran en concentraciones superiores a 50 mg/lt para Cr+3 y 5 mg/lt para Cr+6.

D. EL PROBLEMA AMBIENTAL DE LOS RESIDUOS LIQUIDOS DE LAS CURTIEMBRES

Actualmente en Chile todas las industrias que vierten efluentes líquidos contaminantes están obligadas a preocuparse concretamente de este problema y darle una solución, pues ya está en proceso de elaboración una norma específica que controlará la carga contaminante de todos los efluentes líquidos industriales que sean descargados directamente al alcantarillado o a cursos de agua.

En particular, los efluentes líquidos de las curtiembres presentan una alta carga contaminante, producto de la materia prima y los insumos químicos utilizados. Además, el proceso de curtido es intensivo en el uso de agua, por lo que se tienen grandes volúmenes de efluentes vertidos. El consumo promedio de agua por kg de piel curtida puede variar desde 25 lt/kg hasta 80 lt/kg para tecnologías aparentemente similares.[8]

En Chile, el consumo promedio para el curtido de pieles de vacuno, que son las de mayor consumo de agua, es de 40 a 50 lt/kg,[9] lo que implica que se tiene un gasto de agua de 1000 a 1200 lt/cuero*. Para los otros tipos de pieles el consumo de agua es mucho menor.

Con el fin de tener una visión general de la situación de las curtiembres respecto a sus efluentes líquidos, la Asociación de Químicos y Técnicos del Cuero realizó una investigación en 1991.[10] Se consultaron un total de 14 curtiembres, de diferentes tamaños, ubicadas mayoritariamente en la Región Metropolitana. Las principales conclusiones obtenidas se resumen a continuación.

Respecto a la existencia de alguna clase de tratamiento de las aguas residuales se obtuvo que el 85% de las curtiembres encuestadas realizan una eliminación primaria de los sólidos en suspensión de mayor tamaño, para luego pasarlos a una decantación sólo por acción de la gravedad y posteriormente eliminarlos a la red de alcantarillado. Los barros y los otros sólidos son retirados por empresas de terceros que prestan sus servicios.

Respecto a los insumos químicos, el 93% de las curtiembres encuestadas en esta investigación, no recuperan el cromo residual de los baños, lo que implica un gran daño ecológico y una pérdida de insumos que pueden ser reutilizados. Además hay una indiscriminada eliminación de sulfuros, cuyos valores en las descargas superan en gran medida los límites establecidos en normas internacionales. El 64% de las curtiembres encuestadas carece del espacio físico para la construcción de plantas de tratamiento, lo que es una gran limitante, especialmente en la Región Metropolitana.

Como se sabe, el contenido de los residuos líquidos de una curtiembre depende de las etapas del proceso que se realicen y de los productos utilizados y puede variar de una curtiembre a otra, por lo que no es fácil caracterizarlos. En el estudio citado se

---

* El peso de las pieles de bovino varía en un rango de 15-40 kg, el de las pieles ovinas entre 1-3 kg, y el de las porcinas entre 2-4 kg. En este caso se consideran las pieles de bovino con un peso promedio de 25-30 kg. Como valor indicativo se puede decir que el consumo de agua per cápita en Chile es de 200 lt/día.

midieron distintas descargas en las diferentes curtiembres y se obtuvieron valores promedio para una descarga final, los cuales se presentan en el Cuadro 7,[11] junto con los límites establecidos en normas internacionales.

Cuadro 7

DESCARGA PROMEDIO CURTIEMBRE
(Valores en mg/lt)

Parámetros	Valores promedio a/	Rango valores de normas internacionales b/
Cromo trivalente	134	1.00-5.00
Sulfuros libres	100	0.01-5.00
Sulfatos	2200	150.00-1000.00
DBO	1500	5.00- 250.00
Sólidos no filtrables	637	20.00-300.00
Aceites y grasas	110	5.00- 50.00
Sólidos sedimentables	59	
Ph	7.2	5.00-10.00
Temperatura descarga	19	25-40
Conductividad	2380	
Sólidos filtrables	4396	
Tanino	5	
Turbiedad	7.2	
	5	

a/ José Corbalán, Las curtiembres y el tratamiento de sus aguas, ACHIQTEC, 1991.

b/ Guía técnica UNEP/IEO, "Tanneries and the environment", 1991, p. 81. Estos rangos de valores máximos permitidos corresponden a países como Brasil, Dinamarca, Francia, Alemania, Hungría, India, Italia, Japón, Reino Unido, Estados Unidos.

Para tener una idea del contenido de las aguas residuales de curtiembres en Europa se presenta a continuación una estimación para curtiembres de cuero vacuno, con un consumo de agua de 40 a 50 lt por kg de piel (igual al consumo promedio de agua de las curtiembres en Chile).

Cuadro 8

DESCARGA PROMEDIO CURTIEMBRE
(Valores en mg/lt)

Parámetros	Valores
Cromo trivalente	100a/
Sulfuros libres	100-200
Sulfatos	1500
DBO	1000-2000
Sólidos en suspensión	2000-3000
Sólidos totales	8000-12000

Fuente: "Curtir, teñir y acabar", Bayer, 1992.
a/ Este valor corresponde a aguas residuales sin eliminación preliminar de cromo; si se elimina previamente el cromo del baño de curtición, correspondería a un valor aproximado de 40 mg/lt.

E. TECNOLOGIAS EN EL PROCESO DE CURTIDO

En los países desarrollados que ya han enfrentado este problema se han implementado, tanto tecnologías convencionales de tratamiento de efluentes -es decir, tecnologías correctivas- como tecnologías preventivas o limpias, destinadas a mejorar los procesos con el fin de disminuir la carga contaminante que se genera en cada etapa.

En el sector curtidor chileno existe un gran interés por llegar a desarrollos tecnológicos cada vez más actualizados, pero en la realidad, la mayor parte de las curtiembres trabaja con máquinas reacondicionadas y con algunos años de uso.

En una encuesta realizada durante 1991 para el informe sectorial del cuero y calzado, que se presentó en el Centro de Negocios y de Transferencia Tecnológica de FISA, más de un 50% de los entrevistados declaró haber incorporado tecnologías para disminuir los niveles de contaminación y haber cambiado criterios en la compra de insumos químicos en el último año. En esta encuesta se entrevistó a un número representativo de curtiembres del país.

En el Cuadro 9 se indican las cifras de importación de maquinarias para el sector de curtiembres en los últimos años.

Cuadro 9

MAQUINARIAS Y APARATOS PARA LA PREPARACION DEL CURTIDO O TRABAJO DE CUEROS Y PIELES

(Miles de US$ de cada año a precios CIF)

AÑO	UNIDADES	MONTO
1988	51	400
1989	105	1508
1990	89	1074

Fuente: Banco Central de Chile.

A continuación se describen las tecnologías correctivas y las tecnologías limpias disponibles para aplicar en el proceso de curtido.

1. Las tecnologías para el tratamiento de efluentes líquidos[12]

Los efluentes de una curtiembre contienen distintos productos químicos que necesitan ser tratados. Existen diferentes opciones para cada proceso y la elección final depende de la curtiembre y de los estándares de descarga que existan.

Las tecnologías de tratamiento que se conocen son:

- Pre-tratamiento: rejas mecánicas para remover el material grueso.
- Tratamiento primario: incluye la remoción de sulfuros desde los baños de pelambre, la remoción del cromo desde los baños de curtido, la igualación de flujos (homogeneización) y el tratamiento físico-químico para disminuir la DBO y neutralizar.
- Tratamiento secundario: generalmente es un tratamiento biológico.
- Tratamiento terciario: incluye nitrificación y desnitrificación.
- Sedimentación y manejo de barros.

a) Pre-tratamiento

i) Tamizado

El primer paso es tamizar todo el efluente para remover los sólidos gruesos que causan bloqueo en cañerías, bombas y canaletas. Las rejas usadas requieren una limpieza y mantención regular.

Se usan las rejas rotatorias y autolimpiantes. Con un diseño apropiado de ellas se puede lograr entre un 30% y un 40% de remoción de los sólidos suspendidos en las aguas residuales.

ii) Sedimentación

Una parte significativa de la DQO de las aguas residuales proviene de los sólidos orgánicos, y con una sedimentación preliminar puede removerse hasta un 30% de esta demanda (DQO), ahorrando productos químicos floculantes en el tratamiento posterior y reduciendo el volumen de barros.

iii) Igualación de flujos

Con el fin de mejorar la eficiencia del tratamiento y evitar que el diseño del tamaño de la planta de tratamiento tenga que incorporar los volúmenes de flujo peak, se incorpora un sistema para balancear y combinar los efluentes. Previo a esta etapa de igualación, se deben tratar los baños que contienen sulfuros y los que contienen cromo por separado, de manera de obtener las aguas ya libres de estos productos químicos. Los tanques de balance (igualación de flujos) deben ser capaces de contener el volumen de efluentes de un día, y su nivel no debe caer bajo un 30% del volumen total, para asegurar la igualación de flujos.

Es esencial que los sólidos suspendidos no sedimenten y que las condiciones aeróbicas se mantengan; esto se puede lograr con movimiento mecánico o con inyección de aire en el nivel inferior del tanque por medio de un difusor. El requerimiento típico de potencia para la mezcla es de 30 watts/m3 de líquido.

La inyección de aire puede ser particularmente útil para favorecer también la floculación. Para un tanque de 2-4 m de profundidad -en la mayoría de las circunstancias- es óptimo un flujo de aire de 3-4 m3/hora por m2 de tanque.

b) <u>Tratamiento primario</u>

El tratamiento primario consiste en un proceso físico-químico básico para remover la mayor cantidad de contaminantes de las aguas residuales, tales como el DBO, DQO, sulfuros y cromo.

i) Baños con sulfuros

Cuando los baños con sulfuros son neutralizados se libera H2S (gas), por lo que estos baños deben ser tratados separadamente. A continuación se describen las posibilidades de tratamiento existentes.

- Oxidación catalítica de los sulfuros: existen tecnologías de bajo costo que usan aireación en presencia de

manganeso catalizador. Es normal llevar a cabo el proceso todos los días para evitar los olores en las aguas almacenadas. La aireación puede ser efectuada en torres altas, con aire inyectado en la base por medio de un set de difusores, o alternativamente con aireadores superficiales. Aproximadamente 60 m3 de aire se necesitan por cada m3 de efluente.

Las concentraciones de catalizador son de alrededor de 100 mg/lt de Mn, con un proceso de ph alrededor de 10. La oxidación catalítica no continúa totalmente hasta la forma de sulfato. Si se permite que los baños tratados estén sin movimiento algún tiempo, el sulfuro es nuevamente formado.

- Precipitación directa: sulfato ferroso y cloruro férrico pueden ser usados para remover los sulfuros desde la solución por precipitación. La adición de sales de hierro es usualmente practicada sólo para igualar la mezcla.

ii) Remoción de cromo

La precipitación de cromo es relativamente simple. El éxito de la operación depende de la capacidad de recolectar la mayoría de los baños de curtido para el tratamiento.

La necesidad de un tratamiento especial para los baños con cromo está determinada por los requerimientos relativos a los lodos. Si existe una norma que regule el contenido de cromo en los lodos, el tratamiento separado de la corriente con cromo aislará el cromo en un barro reducido. Este barro puede ser removido para una disposición especial controlada, aunque es preferible que sea tratado para su reutilización. El lodo que se obtiene está prácticamente libre de cromo.

Para obtener un efluente libre de cromo se sugiere que el ph de los baños de curtido y recurtido sea elevado sobre un valor de 8 mediante la adición de cal, sales de aluminio (200 ppm Al) y polielectrolitos aniónicos (5 ppm) para dar una sedimentación rápida. El líquido clarificado se pasa entonces a un tratamiento físico químico posterior.

iii) Tratamiento físico-químico para la remoción de sólidos y DBO

Una tecnología relativamente simple permite la remoción de hasta un 95% de los sólidos suspendidos y alrededor de un 70% de la DBO a través de un tratamiento físico-químico.

El tratamiento físico-químico convencional de los efluentes de una curtiembre está constituído por un pre-tratamiento y una dosificación con coagulantes y floculantes, seguido por una sedimentación, manejo y disposición de los lodos generados. La

coagulación es fácilmente lograda con sulfato de aluminio o sulfato ferroso, ambos de bajo costo, rápidamente disponibles y efectivos.

El sulfato ferroso tiene la ventaja de que también remueve los sulfuros, pero esto causa coloración del líquido y de los barros.

La dosificación óptima de productos químicos y las condiciones de ph son encontradas usualmente a través de experimentación in situ, la cual está determinada por las características de los efluentes, el equipo disponible, el nivel de clarificación esperado, y los floculantes (si son empleados).

La eficiencia de la coagulación puede ser mejorada por la adición de floculantes, que son largas cadenas aniónicas de polielectrolitos, con concentraciones que por lo general son de 1-10 mg/lt. Las condiciones de uso de tales floculantes pueden ser mejor especificadas por los proveedores o determinadas por experimentación.

c) Tratamiento secundario

En aquellos casos en que los límites controlados por las normas exigen un efluente de alta calidad, será necesario recurrir a un tratamiento secundario biológico. Para este tipo de tratamiento existen las siguientes alternativas:

- filtros biológicos
- barros activados (fosas de oxidación)
- barros activados (convencional)
- lagunas(ventiladas, facultativas o anaeróbicas)

Todos los sistemas anteriores han sido usados exitosamente en el tratamiento de los efluentes de curtiembres. Sin embargo, los resultados de estas experiencias indican que el sistema elegido debe ser suficientemente fuerte para resistir los ocasionales shock de carga y otras irregularidades (pérdidas de potencia, etc.), las cuales pueden ser encontradas en algunas curtiembres. Por esta razón, los filtros biológicos son a menudo descontados.

Durante el tratamiento de barros activados, el efluente orgánicamente contaminado es puesto en contacto con una gran concentración de bacterias aeróbicas y otros microorganismos en una aglomeración biológica conocida como "barros activados".

El sistema de barros activados de baja carga es particularmente apropiado para los efluentes de curtiembre. Comparado con los sistemas convencionales de alta tasa, el prolongado tiempo de retención que es de 2 a 4 días y la baja carga orgánica de este sistema favorecen la capacidad para resitir el carácter variable de los efluentes y los shock de carga

experimentados en las curtiembres, así como también produce una reducida cantidad de lodo final.

Los costos de construcción y mantención de la fosa de oxidación son relativamente bajos. Cuando es apropiadamente operada puede producir efluentes con menos de 20 mg/lt de DBO. Generalmente es mejor remover los sulfuros y el cromo primero para evitar posibles efectos tóxicos en el lodo biológico.

Las fosas de oxidación necesitan normalmente la adición de pequeñas cantidades de fosfato para mantener la actividad biológica de los lodos, pues este elemento no está presente siempre en cantidad suficiente en los efluentes de una curtiembre. Una dosis de abono de 10 kg/día (18.5% P205) por 100 m3 de efluente/día ha resultado exitosa en algunos casos.

El tratamiento de lodo convencional de alta tasa, puede ser una opción alternativa para el tratamiento secundario cuando el espacio es limitado. La oxidación tiene lugar en un tanque continuamente aireado y es por lo tanto, intensivo en energía (hasta 1 kw/kg DBO). Un tiempo de retención de 6 a 12 horas es usualmente suficiente. Este tipo de tratamiento es sensible a los shock de carga y puede por lo tanto resultar inadecuado para las condiciones irregulares encontradas en los países en vías de desarrollo.

Una solución diferente es posible en situaciones rurales donde las lagunas pueden ofrecer una solución potencial de bajo costo y baja mantención para el tratamiento de los deshechos. Algunas posibilidades son:

- Lagunas anaeróbicas: Pueden remover hasta un 85% del DBO en diez días. Sin embargo, normalmente producen una contaminación del aire significativa y favorecen la reconversión de sulfuros con la subsiguiente liberación de súlfuro de hidrógeno. Por esto son apropiadas para localidades remotas. El costo de tales lagunas es bajo, pues sólo requiere un estanque de 3 metros de profundidad.

- Lagunas facultativas: Operan con una capa aeróbica sobre una capa más profunda de deshechos en descomposición anaeróbica. Son de gran tamaño y menos perjudiciales. Estas lagunas deben ser diseñadas para tener una fotosíntesis natural. Sin embargo, bajo tales condiciones están sujetas a los efectos de las variaciones climáticas y no pueden ser perfectamente controladas.

- Lagunas aireadas: Han sido operadas en muchas curtiembres con inputs de 10-30 W/m3, empleando usualmente aireadores superficiales mecánicos.

- Lagunas facultativas aireadas: En Francia se ha reportado que con este sistema se puede lograr una reducción desde 660 mg/lt a 90 mg/lt empleando sólo 2 W/m3 para nueve días de retención. El

sistema está supuesto para proveer el oxígeno suficiente como para permitir la actividad de purificación biológica, usando la capacidad de movimiento de los aireadores para mantener los sólidos en suspensión.

- Lagunas de evaporación: Pueden ser operadas en áreas secas. Las dimensiones están sujetas a las tasas de evaporación locales. Las lagunas de evaporación pueden producir olores nocivos a menos que sean diseñadas apropiadamente.

c) Tratamiento terciario. Nitrificación/desnitrificación

Problemas de eutroficación en aguas subterráneas pueden requerir la reducción de la carga de nitrógeno descargada por grandes instalaciones. Donde no es factible el reemplazo de sales de amonio, la remoción del nitrógeno es necesario a través de la nitrificación/desnitrificación biológica. Este proceso, aunque es bien conocido, es costoso y requiere una operación exacta en manos de personal especializado.

d) Sedimentación y manejo de lodos

La forma y dimensión de los tanques y depósitos es crítico en la obtención de buenas tasas de sedimentación.

Los tanques de flujo horizontal, aunque son de bajo costo, generalmente tienen baja eficiencia. Si no son limpiados en la superficie mediante raspado mecánico pueden llegar a taparse rápidamente. Con un tanque lleno de barro, el efluente pasará sobre la superficie sin que ocurra sedimentación completa.

Las dimensiones del tanque de sedimentación de flujo horizontal deben permitir un tiempo de retención de seis horas. Para una limpieza regular del barro sedimentado es necesario tener un tanque adicional. La limpieza puede hacerse por gravedad o con una bomba de lodo, después de que el sobrenadante ha sido bombeado a la unidad siguiente.

Los tanques de sedimentación vertical son más eficientes y más costo-efectivos (mayor efectividad versus costos) que los horizontales para las curtiembres. Pueden ser hechos de acero, fibra de vidrio, concreto o madera.

Para que sean autolimpiantes se requieren paredes de 60 grados de inclinación. Los requerimientos básicos exigen algún grado de turbulencia a la entrada para asegurar la mezcla y favorecer la floculación. Se debe evitar la turbulencia en el resto de la unidad. Los sólidos sedimentados por gravedad y concentrados en la base deben ser extraídos mediante válvulas. El efluente clarificado

es escurrido lentamente por la parte superior del tanque y la tasa de salida debe estar entre 1.0 - 1.5 m3/m2/hora.

La flotación es un método alternativo para remover los sólidos suspendidos desde el efluente mezclado. El aire es disuelto bajo presión en el efluente entrante. Cuando esta presión es constantemente disminuída en los conductos de tratamiento, pequeñas burbujas de aire son liberadas llevando los sólidos suspendidos a la superficie. Las burbujas de aire pueden ser producidas también por electrólisis del efluente.

El lodo proveniente de la sedimentación primaria puede tener sólo entre 3%-5% de sólidos, y puede ser manejado por bombeo o por gravedad. En esta forma, es posible el transporte en tanques.

El volumen de lodos puede ser calculado desde los parámetros básicos de la planta. Un flujo diario de 400 m3 con un nivel inicial de sólidos suspendidos de 3300 mg/lt y con una eficiencia de clarificación de un 95% produce 1250 kg/día de sólidos secos.

A menudo, a fin de reducir el volumen de lodos para la disposición se deshidratan. La deshidratación puede consistir en un secado simple o en el uso de equipo mecánico para hacer salir el agua. Anterior a la deshidratación, pueden ser empleados tanques similares a los de sedimentación para espesar los lodos, logrando una concentración de lodos de 10% en un día. De todos modos los lodos espesados presentan dificultades en su manejo y requieren un tratamiento adicional. Por ejemplo, lechos de secado u otras alternativas descritas anteriormente.

Los lechos de secado son utilizados para curtiembres pequeñas en localidades rurales. Requieren un capital bajo pero son intensivos en mano de obra, pues usualmente deben ser vaciados manualmente cuando el material se ha secado. Los lodos deben ser sacados (con palas) cuando el contenido de sólidos es de alrededor de 25%-30%. En estas condiciones, la torta de barro puede ser removida para su disposición o para el uso en agricultura si está libre de cromo. El olor puede ser minimizado por aspersión en la superficie con cal hidratada. La capa de arena en la base del lecho es usualmente removida junto a la torta de barro y debe ser repuesta.

Los lechos de secado son normalmente construídos de capas de medio filtro tales como arena gruesa y arena. Las cañerías de drenaje de agricultura colectan el efluente líquido en la base. Este es reciclado al tanque de igualación (homogeneización) para un proceso posterior.

Una producción diaria de 30m3 de lodo puede ser extendida sobre los lechos de secado a una profundidad de 0.5m, requiriendo 60m2 de lecho/día. Un tamaño conveniente para el lecho de secado es de 14m por 5m.

El período de secado puede variar desde dos hasta cuatro semanas, dependiendo de las condiciones locales y del grado de acondicionamiento que se haga con los productos químicos.

Como una alternativa, el filtro de prensa puede ser usado para deshidratar el lodo. Actualmente, los filtros de prensa están siendo eliminados gradualmente a cambio de otros métodos debido a su alto costo de operación y de capital.

La prensa de cinta (correa) tiene la ventaja de que el costo de capital es relativamente bajo. La mayoría de las unidades que se ofrecen tienen una unidad integral de dosificador/ acondicionador. La cinta de funcionamiento continuo deshidrata hasta un contenido de sólidos de 20%-30 %, que no es tan seco como el filtro de prensa, pero que permite manejar fácilmente el material. Esta puede ser recomendada para curtiembres con volúmenes de efluentes sobre 400 m3/día.

Si el lodo está libre de sulfuros y cromo, su composición es casi exclusivamente orgánica y puede por lo tanto ser usado como fertilizante o acondicionador de suelo agrícola. A fin de evitar la descomposición durante el manejo y los consiguientes efectos dañinos, el lodo debe ser rápidamente usado o en su defecto, primero secarlo para almacenarlo.

Si no es reusado, el lodo debe ser dispuesto de modo que no constituya una molestia. El lodo seco (deshidratado) se usa como tierra de relleno. Se recomienda cubrirlo rápidamente una vez que ha sido dispuesto.

Si el lodo no es deshidratado puede ser dispuesto sólo en sitios y bajo condiciones especiales. Pero se deben hacer todos los esfuerzos para proceder a través del almacenamiento sólido.

e) Sistemas avanzados de tratamiento

En lugares donde los efluentes deben cumplir estándares más altos se requeren sistemas más avanzados. Los procesos deben incluir las etapas de alta aireación, nitrificación-desnitrificación (usualmente biológica), filtración de alta eficiencia, filtración con carbón para remover pesticidas y otros compuestos orgánicos y evaporación para separar la sal. También implica una deshidratación y manejo de lodos más sofisticados.

En general, el diseño de sistemas avanzados es confeccionado para las circunstancias específicas de una planta particular y según la calidad del efluente que se obtiene. Este diseño requiere estudios cuidadosos de ingenieros experimentados en aguas residuales. Su operación es más exigente y más costosa que el tratamiento primario simple o el tratamiento secundario.

Si bien, es efectivo que una separación cuidadosa de los flujos y un pre-tratamiento facilitan la operación de sistemas avanzados, éste es un punto en que el curtidor debe considerar si es mejor invertir en productos químicos alternativos o procesos de producción, a fin de evitar la necesidad de un tratamiento completo.

f) Tratamiento comunal

Donde existen numerosas curtiembres cercanas tiene sentido económico operar un sistema de tratamiento comunal. El costo de la unidad de tratamiento es más bajo y un gran número de profesionales expertos están disponibles para operar la planta. El gran volumen de los efluentes sirve para amortiguar las variaciones de los flujos provenientes de cada curtiembre.

El cuerpo administrativo para esta planta puede ser una autoridad local o una cooperativa de los mismos curtidores. Hay muchos ejemplos de plantas de tratamiento comunales exitosas.

Es importante tener en cuenta que los problemas de emisiones de cada curtiembre son individuales, no hay un efluente estándar de curtiembre. Esto refleja la gran diversidad en la producción de cuero y el hecho de que la materia prima en sí misma no es uniforme. De este modo, los requerimientos para el tratamiento de efluentes de cada curtiembre deben ser evaluados individualmente, no sólo de acuerdo con el proceso que está siendo empleado y el tipo de materia prima que está siendo procesada, sino también de acuerdo con la localización de la curtiembre, los volúmenes de agua usados y emitidos y la dirección de las emisiones (aguas superficiales, alcantarillados, etc.).

Para una curtiembre localizada en un país con espacio, donde hay lugar para lagunas, éstas son el mejor medio para el tratamiento de efluentes y reducción de los lodos. En las áreas urbanas, donde el espacio es escaso, se necesitan medios más sofisticadas con el fin de producir efluentes que puedan ser dispuestos en los alcantarillados municipales. Los olores y ruidos requieren también de medidas especiales. En lugares donde las curtiembres operan muy cercanas, un tratamiento de efluentes común ofrece ventajas definitivas.

Los procedimientos de zonificación y planificación del uso del suelo son específicos para cada país. No hay sistemas internacionalmente aplicables que puedan ser recomendados como un ejemplo. Pero hay principios que pueden ser útiles como guía en el desarrollo de una planeación de requerimientos, tales como:

- La curtiembres deben ser clasificadas como potencialmente ofensivas al medio ambiente, a menos que sean adoptados estándares técnicos muy altos en el diseño y operación de la planta. En

lugares donde son aplicados bajos estándares, se recomienda que se ubiquen lo más lejos posible de áreas pobladas.

- La localización en zonas de industria pesada es recomendable en muchas situaciones.

- Las zonas periféricas establecidas alrededor de las curtiembres no deben ser desarrolladas para el uso urbano intensivo.

- Idealmente el permiso de localización debe estar acompañado por una autorización de funcionamiento que permita un control actualizado sobre la operación durante la vida de la planta.

- En localidades con poco espacio es preferible tener los servicios de plantas de tratamiento comunales.

Cuando un criterio de localización es finalmente adoptado, todas las nuevas curtiembres deben intentar operaciones libres de olores para la mayor extensión del área que sea posible. Las zonas remotas o aisladas no son excusa para la falta de un adecuado diseño de planta.

2. Tecnologías limpias en las curtiembres

A continuación se detallan los cambios que se han aplicado al proceso de curtido en países desarrollados, con el fin de lograr una producción más limpia, es decir que genere una carga contaminante menor que la de los procesos tradicionales.[13]

Al hablar de tecnologías limpias se está hablando de procesos distintos o modificados de producción. Específicamente en el campo de las curtiembres, se refiere a tecnologías distintas o modificadas y no a la depuración de las aguas residuales, del aire o a la eliminación de los residuos sólidos que se generan en los actuales procesos de producción.

Agunas de las tecnologías limpias que se ocupan actualmente son:

a) Enfriamiento de la piel para conservarla sin emplear sal

Esto se ha puesto en práctica en Alemania, donde una notable cantidad de pieles son enfriadas con hielo en el matadero y luego transportadas. Estas pieles son trabajadas inmediatamenta o bien, frecuentemente, son enfriadas más a fondo en grandes centros frigoríficos. Sin embargo, debe decirse que este procedimiento se ha introducido debido a razones de costo y no exclusivamente por el ahorro de sal, pues el transporte de las pieles frescas directamente a las curtiembres es más barato que los jornales

ocupados en el proceso de salado, postsalado y preparación de las pieles en paquetes. El uso de pieles frescas ha dado como resultado mejores curtidos.

b) Procesos que benefician el pelo con el fin de que las aguas residuales no resulten tan contaminadas

Se dispone de procedimientos comprobados, como el de Darmstadt, que ya se ha aplicado industrialmente durante 3 años. También existen procedimientos en los que se beneficia el pelo y que se basan en la llamada inmunización del mismo. Estos son, el procedimiento HS de la RÖhm, el proceso Blair, el proceso Sirolime. De ellos, posiblemente el que más éxito ha tenido, es el HS de la RÖhm a causa de la alta seguridad de funcionamiento en fábrica. Desde hace dos años se está aplicando con éxito creciente en la práctica. La difusión aumenta continuamente. De momento tiene el inconveniente del uso racional del pelo que queda luego de la etapa de apelambrado.

c) Depilado apoyado enzimáticamente a efectos de ahorrar productos químicos de apelambrado agresivos y/o tóxicos, sobre todo sulfuros

Tales procedimientos ya fueron patentados e introducidos hace decenios por la firma RÖhm e incluso fueron aplicados a temporada, pero nunca han estado exentos de riesgo y los efectos de ahorro han sido sólo limitados, por lo que posteriormente fueron retirados.

Recientemente en Inglaterra, el Instituto de la Confederación Británica del Cuero (BLC) ha propagado de nuevo el empleo de enzimas conjuntamente con sulfuros en un apelambrado de breve duración. Este procedimiento fue aplicado en una curtiembre inglesa durante algunas semanas, pero posteriormente fue retirado.

Existen también otros procedimientos con poco sulfuro que se basan en el empleo conjunto con productos químicos exentos de sulfuros. Se consigue ahorrar sulfuro hasta un nivel de 0.5% mediante el empleo conjunto de ácido tioglicólico, o sea, el procedimiento Erhavit, el cual se ha difundido en la práctica desde hace años. También pertenece a este grupo el empleo de compuestos de mercaptanos, el Mollescal SF. Estos procedimientos se han adoptado no sólo por el ahorro de sulfuros, sino sobre todo, a causa de la reducción controlada del hinchamiento y de la mejora de la calidad del cuero obtenido.

d) Desencalado con dióxido de carbono con el fin de evitar las sales amoniacales

La introducción se está produciendo de modo lento y creciente, pero en la magnitud deseada. Sobre todo porque para desencalar pieles sin dividir, se requiere mucho tiempo y no se ha encontrado todavía el modo de solucionar este inconveniente.

e) Curtiente al cromo de alto agotamiento

Desde hace años se ha implantado en con éxito la práctica del uso de ácidos dicarbónicos para disminuir el cromo residual en los baños de curtición, aunque existen límites, pues no se ha podido llegar por debajo de las cantidades residuales de cromo que legalmente están prescritas para el vertido de las aguas residuales en los cauces públicos. Esto implica que hay que realizar adicionalmente una precipitación de cromo residual. En todo caso, la mejor fijación del cromo en los procesos de recurtición, tintura y engrase es una gran ventaja.

Un mejor agotamiento también se consigue con ácido glicólico, así como con ácidos poliacrílicos. La aplicación de estos métodos se va extendiendo cada vez más, aún cuando no son suficientes para cumplir los valores legalmente establecidos.

f) Recirculación de los baños de cromo

Se aplica desde hace tiempo para reducir la cantidad de cromo en las aguas residuales. Los baños recirculados pueden ser aplicados en el piquelado y también de nuevo en la curtición, pero antes deben reunirse y se les debe quitar cuidadosamente la grasa y las fibras, deben ser sometidos a un análisis especialmente cuidadoso y ser adecuadamente ajustados. El costo de este procedimiento es muy significativo. Se aplica poco en Europa, pero sí mucho en Japón y otros países.

g) Recirculación del cromo después de precipitación y redisolución

Este procedimiento es practicable con ciertos costos pero tiene sus límites, ya que sólo se puede trabajar con soluciones de cromo puro. Además los engrasantes en la curtición al cromo o las adiciones de, por ejemplo, curtientes polímeros impiden el proceso de redisolución. En esto hay experiencia de decenios en la firma Freudenberg y recientemente también en otros sitios.

h) Curticiones alternativas

Cada vez se están proponiendo más curticiones alternativas, pero ninguno ha conseguido imponerse hasta ahora en la práctica, ya que por una parte se pierde la posibilidad de producir cueros estables al agua hirviente, y por otra, se modifica fuertemente el carácter del cuero. Esto ocurre con todas las sales metálicas curtientes y sus combinaciones con otros curtientes.

i) Substitución parcial del cromo

Este procedimiento parece ser una salida, pero se ha visto que casi siempre se pierde la resistencia al agua hirviente. Una parcial sustitución del cromo conservando la resistencia al agua hirviente, es posible sólo con muy pocas combinaciones seleccionadas de cromo -por ejemplo- productos de la reacción de Mannich del ácido pirúvico o de la resorcina o por medio de ácido glicólico, pero en ningún caso, mediante la aplicación de otras sales metálicas.

j) Acabados con pocos disolventes

Estos desarrollos están en marcha y aunque la adaptación es difícil, se ve cada vez con mayor claridad que será realizable. En primer lugar parece que es inevitable un costo mayor en el ajuste de determinadas propiedades. Cabe esperar que tales costos se podrán ir reduciendo con el tiempo. Se consigue trabajar con dispersiones diluibles con agua mediante una sistemática eliminación expresa de la hidrofobicidad en todos los componentes de los líquidos de acabado, por ejemplo, en los pigmentos, en los agentes de mateado y en los ligantes. De momento parece que todavía es inevitable la aplicación de reticuladores bastante tóxicos. Pero estos acabados nunca estarán totalmente exentos de disolvente.

IV. LEGISLACION Y NORMATIVA EN CHILE

A. SITUACION ACTUAL DE LA LEGISLACION[14]

Entre los años 1988-1989 se estructura en Chile un nuevo escenario jurídico e institucional en el sector sanitario debido a la dictación de diversos cuerpos legales.

En Enero de 1990 la Ley 18.902 creó la Superintendencia de Servicios Sanitarios, servicio público funcionalmente descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propio, sujeto a la supervigilancia del Presidente de la República, a través del Ministerio de Obras Públicas, que constituye una instancia administrativa (con 95 funcionarios aproximadamente) y a la cual se le atribuyeron las funciones de fiscalizar a prestadores de servicios sanitarios, ejercer el control de residuos líquidos industriales (RILES), dictar reglamentos y proponer normas.

Existe en Chile desde el año 1916 la Ley Nº 3.133 del Ministerio de Obras Públicas (publicada el 7 de septiembre de 1916), que norma sobre el control de RILES, prohibiendo que establecimientos industriales vacien sus residuos líquidos sin previa depuración y neutralización.

Según lo dispuesto en la Ley Nº 18.902, a la Superintendencia de Servicios Sanitarios le corresponde el control de los residuos líquidos industriales, proponer las normas técnicas relativas al diseño, construcción y explotación relativas a las descargas de residuos líquidos industriales y velar por el cumplimiento de la normativa relativa a ellas. Como consecuencia, les corresponde además, velar por la aplicación de la Ley Nº 3.133, "Neutralización de los residuos provenientes de establecimientos industriales" y su reglamento, a todo establecimiento industrial que vierta sus residuos líquidos en cualquier tipo de acueductos, alcantarillas, vertientes, lagos, lagunas o depósitos de agua.

De acuerdo a estas facultades, la Superintendencia de Servicios Sanitarios ha divulgado a diversos niveles (industriales, mineros y gubernamentales) la total vigencia de la Ley Nº 3.133 y su reglamento. Ha dictado instrucciones para obtener su cumplimieto en el campo de los residuos líquidos industriales y ha adecuado el

procedimiento para la aplicación de esta Ley a la actual División Administrativa del país. Ya ha actuado en su calidad de organismo técnico normativo y fiscalizador, en los decretos en que el Presidente de la República ha autorizado el sistema de depuración y neutralización de residuos líquidos industriales, propuestos por los establecimientos industriales.

Hasta la fecha se han dictado tres Decretos Supremos de autorización de sistemas de depuración y neutralización de residuos líquidos industriales, que han sido preparados por esta Superintendencia. Estos corresponden a tres plantas de celulosa, de las cuales dos de ellas descargan sus aguas al río Bío Bío y la otra al río Mataquito (esta última aún no está en funcionamiento).

En estas autorizaciones se fijaron los límites de los parámetros de control de los residuos líquidos, en función del proceso y la producción de cada una. Asimismo, se fijó un programa permanente de monitoreo de la calidad del efluente, antes de su descarga al río y de la calidad del cuerpo receptor a partir de la puesta en operación de la industria, en las áreas adyacentes y de influencia de la descarga del efluente. Los parámetros de control de los residuos líquidos industriales que se establecieron para estas empresas de la celulosa son: demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales, ph y temperatura.

Las plantas de celulosa mencionadas son:

- Forestal e Industrial Santa Fé, con autorización del 16 de agosto de 1990, por Decreto Nº 191.

- Celulosa del Pacífico S.A., con autorización del 7 de enero de 1991 por Decreto Nº 2.

- Celulosa Licancel S.A., con autorización del 13 de marzo de 1992 por Decreto Nº 79.

La actual situación muestra un cambio desde un escenario de carencia de control sobre los residuos industriales líquidos y el consiguiente riesgo ambiental y sanitario (situación a marzo de 1990) a impulsar los instrumentos y la institucionalidad para garantizar el control y el tratamiento de dichos residuos, aplicando las medidas que se utilizan ya en los países desarrollados.

Está en proyecto una norma técnica relativa a descargas de RILES que se referirá a sistemas de recolección de aguas servidas y a cursos y masas de aguas superficiales y subterráneas. Para esto la Superintendencia ha encargado la elaboración de un Catastro Nacional de Descargas de Residuos Industriales Líquidos en el que se consultaron alrededor de 150 empresas en la Región Metropolitana.

Los principales objetivos de este catastro son los siguientes:

- Encuestar a todas las industrias y establecimientos conforme a ciertos criterios de selección, tales como, consumo de agua y carga contaminante potencial.

- Identificar dentro de este universo las industrias y servicios sanitarios que produzcan las mayores cargas contaminantes.

- Identificación de los principales usos de los cuerpos receptores afectados por las descargas.

- Ordenar las industrias encuestadas a nivel nacional por cuencas y áreas costeras.

- Definir planes de acción para abordar el problema de la contaminación hídrica.

Las actividades que se han cumplido respecto a este catastro a la fecha, son las siguientes:

a) Se enviaron a más de 2 500 industrias y establecimientos.

b) Se aplicaron encuestas a 44 empresas de servicios sanitarios (13 mixtas CORFO y 31 privadas).

c) Caracterización gráfica incluyendo las captaciones más significativas de los cuerpos receptores, indicando el uso de cada una de ellas.

El plan de trabajo futuro contempla los estudios y programas de muestreo necesarios para un control adecuado y un diagnóstico acabado y elaborar los sistemas de control en las cuencas más afectadas, incluyendo los instrumentos de control y la definición de prioridades.

B. PROYECTO DE NORMA TECNICA SOBRE RILES EN CHILE

La Superintendencia de Servicios Sanitarios y la Empresa Metropolitana de Obras Sanitarias S.A. (EMOS) están relacionadas en la elaboración, discusión y aprobación de la norma para residuos líquidos industriales. Actualmente este proyecto de norma ha sido entregado a los industriales para que conozcan los valores límites que son factibles de ser aprobados en la norma definitiva.

Los industriales curtidores ya han realizado discusiones respecto de estos posibles valores de la norma técnica y han presentado sus inquietudes, a través de la Asociación de Curtidores

de Chile y a la SOFOFA, la cual ha pedido a los industriales que expresen sus planteamientos y comentarios para así asesorar a las autoridades en las decisiones que se tomarán.

La principales preocupación de este gremio respecto al proyecto de norma se refiere a los altos valores exigidos en los parámentros que para ellos son relevantes, especialmente en la exigencia para el cromo y en la gradualidad y secuencia con que se aplicará esta norma.

Los posibles valores límites que controlarían las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de recolección de aguas servidas y a cursos y masas de agua superficiales y subterráneas, se indican en los Cuadros 9 y 10, respectivamente:

Cuadro 10

PROYECTO DE NORMA TECNICA RELATIVA A LAS DESCARGAS A SISTEMAS DE RECOLECCION DE AGUAS SERVIDAS

CARACTERISTICA	REQUISITO (mg/lt) a/
ph	5,5 - 9,0
Temperatura	35 C
Sólidos suspendidos	300
Sólidos sedimentables (a 1 hora)	20 ml/lt
Aceites y grasas	150
Hidrocarburos	20
DBO5	300
Arsénico	0,5
Cadmio	0,5
Cianuro	1
Cobre	3
Cromo	0,5
Fósforo	10
Mercurio	0,02
Níquel	4
Nitrógeno	80
Plomo	1
Sulfatos	600
Sulfuros	5
Zinc	5
Detergentes	2
Triclorometano	0,5
Compuestos fenólicos	0,5

Fuente: Departamento de Normalización y Control. Superintendencia de Servicios Sanitarios. Santiago, octubre 1992.

a/ En mg/lt si no se indica otra unidad.

Cuadro 11

PROYECTO DE NORMA TECNICA RELATIVA A LAS DESCARGAS A CURSOS Y MASAS DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS

Característica	Requisito (mg/lt) a/
ph	5,5-9,0
Temperatura	35 C
Sólidos suspendidos	100
Sólidos sedimentables (1 hr)	20 ml/lt
Aceites y grasas	50
Hidrocarburos	50
Arsénico	0,5
Cadmio	0,3
Cianuro	1
Cobre	3
Cromo	0,5
Fósforo	1
Fierro	10
Mercurio	0,02
Molibdeno	0,5

(continúa)

Cuadro 11 (conclusión)

PROYECTO DE NORMA TECNICA RELATIVA A LAS DESCARGAS A CURSOS Y MASAS DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS

Característica	Requisito (mg/lt) a/
Níquel	3
Nitrogéno	10
Plomo	1
Sulfatos	1000
Sulfuros	3
Zinc	5
Detergentes	2
Triclorometano	0,5
Compuestos fenólicos	0,5
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	1000

Fuente: Departamento de Normalización y Control. Superintendencia de Servicios Sanitarios. Santiago, octubre 1992.

a/ En mg/lt si no se indica otra unidad.

Nota: El color se permite sólo en bajas concentraciones, de modo que el efluente no introduzca color visible al receptor. (Válido para los cuadros 10 y 11).

C. SITUACION ACTUAL DE LOS INDUSTRIALES CURTIDORES

Actualmente algunas curtiembres ya han realizado contactos con expertos de Brasil, quienes han ofrecido su asistencia técnica para analizar en terreno el problema y proponer distintas soluciones posibles de tratamiento de las aguas residuales. Estas curtiembres, que son las de mayor tamaño,* han tenido más oportunidades de obtener información y de contactarse con expertos en el tema, de modo que están más cerca de adoptar soluciones concretas. No es igual para las curtiembres de menor tamaño que enfrentan una situación más difícil de superar si no se piensa quizás en soluciones conjuntas.

Por esto último, la Asociación Chilena de Técnicos del Cuero realizó en el mes de abril de 1993, una reunión en la cual estuvo presente un representante de la Empresa Italprogetti de Italia, que fue contactado a través de Servicios Químicos Integrales (SQI).

El fin de este encuentro fue conocer tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales que ya ha sido puesta en práctica con buenos resultados. También se mostró en video, el caso de una asociación de curtiembres en Italia que utilizan una planta de tratamiento común. La información entregada no fue muy explícita en cuanto a costos, pero se planteó la oportunidad de realizar contacto a través de SQI para que todos tengan acceso a las opciones que se plantearon.

Posteriormente, en el mes de mayo de 1993, se organizó el Primer Encuentro Nacional de Químicos y Técnicos del Cuero con el fin de integrar a todos los curtidores en la búsqueda y conocimiento de soluciones. A este encuentro asistieron invitados de Brasil, Argentina y Chile y se expusieron distintas experiencias respecto a las soluciones adoptadas para el tratamiento de las aguas residuales.

El tema principal de este encuentro fue el problema de las aguas residuales de las curtiembres. Se presentó la experiencia en la búsqueda de soluciones de una curtiembre ubicada en las afueras de Buenos Aires, la cual actualmente tiene una planta de tratamiento de aguas en la que se separa el efluente en tres flujos, aguas de pelambre, aguas de curtido y las otras; con el fin de oxidar los sulfuros y recuperar el cromo, antes de tratar todo el efluente final.

También se expuso la experiencia en Chile de la planta de tratamiento de la curtiembre Baska, la cual fue construída por una

---

* Corresponden a curtiembres que procesan entre 300- 700 cueros por día.

empresa chilena (AQUANEW) con asesoría de Brasil. Se presentó además, la tecnología en tratamiento de aguas residuales que ofrece la Empresa Environtek S.A., la cual tiene representación en Chile.

D. LIMITES DE DESCARGA EN OTROS PAISES

En países desarrollados donde el problema de los residuos líquidos industriales de curtiembres ya se ha solucionado o simplemente han desaparecido las curtiembres, la legislación es estricta respecto a los parámetros de interés para esta industria y parece que así se desarrollará también en Chile. En el Cuadro 12 se indican los límites de descarga hacia alcantarillados, ríos y otras aguas superficiales (1988-1989) en distintos países.

Cuadro 12

LIMITES DE DESCARGA HACIA ALCANTARILLADOS, RIOS Y OTRAS AGUAS SUPERFICIALES

	Argentina	Australia		Austria		Brasil
Parámetros						
mg/l		sup.	alc.	sup.	alc.	
Cromo VI	0.2					
Cromo III	2.0			0.5	0.5	
Cromo total		10	10	4.0	15.0	0.5
Sulfuros	1.0	5.0	5.0	1.0	5.0	1.0
DBO	50-100			60		120
DQO	10-40			80		360
Sólidos Suspendidos	0.5					130
Sulfatos		200	200			
Grasas	100			20	100	30
Ph	5.5-10.0	7.9	7.9	6.5-9.0	6.5-10.0	5.0-9.0
Temperatura	45	38	38			40

(continúa)

Fuente: Revista Leather, Reino Unido, octubre 1989, p. 31.

Cuadro 12 (Continuación)

LIMITES DE DESCARGA HACIA ALCANTARILLADOS, RIOS Y OTRAS AGUAS SUPERFICIALES

	Dinamarca		España		Francia		Alemania Occidental	
Parámetros								
mg/l	sup.	alc	sup.	alc.	sup.	alc.	sup.	alc.
Cromo VI	0.1		0.2	0.5	0.1		0.5	0.5
Cromo III	1.0	0.1	2.0	4.0	1.0		1.0	
Cromo total		2.0						
Sulfuros	2.0		1.0	2.0	2.0		1.0	2.0
DBO			40	300			20	
DQO			160	500	46-200	1000	200	
Sólidos Suspendidos	30		80	300				
Sulfatos			2000	2000				
Grasas	5.0		20	40				250
Ph	6.5-8.5	6.5 - 9.0	5.5-9.5	5.5-9.5	5.5-8.5	6.5-9.0	6.5-9.5	6.5-10.0
Temperatura	30	35	30	30	30	30	35	

(continúa)

Fuente: Revista Leather, Reino Unido, octubre 1989, p. 31.

Cuadro 12 (Continuación)

LIMITES DE DESCARGA HACIA ALCANTARILLADOS, RIOS Y OTRAS AGUAS SUPERFICIALES

	Grecia	Hungría		Holanda		Italia	
Parámetros							
mg/l		sup.	alc.	sup.	alc.	sup.	alc.
Cromo VI		0.5-1.0	1.0		0.0	0.2	0.2
Cromo III	0.5	2.0-5.0	5.0			2.0	4.0
Cromo total				0.05	2.0		
Sulfuros	1.0	0.01-5.0	1.0			1.0	2.0
DBO	13.3			5.0		40	250
DQO	20.7					160	500
Sólidos Suspendidos		50-150	75	80		80	200
Sulfatos			400	150	300	1000	1000
Grasas						20	40
Ph		5.0-10.0	6.5-10.0	6.5-8.5	6.0-9.0	5.5-9.5	5.5-9.5
Temperatura				25	30	30	35

(continúa)

Fuente: Revista Leather, Reino Unido, octubre 1989, p. 3.

Cuadro 12 (Continuación)

LIMITES DE DESCARGA HACIA ALCANTARILLADOS, RIOS Y OTRAS AGUAS SUPERFICIALES

	India	Japón	Nueva Zelanda	Polonia
Parámetros				
mg/l			alc.	alc.
Cromo VI				0.2
Cromo III	2.0			
Cromo total		2.0	5.0-50.0	0.5
Sulfuros	2.0		1.0-5.0	3.0
DBO	30	160		700
DQO	250	160		1000
Sólidos Suspendidos	100	200		350
Sulfatos				300
Grasas		30		50
Ph	5.5-9.0	5.0-9.0	6.0-9.0	6.5-9.0
Temperatura			55	

(continúa)

Fuente: Revista Leather, Reino Unido, octubre 1989, p. 31.

Cuadro 12 (Conclusión)

LIMITES DE DESCARGA HACIA ALCANTARILLADOS, RIOS Y OTRAS AGUAS SUPERFICIALES

	U.K.		Suiza		Sudafrica	
Parámetros						
mg/l	sup.	alc.	sup.	alc.	sup.	alc.
Cromo VI	0.1	0.5-1.0	0.1		0.05	
Cromo III	2.0	5.0-10.0	2.0	2.0		
Cromo total					0.5	
Sulfuros		5.0	0.1	1.0	1.0	5.0-50.0
DBO			20		10	
DQO		6000				2040-5000
Sólidos Suspendidos	30-80	500-1000	20		25	2000-4000
Sulfatos		1000-1200		300		500-1000
Grasas		50-500		20	2.5	50-100
Ph	6.0-9.0	6.0-10.0	5.5-8.5	6.0-9.0	5.5-9.5	5.5-12.0
Temperatura	25	40	30	40		43

Fuente: Revista Leather, Reino Unido, octubre 1989, p. 31.

Segunda Parte

ANALISIS ECONOMICO DE ALTERNATIVAS DE SOLUCION AL PROBLEMA DE LOS RILES DE CURTIEMBRES

I. INTRODUCCION

Tal como se ha mencionado anteriormente, respecto a los residuos líquidos industriales (riles), se elaboró una norma que controlará las descargas a los cursos de agua y alcantarillado. Durante el curso del año 1993 se controlará a las empresas que arrojan estos riles y se exigirá la presentación de planes para purificar estos residuos, utilizando los resultados del catastro que se elaboró el año 1992.

En las curtiembres, especialmente en la Región Metropolitana, la preocupación por este problema ha llevado a los empresarios a buscar soluciones para disminuir la carga contaminante que es vertida durante el proceso en las aguas y para tratar estas aguas residuales, de manera de obtener un efluente que cumpla las normas técnicas que regularán las descargas.

Como ya se ha anticipado, existen las tecnologías limpias que consisten en cambios en el proceso para disminuir la carga que va al efluente y las tecnologías de tratamiento que tratan las aguas provenientes del proceso tradicional para reducir el contenido de los elementos cuya descarga es regulada. Una solución óptima se encuentra en la combinación de ambas opciones, ya que con las tecnologías limpias no es posible llegar a disminuir el contenido de los elementos que se descargan en las aguas hasta los límites exigidos y de todas maneras se hace necesario tratar las aguas residuales del proceso.

Existen varias tecnologías limpias factibles de aplicar en el proceso de curtido, las cuales han sido probadas en mayor o menor grado en países desarrollados y recientemente en países en desarrollo. (Véase capítulo III, letra E de la Primera Parte).

II. TECNOLOGIAS LIMPIAS EN CURTIEMBRES Y SUS COSTOS

A. TECNOLOGIAS DISPONIBLES

Las diferentes tecnologías que han sido aplicadas en el proceso de curtido y los resultados obtenidos pueden verse en el Cuadro 13 y 14.

Cuadro 13

TECNOLOGIAS LIMPIAS EN EL PROCESO DE CURTIDO

PROCESO	ETAPA DEL PROCESO	TECNOLOGIA LIMPIA
Salado	Conservación de pieles	Conservación en frío
Digestión del pelo con cal	Pelambre	Proceso recuperación del pelo
		Pelambre enzimático
		Reciclaje de los licores de pelambre
Uso de sales de amonio	Desencalado	Desencalado con CO2
Uso de cromo	Curtido	Agotamiento de cromo
		Recuperación/reciclaje de cromo
		Uso de curtientes alternativos
Uso de sistema de acabado de base solvente	Terminación	Sistema de acabado de base acuosa y libre de solventes

Fuente: R.L. Sykes et al. "Environmental Safety Issues-Clean Technology and Environmental Auditing", IX Budapest International Congress on the Leather Industry, octubre, 1990.

Cuadro 14

REDUCCION DE LAS EMISIONES

CONTAMINACION	ETAPA DEL PROCESO	TECNOLOGIA LIMPIA	REDUCCION DE LAS EMISIONES
Sal en baños de remojo del saladero	Conservación de la piel	Conservación en frío	Efluente sin sal
Pelo digerido, DBO/DQO, sulfuros y cal en efluente	Pelambre	Proceso recuperación del pelo	Reducción de DBO
		Pelambre enzimático	Reducción en uso de sulfuro
		Reciclaje de los licores de pelambre	Recuperación de sulfuros
Amonio en efluente	Desencalado	Desencalado con CO2	Efluente sin amonio
Efluente con cromo III y deshechos sólidos	Curtido	Agotamiento de cromo	Reducción del cromo en el efluente
		Recuperación /reciclaje de cromo	Reducción del cromo en el efluente
		Uso de curtientes alternativos	Efluente sin cromo, deshechos sólidos
Componentes orgánicos volátiles (VOC)	Terminación	Sistema de acabado de base acuosa y libre de solvente	Eliminación de emisiones de componentes orgánicos volátiles

Fuente: R.L. Sykes et al, op. cit.

Los costos involucrados y la rentabilidad de implementar algunas de estas tecnologías limpias en curtiembres, pueden ser evaluados con información que ha sido presentada en Chile por expertos de países como Brasil, en donde ya han implementado estas medidas y pueden ofrecer asistencia a industrias chilena.

Varias curtiembres se han interesado en probar algunas de estas medidas en sus procesos para estudiar en la práctica los resultados que se obtengan. Algunas se encuentran realizando ensayos en el proceso, pero no hay todavía información disponible para evaluar un caso concreto. Principalmente estas medidas apuntan a las etapas de pelambre y curtido que son las que generan la mayor parte de la carga del efluente.

A continuación se detallan los aspectos principales y los costos relevantes para implementar las tecnologías limpias asociadas a las etapas de pelambre y curtido, utilizando la información de la que se dispone proveniente de cotizaciones y estimaciones de algunos curtidores entrevistados.

B. DESCRIPCION DE TECNOLOGIAS LIMPIAS FACTIBLES DE EVALUAR

a) Etapa del proceso. Pelambre

En el proceso de pelambre tradicional, que ya se ha descrito anteriormente, los cambios factibles de introducir apuntan básicamente a disminuir o eliminar el uso de sulfuros en el pelambre y a salvar el pelo para evitar el aporte de carga orgánica en el efluente final (véanse Cuadros 13 y 14).

La información disponible se refiere al proceso de pelambre con menos sulfuro y sin destrucción del pelo (pelambre HS).*

i) Tecnología limpia: Pelambre HS

El objetivo de este proceso es remover profundamente los pelos y a través de la inmunización evitar que éste se destruya. Con este fin se aparta el pelo por filtración, tamización o decantación, mientras se procesa el depilado o después. El resultado es una reducción considerable de los lodos y de la carga orgánica. Como no ocurre la destrucción del pelo hay un ahorro mayor de los productos químicos, se reduce la oferta de sulfuro de sodio, disminuyendo así el contenido de sulfuro residual.

La remoción del pelo se puede realizar durante las horas iniciales del proceso, a través de filtración o después de la descarga a través de tamices. En Europa, los bombos modernos vienen normalmente equipados con sistemas de filtración que apartan los sólidos, como el pelo durante el depilado; los equipos tradicionales son fácilmente adaptables.

---

* Sistema de pelambre hair shaving (hs) con menos sulfuro y sin destrucción del pelo. Información de ROHM Brasileira, Industria Química Ltda.

Al adoptar esta tecnología, el principal cambio respecto del pelambre tradicional está en los productos químicos utilizados, ya que se disminuye el uso de algunos y se introducen otros nuevos. No se requiere una inversión inicial en nuevos equipos, ni en infraestructura y las variaciones que se pueden requerir al realizar el proceso químico, no generan costos adicionales relevantes.

Considerando una curtiembre de tamaño mediano para el país y con datos promedio de operación, es posible estimar los costos involucrados en la adopción de esta tecnología limpia en el proceso de pelambre.

Costos. Condiciones de operación

Producción: 350 cueros/día
Volumen promedio de efluentes: 428,5 m3
Peso promedio cueros: 25 kg/cuero
Jornada de trabajo: 22 días/mes

Los costos de operación de esta tecnología limpia versus la tecnología tradicional de pelambre se presentan en el Cuadro 15.

Cuadro 15

COSTOS DE OPERACION DE TECNOLOGIA LIMPIA Y TECNOLOGIA TRADICIONAL EN ETAPA DE PELAMBRE

Tecnología limpia		Tecnología tradicional	
Productos químicos	Costos (US$/mes)	Productos químicos	Costos (US$/mes)
Erhazym BLA	607,25	Sosa caústica	274,75
Sosa caústica líq.	274,75	Emulsionante concentrado	1.512,0
Borron N	525,0	Sulfuro de sodio	3.981,25
Erhavit HS-LA	4.459,0	Cal	1.102,5
Sulfuro de sodio	1.373,75		
Cal	1.102,5		
Total	8.342,25	Total	6.870,5

Costos adicionales y ahorros

Costos adicionales. En cuanto a los productos químicos utilizados el pelambre HS produce un aumento en los costos respecto al proceso tradicional.

Pelambre tradicional	:	6.870,5	(US$/mes)
Pelambre HS	:	8.342,25	(US$/mes)
Costo adicional	:	1.471,75	(US$/mes)

Ahorros. Al aplicar este proceso de pelambre HS resulta un rendimiento promedio de 2 % en la superficie del cuero y que se refleja en un mayor ingreso por la venta de una mayor cantidad de pies cuadrados(ft2). En 8.750 kg de cuero (que corresponden a 350 cueros) se deben obtener 14.577,5 ft2, con un precio promedio de 1.75(US$/ft2), lo que genera:

Ingreso por venta: 25.510,63 (US$/mes)

Con el 2 % de rendimiento se genera un ingreso adicional de:

Ingreso adicional: 10.204,2 (US$/mes)

Como resultado neto se obtiene una ganancia al implementar este proceso de pelambre HS, que para este caso de una curtiembre de 350 cueros/día es de:

Ingreso adicional:	10.204,2	(US$/mes)
Costo adicional:	1.471,75	(US$/mes)

Diferencia a favor del pelambre HS: 8.732,45 (US$/mes)

Resultados de la aplicación del pelambre HS

Se han analizado experimentalmente las ventajas de implementar este proceso de pelambre midiendo el contenido de los principales parámetros que se encuentran en las aguas provenientes de esta etapa, es decir los sulfuros, la DQO y el contenido de pelos.*

* Información de ROHM Brasileira Industria Química.

Cuadro 16

RESULTADOS DE LA APLICACION DE PELAMBRE HS

PROCESO	DQO	SULFURO RESIDUAL (g/l)	PELOS/SOLIDOS Peso húmedo/ Peso salado
Pelambre HS	20.000/ 25.000	0,8 - 1,2	10,0%
Pelambre tradicional	50.000/ 60.000	4,0 - 6,0	1,0%

Fuente: Rohm Brasileira Industria Química.

b) Etapa proceso: Curtido

En la etapa de curtido tradicional, también descrita anteriormente, los cambios apuntan a la disminución o eliminación del contenido de cromo en las aguas residuales. Esto se logra mediante reciclaje y recuperación del cromo desde los baños de curtido, proceso de alto agotamiento de cromo, o uso de curtientes alternativos. Se tiene información acerca de la curtición con cromo de alto agotamiento (sistema Cromeno)* y de la recuperación de cromo mediante precipitación.**

i) Tecnología limpia: Agotamiento de cromo

El objetivo de esta tecnología es agregar al cuero un producto curtiente que permita un mayor agotamiento del cromo que se ofrece, disminuyendo así las cantidades requeridas. Para su aplicación es necesario ejecutar cambios mínimos en los procesos anteriores, para obtener las condiciones químicas adecuadas.

La diferencia de este proceso con el curtido tradicional se encuentra en los productos químicos utilizados, y no se necesitan equipos e intalaciones nuevas.

Costos. Se consideran las siguientes condiciones de operación:

Producción: 350 cueros/día
Volumen promedio de efluentes: 428,5 m3
Peso promedio cueros: 25 kg/cuero
Jornada de trabajo: 22 días/mes

---

* Información de ROHM Brasileira, Industria Química Ltda.

** Información de entrevista con curtidores.

En el Cuadro 17 se indican los costos de operación de la tecnología limpia y de la tecnología tradicional de curtido:

Cuadro 17

COSTOS DE OPERACION DE TECNOLOGIA LIMPIA Y TECNOLOGIA TRADICIONAL EN ETAPA DE CURTIDO

Tecnología limpia		Tecnología Tradicional	
Productos químicos	Costos (US$/mes)	Productos químicos	Costos (US$/mes)
Dermascal HLA	2.975,0	Dermascal HLA	2.975,0
Borron N	787,5	Borron N	787,5
Sulfato de amonio	420,0	Sulfato de amonio	420,0
Rohapon OPB	525,0	Rohapon OPB	525,0
Sal	796,25	Sal	796,25
Acido fórmico	630,0	Acido fórmico	630,0
Acido Sulfúrico	379,75	Acido sufúrico	379,75
Sal de cromo 33 bás.	9.012,5	Sal de cromo 33 bás.	16.336,25
Fungicida	2.114,0	Fungicida	2.114,0
Cromeno M	4.158,0	Bicarbonato sódico	1.784,25
Cromeno base MNF	3.066,0		
Total	24.864,0	Total	26.784,0

Costos adicionales y ahorros

Ahorros. Al aplicar este proceso de curtido Cromeno se producen ahorros con respecto al proceso tradicional en los productos químicos utilizados, ya que si bien se utilizan nuevos productos el requerimiento de sales de cromo disminuye considerablemente.

Para una curtiembre de 350 cueros/día se produce un ahorro de:

Costos tecnología tradicional: 26.784 (US$/mes)
Costos tecnología limpia: 24.864 (US$/mes)
Ahorro producido por tecnología limpia: 1.920 (US$/mes)

Ventajas de la aplicación del curtido con agotamiento de cromo

El proceso de curtición de alto agotamiento ha sido practicado por varias curtiembres, en otros países como Brasil, y los resultados que se han obtenido muestran reducciones del contenido de cromo en las aguas residuales de hasta diez veces menos que en el caso del curtido tradicional.

Cuadro 18

RESULTADOS DE LA APLICACION DE CURTIDO DE ALTO AGOTAMIENTO

	Curtido tradicional	Curtido alto agotamiento
Cr en el agua residual (mg/l)	100 - 300	10 - 40
Cr en el lodo (kg por 1000 kg de cuero salado)	3,5 - 7,0	0,2 - 1,0

Fuente: Rohm Brasileira Industria Química.

ii) Tecnología limpia: Recuperación de cromo

El objetivo es recuperar el cromo que se va en los baños de curtido, mediante la separación de estos baños y su tratamiento para lograr la precipitación del cromo, el cual una vez recuperado es disuelto con ácido sulfúrico y tratado para su uso posterior. Es necesario una inversión en equipos para tratar los baños de curtido por separado y se requiere además contar con un laboratorio para controlar el funcionamineto de los procesos químicos que permiten recuperar el cromo. Se tiene información de costos de equipos de Brasil, y estimaciones de costos de operación.

Costos

Se consideran las siguientes condiciones de operación:

Producción promedio: 400 cueros/día
Volumen de baños de curtido: 7 m3/día
Peso promedio cueros: 25 kg/cuero
Jornada de trabajo: 22 días/mes

Inversión

Esta inversión corresponde a los equipos, maquinaria e instalación de la planta recuperadora de cromo. Se necesitan básicamente una canaleta para conducir los baños de curtido por separado, una rejilla para separar los sólidos gruesos, un estanque

de recolección de los baños de curtido, un estanque de decantación para precipitar el cromo, un filtro prensa, un estanque de disolución, bombas, dosificadores de productos químicos y el equipamiento para controlar el funcionamiento de la planta.*

Maquinaria y equipo: 95.000 (US$)

Costos operación

Los costos de operación corresponden a los costos de los productos químicos utilizados en la recuperación del cromo, los costos de operación del laboratorio que controla el funcionamiento de la planta y el sueldo de un técnico que debe trabajar en el laboratorio.

Productos químicos:	250	(US$/mes)
Mano de obra:	750	(US$/mes)
Laboratorio:	500	(US$/mes)
Total costos operación:	1.500	(US$/mes)

Ahorros**

Los ahorros se producen por la disminución en el uso de sales de cromo para curtir, gracias a la recuperación del cromo de los baños de curtido.

Ahorro en productos químicos:

Sal de cromo***	4.800	(US$/mes)
Total ahorros:	4.800	(US$/mes)

C. DESCRIPCION DE ALTERNATIVAS PARA EL PROCESO DE CURTIDO

a) Alternativa 1

Para la etapa de curtido, la alternativa específica de implementar una planta recuperadora de cromo se puede evaluar económicamente considerándola como un proyecto marginal, en el cual se evalúan la inversión y los costos e ingresos diferenciales que se producen con respecto al proceso tradicional.

---

* Cotizaciones de equipos y maquinaria de Brasil.

** Se considera un agotamiento de un 70% del cromo ofrecido, y la cantidad de cromo es de 8% sobre el peso de la piel.

*** Precio de la sal de cromo 1 US$/kg.

Características de la curtiembre considerada:

Producción promedio: 350 cueros/día
Volumen de baños de curtido: 7 m3/día
Peso promedio cueros: 25 kg/cuero
Jornada de trabajo: 22 días/mes

Condiciones de evaluación:

Período considerado: horizonte de 10 años
Se consideran flujos anuales y un año cero para poner en marcha el proyecto.

Ingresos del proyecto:

Los ingresos se producen por ahorros en el consumo de sales de cromo.

Total ahorros:	57.600	(US$/año)
Total ingresos:	57.600	(us$/año)

Egresos del proyecto:

Inversiones: se considera que la inversión se realiza con capital propio.

El capital de trabajo corresponde al monto necesario para comenzar a operar la planta recuperadora de cromo.

Inversiones:

Maquinaria y equipo:	95.000	(US$)
Cap. trabajo:	18.000	(US$)
Total inversiones:	113.000	(US$)

Costos de operaciones:

Los costos operacionales corresponden a los costos de funcionamiento de la planta de recuperación, y la depreciación de los equipos se ha considerado lineal con una vida útil de diez años.

Laboratorio:	6.000	(US$/año)
Prod. químicos:	3.000	(US$/año)
Personal:	9.000	(US$/año)
Depreciación:	9.500	(US$/año)
Total costos de operaciones:	27.500	(US$/año)
Total egresos:	27.500	(US$/año)

Utilidades:

Se considera un impuesto de 15% a las utilidades de la empresa.

Los resultados (véase planilla en anexo 2) de esta evaluación son:

VPN(12%): 81.280 (US$)
VPN(15%): 58.724 (US$)
VPN(18%): 40.775 (US$)

TIR : 28.97%

El período de recuperación de la inversión con un flujo del proyecto de 35.085 (US$/año) resulta ser aproximadamente de tres años.

Estos resultados demuestran que es rentable para esta curtiembre, considerando que de todas maneras tiene que adoptar soluciones para el problema de descarga de riles, sin olvidar que esta solución es una parte de una solución total.

b) Alternativa 2

Se puede considerar como válida, con la información de la que se dispone, una alternativa que contenga la alternativa anterior y considere además un cambio en la etapa de pelambre.

Se presenta a continuación la evaluación de implementar la planta recuperadora de cromo y adoptar el cambio de pelambre con menos sulfuro y con recuperación del pelo.

Condiciones de operación de la curtiembre:

Producción: 350 cueros/día
Volumen promedio de efluentes: 428,5 m3
Peso promedio cueros: 25 kg/cuero
Jornada de trabajo: 22 días/mes

En este caso se consideran los datos de la evaluación anterior y los datos de la etapa de pelambre:

Ingresos del proyecto:

Ingresos por ahorros en el consumo de sales de cromo.

Total ahorros: 57.600 (US$/año)

Ingresos adicionales por la venta de los ft2 de cuero, producto del mayor rendimiento superficial.

Total ingresos adicionales:	122.451	(US$/año)
Total ingresos:	180.051	(US$/año)

Egresos del proyecto:

Inversiones: se considera que la inversión se realiza con capital propio, y corresponde al inversión en la planta de cromo.

El capital de trabajo corresponde al monto necesario para comenzar a operar la planta recuperadora de cromo.

Inversiones:

Maquinaria y equipo:	95.000	(US$)
Cap. trabajo:	18.000	(US$)
Total inversiones:	113.000	(US$)

Costos de operaciones:

Los costos operacionales corresponden a los costos de funcionamiento de la planta de recuperación de cromo, y a los costos de los productos químicos para realizar el nuevo proceso de pelambre. La depreciación de la inversión se ha considerado lineal con una vida útil de diez años.

Laboratorio:	6.000	(US$/año)
Prod. químicos planta cromo:	3.000	(US$/año)
Prod. químicos pelambre:	17.662	(US$/año)
Personal:	9.000	(US$/año)
Depreciación:	9.500	(US$/año)
Total costos de operaciones:	45.162	(US$/año)
Total egresos:	45.162	(US$/año)

Utilidades:

Se considera un impuesto de 15% a las utilidades de la empresa.

Los resultados (véase planilla en anexo 3) de esta evaluación son:

VPN(12%): 530.627 (US$)
VPN(15%): 447.442 (US$)
VPN(18%): 380.005 (US$)

TIR : 109.82%

El período de recuperación de la inversión con un flujo del proyecto de 124.156 (US$/año) resulta ser un año.

Esta alternativa resulta también rentable y soluciona en forma importante, el problema de la descarga de elementos contaminantes en las etapas de pelambre y curtido, ya que disminuye considerablemente el contenido de sulfuros y de cromo en las aguas residuales que posteriormente deberán ser tratadas.

III. TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO EN CURTIEMBRES Y SUS COSTOS

Los residuos líquidos provenientes del proceso de curtido pueden ser tratados en su conjunto, en una planta de tratamiento primario y secundario sin que se apliquen medidas previas para disminuir la carga que contienen las aguas. Sin embargo, las tecnologías limpias que se han descrito y las que se han evaluado como alternativa factible de implementar en el proceso, contribuyen en gran medida a facilitar las operaciones físico-químicas y biológicas que permitirán obtener un efluente que cumpla los límites que establecen las normas sobre vertido.

En la etapa de pelambre se ha descrito la tecnología de pelambre sin destrucción y con recuperación del pelo que permite reducir en aproximadamente un 80% el contenido de sulfuros, en un 50% la DQO en las aguas residuales y reduce el contenido de carga orgánica en los lodos*. Esta reducción facilita las operaciones posteriores de tratamiento del agua residual total.

En la etapa de curtido se han descrito, la tecnología de agotamiento de cromo y la de recuperación de cromo. El agotamiento de cromo permite obtener hasta diez veces menos cromo en el baño residual que con un curtido tradicional** y ese contenido de cromo se puede eliminar fácilmente en el tratamiento de las aguas totales quedando en los lodos sin presentar mayores problemas.

La recuperación de cromo por precipitación permite la recuperación de alrededor del 95%-98% del cromo que se va en los baños residuales, el cual corresponde aproximadamente a un 30% del cromo ofrecido en la etapa de curtido. Con esta disminución de cromo de las aguas residuales se puede llegar a valores que cumplan la norma de descarga o valores que permitan que el cromo residual sea eliminado en los lodos después del tratamiento general de las aguas.

---

* Ver Cuadro 16: resultados de la aplicación del pelambre HS.

** Ver Cuadro 18: resultados de la aplicación de curtido de alto agotamiento.

Las alternativas que se evaluaron muestran que es rentable para una curtiembre, con las características que se han descrito, adoptar estas tecnologías limpias en sus procesos. La primera alternativa corresponde a la planta recuperadora de cromo y la segunda alternativa combina esta planta recuperadora y la implementación de la operación de pelambre con recuperación del pelo.

Analizando la segunda alternativa que apunta a disminuir la carga en las aguas residuales provenientes de dos etapas del proceso, el resultado corresponde a un conjunto de aguas residuales totales que contendrán cromo, sulfuros y DQO en cantidades mucho menores que las contenidas en las aguas provenientes de un proceso tradicional. Debido a esto la operación de la planta de tratamiento que requerirá esta curtiembre se verá facilitada pudiendo eliminar con mayor eficiencia y rapidez el contenido de las aguas que reciba.

En Chile las curtiembres se encuentran en la búsqueda de soluciones tanto para hacer sus procesos menos contaminantes como para tratar las aguas residuales y están concientes de las dificultades que deben enfrentar, especialmente aquellas ubicadas en la Región Metropolitana.

Sin duda, es mejor pensar en todas las variables que definen el problema de las aguas residuales antes de tomar una decisión respecto a una planta de tratamiento. Primeramente, se debe evaluar si es posible disminuir el volumen del efluente vertido; luego se debe analizar el proceso y evaluar la incorporación de tecnologías limpias destinadas a minimizar la carga y eliminar algunos componentes de las aguas. Posterior a este análisis se debe decidir la tecnología de tratamiento adecuada, incluyendo la disposición de los lodos obtenidos. Todo esto es lo que finalmente representa una solución para el problema de los residuos líquidos de la curtiembre.

Para la construcción de una planta de tratamiento de riles se deben considerar algunas variables relevantes como el espacio disponible y el tiempo que se tendrá la planta en funcionamiento.

Respecto al espacio disponible se sabe, como idea general, que para una curtiembre que vierte alrededor de 300 m3/día, que corresponde a una curtiembre mediana, se necesitan como mínimo 400 m2 de superficie* para la construcción de la planta. En el caso de las curtiembres ubicadas en Santiago, esta variable constituye un restricción importantísima, debido a que muchas de ellas no disponen de terreno sufuciente.

---

* Información de Environtek S.A., obtenida en el Primer Encuentro Nacional de Químicos y Técnicos del Cuero, Santiago, mayo, 1993..

Respecto al período de operación útil de la planta, que debería ser de 15 a 20 años, se ha visto en la práctica en otros países, que muchas instalaciones no han sido construídas pensando a largo plazo y se han enfrentado a diversos problemas de duración de las piezas y de los mismos equipos . Además se debe tomar en cuenta la posibilidad de traslado de la curtiembre, por lo que es necesario analizar y evaluar la construcción de la planta con instalaciones de concreto (piscinas y estanques) o con instalaciones metálicas (unidades móviles).

La posibilidad de unidades móviles, se dio a conocer a los curtidores en el encuentro que se realizó en mayo de este año, respecto a este tema*, y fue presentada por la Empresa Environtek S.A., que se dedica a la ingeniería y diseño de proyectos ambientales con el fin de proveer la mejor solución para los problemas puntuales. Esta empresa tiene una oficina en Chile, y es asesorada por varias empresas norteamericanas, las cuales tienen dilatada experiencia en el tratamiento de efluentes líquidos de curtiembres.

La planta de tratamiento es para el curtidor una inversión no rentable, por lo que es importante tratar de disminuir su tamaño y facilitar su funcionamiento, mediante la aplicación de tecnologias limpias, que como se ha visto en el capítulo sobre alternativas para el proceso de curtido, resultan económicamente rentables para una curtiembre que utiliza el proceso tradicional de curtido.

Es interesante ahora poder evaluar el costo de la planta de tratamiento para la curtiembre modelo que ha sido descrita en el capítulo sobre alternativas al proceso de curtido, aunque hay que tener en cuenta que resulta difícil, ya que no se cuenta con la información necesaria como para determinar las características que definirían esta planta de tratamiento. Esto debido a que las evaluaciones de implementación de tecnologías limpias se hicieron con estimaciones y datos de cotizaciones que algunos curtidores tienen en su poder y en la realidad aún no se han tomado decisiones definitivas al respecto.

Entre las curtiembres ubicadas en Santiago existe una que hasta ahora no ha sido mencionada y que es la única que tiene una planta de tratamiento de aguas residuales. Se trata de la Curtiembre Baska, que se instaló hace aproximadamente dos años, y a la cual se le exigió para obtener el permiso, cumplir con la ley de descarga de riles, que como se ha explicado, es aplicada actualmente a todas las nuevas industrias. La experiencia de esta planta se dio a conocer en el Primer Encuentro Nacional de Químicos y Técnicos del Cuero (mayo de 1993).

---

* Primer Encuentro Nacional de Químicos y Técnicos del Cuero, Santiago, mayo de 1993.

La planta de tratamiento de esta curtiembre se encuentra en funcionamiento y realiza un sistema de tratamiento primario de las aguas y un tratamiento secundario mediante oxidación biológica con barros activados. Fue construída en Chile por AQUANEW con tecnología de Brasil.

La producción promedio de la curtiembre es de 350 cueros/día, con lo cual se obtiene un volumen promedio de efluentes de 428.5 m3/día,* estos datos se obtuvieron en la curtiembre en el mes de abril de 1993.

Las principales características de la planta son:

Superficie de terreno usada: 1000 m2.
Capacidad de la planta: 600 m3
(estanque de homogeneización)

El costo promedio por m3 de efluente tratado es de US$10.6. Este valor está en el rango de 5US$ a 15US$ por m3 tratado, que es el rango aceptado en países europeos.

En este sistema de tratamiento, todas las aguas del proceso son tratadas hasta obtener un efluente clarificado y un lodo. El efluente se obtiene con las caraterísticas adecuadas para cumplir con las normas exigidas y puede ser vertido. El lodo residual debe ser acumulado. El proceso de curtido se realiza con las operaciones tradicionales, sin la aplicación de medidas destinadas a minimizar la carga que es vertida en las aguas residuales. Tampoco se realiza una separación de los baños con sulfuros y con cromo, que idealmente deben ser tratados antes de ingresar a la planta, por lo que se tiene un lodo con contenido de cromo después del tratamiento primario.

El sistema de tratamiento ha presentado algunos problemas de operación en la fase de oxidación biológica, debido a que las condiciones en que se debe operar no siempre resultan fáciles de mantener. Por este motivo aún no se tienen resultados representativos en cuanto a la eficiencia de esta tecnología de tratamiento, pero para una operación óptima se pueden esperar para los parámetros más importantes los porcentajes de remoción que aparecen en el Cuadro 19.

---

* Se tiene un consumo de agua de aproximadamente 1.224 lt/cuero, es decir, 48.9 lt/kg de cuero procesado. El valor promedio para las curtiembres de Chile es 50 lt/kg de cuero.

Cuadro 19

EFICIENCIA DE REMOCION PARA TRATAMIENTO PRIMARIO Y SECUNDARIO

	Eficiencia de remoción	
Parámetros	Trat. primario	Trat. secundario
DBO	50%	90%
DQO	60%	85%
SOLIDOS SUSPENDIDOS	80% - 90%	95%
SULFUROS	95%	100%
GRASAS Y ACEITES	85%	95%

Fuente: Primer Encuentro Nacional de Químicos y Técnicos del Cuero, Santiago, mayo 1993.

Con estos porcentajes de remoción para los distintos parámetros de interés, es posible obtener un efluente clarificado que puede ser vertido cumpliendo los valores máximos que establece la norma técnica. Sin embargo, como ya se ha mencionado, el lodo que se obtiene contiene cromo y es un nuevo problema que solucionar. Se ha pensado incorporar en el futuro instalaciones adicionales a la planta para tratar por separado los baños de pelambre y de curtido.

En esta curtiembre que ha sido mencionada se obtuvo información sobre montos de inversión y costos de operación para la planta de tratamiento primario y secundario que ellos tienen. Con esos datos de referencia y con algunos provenientes de información entregada a los curtidores, es posible realizar una evaluación económica de la implementación de una planta de tratamiento considerando, además la incorporación de cambios en el proceso para reducir la carga en las aguas residuales totales.

La alternativa que se ha considerado incluye la implementación de cambios en la etapa de pelambre y de curtido y la construcción de la planta de tratamiento. En la descripción que anteriormente se hizo de los cambios en el proceso aparecen los resultados de su implementación.

En la etapa de pelambre la aplicación de un proceso con menos sulfuro y con recuperación de pelo permite disminuir la DQO, el contenido de sulfuros y la carga orgánica debido a la eliminación del pelo.

En la etapa de curtido es posible obtener un efluente prácticamente libre de cromo o con un contenido que permite cumplir los límites de descarga. Con la implementación de estos cambios, la planta de tratamiento recibirá el volumen de aguas totales con una carga contaminante menor que en el caso de un proceso tradicional que vierte todas las aguas directamente a la planta. Esto significa que el costo en productos químicos será menor y que la eficiencia aumentará en comparación con una planta que trata el mismo volumen de aguas pero sin medidas para disminuir el contenido de contaminantes vertidos en el proceso.

La evaluación económica se ha hecho con los datos de inversión y costos de operación que anteriormente se presentaron para las alternativas de cambios en el proceso. Para la planta de tratamiento de las aguas residuales totales se han considerado los datos de estimaciones y cotizaciones sobre inversión y costos operacionales obtenidos en entrevistas con curtidores y los datos de la planta de tratamiento que se encuentra en funcionamiento. Esta planta corresponde a un sistema de tratamiento primario de las aguas residuales y un tratamiento secundario mediante oxidación biológica con barros activados.

La evaluación económica de este proyecto es claramente estimativa debido a que los datos usados no corresponden a cotizaciones para un caso real y concreto de una sola unidad productiva. Como ya se ha mencionado antes, una planta de tratamiento no es una inversión rentable ya que no genera ingresos ni ahorros, sin embargo se hace esta evaluación para dimensionar la situación considerando la adopción de tecnologías limpias.

A continuación se describe la alternativa considerada y se detallan los datos económicos para la evaluación económica. Las tres alternativas que conforman el proyecto se demoninarán: tecnología limpia pelambre, tecnología limpia cromo y planta de tratamiento para la descripción de los datos.

Condiciones de operación de la curtiembre:

Producción:	350 cueros/día
Volumen promedio de efluentes:	428,5 m3/día
Peso promedio cueros:	25 kg/cuero
Jornada de trabajo:	22 días/mes

Ingresos del proyecto:

Los ingresos provienen de las ganancias adicionales, producto de implementar el proceso de pelambre con menos sulfuro y con recuperación de pelo y de los ahorros que se producen al recuperar el cromo en la unidad recuperadora de cromo. Además se considera en

el último año el valor residual de las contrucciones y equipos que no se hayan depreciado totalmente.

Ingresos tecnología limpia pelambre:	122.451	(US$/año)
Ahorros tecnología limpia cromo:	57.600	(US$/año)
Valor residual planta tratamiento:	166.670	(US$)

Egresos del proyecto:

Los egresos corresponden a las inversiones que se requieren para la unidad recuperadora de cromo y para la planta de tratamiento y a los costos operacionales de la tecnología implementada para la etapa de pelambre, para la etapa de curtido y para la planta de tratamiento misma. También aparece el capital de trabajo necesario para comenzar a operar el sistema de pelambre, la unidad recuperadora de cromo y la planta de tratamiento y la depreciación de las construcciones y equipos. Se ha considerado para los equipos de la planta recuperadora de cromo, una vida útil de 10 años y para la planta de tratamiento de 15 años.

Inversión

Inversión tecnología limpia cromo

Maquinaria y equipos:	95.000	(US$)

Inversión planta de tratamiento

Equipos, obras civiles e instalación:	500.000	(US$)

Capital de trabajo tecnología limpia cromo:	18.000	(US$)
Capital de trabajo planta de tratamiento:	47.232	(US$)
Total inversión:	827.670	(US$)

Costos operacionales

Costos tecnología limpia pelambre:	17.662	(US$/año)
Costos tecnología limpia cromo:	18.000	(US$/año)
Costos planta de tratamiento:	47.232	(US$/año)

Estos costos corresponden a los costos en productos químicos, energía, mantención, sueldo del encargado de la planta.

Depreciación unidad recuperadora cromo:	9.500	(US$/año)
Depreciación planta de tratamiento:	33.333	(US$/año)
Total costos operacionales:	125.727	(US$/año)

Con esta información se evalúo el proyecto en un horizonte de 10 años (ver anexo 4). En los resultados obtenidos el VPN resulta negativo y la tasa interna de retorno no sobrepasa la tasa de rentabilidad mínima. Esta inversión no es rentable económicamente para una curtiembre en las condiciones descritas. Esta situación es inevitable ya que la inversión en la planta de tratamiento no tiene rentabilidad como ya se ha mencionado anteriormente.

Hay que tener en cuenta que los valores son estimativos y no pueden ser tomados como datos reales, sino sólo como referencia para dimensionar el proyecto descrito.

Se dispone de información sobre inversiones y costos de operación para plantas de tratamiento de aguas residuales. Los datos están referidos a curtiembres de diferentes capacidades, en países industrializados y algunos en vías de desarrollo que ya han pasado por esta etapa de solucionar el problema de contaminación producido por sus riles (ver anexo 5).

Aparecen cuatro casos de plantas de tratamiento de efluentes líquidos que incluyen el tratamiento por separado de los baños con cromo en países en desarrollo (Africa). Esta información es útil para tener una idea aproximada de los montos de inversión requeridos ya que hay tres curtiembres que tienen un volumen de efluentes semejante al de varias curtiembres de nuestro país y la otra corresponde a un volumen mayor. Los datos más relevantes se presentan en el cuadro 20.

Cuadro 20

COSTOS DE INVERSION EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE CURTIEMBRE

Volumen de efluentes (m3/día)	Volumen de efluentes (m3/año)	Inversión (US$)	Costo promedio del tratamiento (US$/m3)
120	29 040	95 000	3.27
200	48 400	170 000	3.51
250	60 500	340 000	5.62
2000	484 000	2 400 000	5.0

Fuente: UNIDO, "Leather Industry, Case Study N° 3", 1991.

En los datos del cuadro 20 aparecen tres curtiembres que podrían corresponder a curtiembres de tamaño pequeño-mediano en nuestro país y se puede apreciar que al aumentar el tamaño de la planta en pequeña escala se tienen grandes aumentos en los montos de inversión, situación que se refleja en el costo promedio del tratamiento (US$/m3).

La curtiembre que se caracterizó para la evaluación de las alternativas de tecnologías limpias y de la planta de tratamiento en este trabajo se consideró con una producción promedio de 350-400 cueros/día, lo que implica un volumen de aguas residuales de 420-480 m3/día.* Si se calcula el costo promedio de tratamiento para los datos usados, éste corresponde a 8.14 US$/m3. Este valor es producto de cálculos con datos estimativos de montos de inversión y costos pero se puede utilizar como referencia. Los datos que aparecen en el cuadro 20 consideran recuperación de cromo y la planta de tratamiento, sin incluir la aplicación de cambios en la etapa de pelambre como en la alternativa analizada en este trabajo. Sin embargo, se pueden comparar los valores que se tienen, y se ve que el costo promedio de 8.14 US$/m3 corresponde aproximadamente a un valor esperado para ese volumen de efluentes según los datos.

Para curtiembres con volúmenes de aguas mayores se esperaría llegar a un punto de quiebre, es decir a un tamaño de planta a partir del cual el valor del costo promedio disminuya. En el mismo cuadro se puede observar que la curtiembre que tiene un volumen de aguas de 2000 m3/día tiene un costo promedio menor que el de la curtiembre de 250 m3/día.

Los industriales deben tomar en cuenta que en la solución para el problema de las aguas residuales lo importante es tratar de disminuir los montos de inversión y los costos de operación de la planta de tratamiento. Como se ha visto en experiencias de otros países la asociación de curtiembres para tratar sus aguas residuales, ya sea relocalizándose o enviando sus aguas a una planta común es la vía de solución más factible sobre todo para las empresas de menor tamaño.

La evaluación de una alternativa de solución para un conjunto de curtiembres pequeñas o medianas se puede hacer para tener referencia de los montos involucrados en el proyecto.

El caso que aparece en el cuadro 20 de una planta para un volumen de 2000m3/día, podría ser el de 4 o 5 curtiembres de nuestro país, con un volumen promedio de efluentes de 400 m3/día, es decir una producción aproximada de 340 cuero/día. En este caso

---

* Este cálculo considera un consumo de agua de 50 lt/kg de cuero, que es el promedio correspondiente a las curtiembres en Chile.

el costo que deberían asumir los industriales sería, como ya se vió menor que si piensan en implementar la solución cada uno por separado. Esto es lo que se ha observado en las experiencias de otros países como vía de solución.

IV. CONCLUSIONES

En mayor o menor grado todos los curtidores, en especial los del área metropolitana, están preocupados y ya han tomado alguna iniciativa para solucionar el problema del impacto en el medio ambiente de las aguas residuales provenientes del proceso de curtido.

Esta situación ya ha sido solucionada en otros países y la experiencia ha demostrado que no es fácil de solucionar con éxito si los empresarios no aceptan que deben realizar cambios e inversiones, que en el caso de la planta de tratamiento, no reportará rendimientos. Se tienen antecedentes de países en que las curtiembres ya tienen tratamiento de sus aguas, y el costo es de un 2% a un 4% sobre las ventas (para curtiembres que trabajan cueros vacunos curtidos al cromo).

Está claro que al pensar en alternativas de solución lo primero es tratar de disminuir la carga que se genera en cada etapa, para lo cual existen las tecnologías limpias cuya adopción como se ha visto resulta rentable para el curtidor. Con estas tecnologías limpias se facilita la aplicación de las tecnologías correctivas o de tratamiento que son necesarias para obtener efluentes que cumplan con las normas técnicas que los controlan.

Cada curtidor, al analizar su problema, debe plantearse que lo primero es determinar qué es posible ahorrar en el proceso de curtido, por medio del control del agua y de la aplicación de tecnologías limpias. Luego, al pensar en la planta de tratamiento, debe tener en cuenta que si no se han aplicado cambios en el proceso para reducir la carga de cromo y de sulfuros en el efluente, lo óptimo es tratar cada uno de estos baños (de pelambre y de curtido) por separado antes de descargarlos a la planta. Es decir, que requerirá tres unidades de tratamiento, una unidad recuperadora de cromo, una unidad para tratar los sulfuros y la unidad de tratamiento primario. Se debe tener en cuenta además, que para el funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales, es necesario que exista un control sobre la eficiencia de las operaciones unitarias que la componen, lo que implica la realización de análisis periódicos de las aguas en cada operación y a la salida, para comprobar que los parámetros de interés tengan valores adecuados para cumplir las exigencias legales.

Estos análisis y mediciones requieren de un laboratorio instalado en la curtiembre misma o de la contratación de los servicios de un laboratorio externo; esto último resulta de muy elevado costo actualmente como para ser realizado con la frecuencia necesaria. Por ejemplo, si se recupera el cromo es necesario realizar varias pruebas diariamente para asegurar las condiciones óptimas de recuperación.

Como se ha visto en las evaluaciones estimativas que se hicieron, aquellos curtidores que no se encuentran en condiciones de enfrentar una solución particular, debido a su tamaño o a su falta de espacio, deberán pensar en la posibilidad de construir una planta de tratamiento en conjunto con otros, que funcione fuera de la ciudad y que les permita disminuir los costos que deben asumir.

En la solución al problema de las aguas residuales de curtiembre no debe olvidarse que al tratar el agua se generará un importante volumen de lodo que debe ser manejado y dispuesto en lugares apropiados. Esto es un aspecto que preocupa a los curtidores y se espera que las autoridades determinen soluciones al problema de su disposición, pues en la experiencia de otros países esto ha representado grandes dificultades.

Respecto al proyecto de norma técnica que ya todos conocen, existe la inquietud por la exigencia que presenta respecto a los límites ahí propuestos, pues son valores muy parecidos a las normas de países desarrollados y es difícil que puedan ser cumplidas si no se establece una gradualidad adecuada. De todas formas para los curtidores, la exigencia respecto al cromo es muy alta y ellos esperan que se pueda cambiar.

Estas inquietudes se han presentado a la Asociación de Curtidores y a la SOFOFA, quienes han pedido a los industriales que expresen sus planteamientos y comentarios para asesorar a las autoridades en las decisiones que se tomarán al respecto.

Existe el ánimo por parte de los industriales de enfrentar y resolver esta situación y eso se ha reflejado en su interés y disposición por conocer las alternativas de solución que son factibles de adoptar. Dada la experiencia vivida por otros países se puede decir que se va por muy buen camino en la búsqueda de estas soluciones óptimas para la realidad de nuestro país.

Anexo 1

LA INDUSTRIA MUNDIAL DEL CUERO

LA INDUSTRIA MUNDIAL DEL CUERO

Existen muchos estudios acerca del escenario en que se mueve la industria del cuero y de sus proyecciones futuras. En la Asamblea Anual del International Council Tanners (ICT) de junio de 1990, se presentó un trabajo elaborado por la economista inglesa Gill Perkins, (Centro Especializado Landell Mills Commodities Studies), sobre las proyecciones del sector hasta el año 2000.

Principalmente se concluyeron los siguientes aspectos:[15]

- Entre 1988-2000, la producción mundial de cueros crudos crecerá aproximadamente un 23% (en toneladas), mientras que la producción de cueros sin curtir lo hará en un 21%.

- Gran parte de este crecimiento ocurrirá en Asia y América Latina. La participación de Asia en la producción mundial de cueros crudos se está elevando desde un 13% en 1970 a un 25% para el año 2000, donde la mitad de esta cifra proviene de India (aún cuando el 40% de la población hindú es vegetariana). Los demás países que aportarán en este crecimiento productivo son China, Pakistán y la Unión Soviética.

- La expansión de la producción de cueros será más sobresaliente en los países que restringen o prohiben la exportación de cueros semiterminados o terminados.

- La producción total de cueros crudos de los actuales y principales exportadores: América del Norte, Europa occidental y Australia, crecerá sólo un 5% en conjunto entre 1988 y 2000.

- En el caso de la producción de cueros crudos de países que poseen materia prima de alta calidad, por ejemplo -Argentina y Uruguay- el crecimiento total de disponibilidades para el mismo período de 12 años se ha previsto en sólo un 6%.

Anexo 2

EVALUACION ECONOMICA: ALTERNATIVA 1

ALTERNATIVA 1
EVALUACION ECONOMICA DE UNA PLANTA RECUPERADORA DE CROMO
FLUJO DE CAJA EN [US$]

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INGRESOS											
Ahorros		57,600	57,600	57,600	57,600	57,600	57,600	57,600	57,600	57,600	57,600
TOTAL INGRESOS		57,600	57,600	57,600	57,600	57,600	57,600	57,600	57,600	57,600	57,600
EGRESOS											
Inversiones:											
Maq. y equipo	95,000										
Cap. de trab.	18,000										
Operaciones:											
Laboratorio		6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
Prod.químicos		3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
Personal		9,000	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000
Depreciación		9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500
TOTAL EGRESOS	113,000	27,500	27,500	27,500	27,500	27,500	27,500	27,500	27,500	27,500	27,500
UTILIDADES a.i	(113,000)	30,100	30,100	30,100	30,100	30,100	30,100	30,100	30,100	30,100	30,100
Impuestos(15%)		4,515	4,515	4,515	4,515	4,515	4,515	4,515	4,515	4,515	4,515
UTILIDADES d.i	(113,000)	25,585	25,585	25,585	25,585	25,585	25,585	25,585	25,585	25,585	25,585
+Depreciación		9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500
+Rec.capital de trab.											18,000
FLUJO DEL PROYECTO	(113,000)	35,085	35,085	35,085	35,085	35,085	35,085	35,085	35,085	35,085	53,085

VPN (12%)	81,280	TIR	28.97%
VPN (15%)	58,724		
VPN (18%)	40,775		

Anexo 3

EVALUACION ECONOMICA: ALTERNATIVA 2

ALTERNATIVA 2
EVALUACION ECONOMICA DE RECUPERACION DE CROMO Y PELAMBRE CON RECUPERACION DE PELO
FLUJO DE CAJA EN [US$]

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INGRESOS											
Ahorros		57,600	57,600	57,600	57,600	57,600	57,600	57,600	57,600	57,600	57,600
Ingresos adicionales		122,451	122,451	122,451	122,451	122,451	122,451	122,451	122,451	122,451	122,451
TOTAL INGRESOS		180,051	180,051	180,051	180,051	180,051	180,051	180,051	180,051	180,051	180,051
EGRESOS											
Inversiones:											
Maq. y equipo	95,000										
Cap. de trab.	18,000										
Operaciones:											
Laboratorio		6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
Prod.químicos cromo		3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
Productos químicos pelambre		17,662	17,662	17,662	17,662	17,662	17,662	17,662	17,662	17,662	17,662
Personal		9,000	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000
Depreciación		9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500
TOTAL EGRESOS	113,000	45,162	45,162	45,162	45,162	45,162	45,162	45,162	45,162	45,162	45,162
UTILIDADES a.i	(113,000)	134,889	134,889	134,889	134,889	134,889	134,889	134,889	134,889	134,889	134,889
Impuestos(15%)		20,233	20,233	20,233	20,233	20,233	20,233	20,233	20,233	20,233	20,233
UTILIDADES d.i	(113,000)	114,656	114,656	114,656	114,656	114,656	114,656	114,656	114,656	114,656	114,656
+Depreciación		9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500
+Rec.capital de trab.											18,000
FLUJO DEL PROYECTO	(113,000)	124,156	124,156	124,156	124,156	124,156	124,156	124,156	124,156	124,156	142,156

VPN (12%)	530,627	TIR	109.82%
VPN (15%)	447,442		
VPN (18%)	380,005		

Anexo 4

EVALUACION ECONOMICA CON PLANTA DE TRATAMIENTO

EVALUACION ECONOMICA DE PLANTA DE TRATAMIENTO Y PLANTA DE RECUPERACION DE CROMO Y PELAMBRE CON RECUPERACION DE PEL
FLUJO DE CAJA EN [US$]

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INGRESOS											
Ingresos tecnología limpia pelambre		122,451	122,451	122,451	122,451	122,451	122,451	122,451	122,451	122,451	122,451
Ahorros tecnología limpia cromo		57,600	57,600	57,600	57,600	57,600	57,600	57,600	57,600	57,600	57,600
Valor residual planta tratamiento											166,670
TOTAL INGRESOS		180,051	180,051	180,051	180,051	180,051	180,051	180,051	180,051	180,051	346,721
EGRESOS											
Inversiones:											
Inversión tecnología limpia cromo	95,000										
Inversión planta tratamiento	500,000										
Cap. Trab. planta tratamiento	48,000										
Cap. Trab. tecnología limpia cromo	18,000										
Costos operacionales											
Costos tecnología limpia pelambre		17,662	17,662	17,662	17,662	17,662	17,662	17,662	17,662	17,662	17,662
Costos tecnología limpia cromo		18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000
Costos planta tratamiento		48,000	48,000	48,000	48,000	48,000	48,000	48,000	48,000	48,000	48,000
Dep. unidad recup. cromo		9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500
Dep. planta tratamiento		33,333	33,333	33,333	33,333	33,333	33,333	33,333	33,333	33,333	33,333
TOTAL EGRESOS	661,000	126,495	126,495	126,495	126,495	126,495	126,495	126,495	126,495	126,495	126,495
UTILIDADES a.i	(661,000)	53,556	53,556	53,556	53,556	53,556	53,556	53,556	53,556	53,556	220,226
Impuestos(15%)		8,033	8,033	8,033	8,033	8,033	8,033	8,033	8,033	8,033	33,034
UTILIDADES d.i	(661,000)	45,523	45,523	45,523	45,523	45,523	45,523	45,523	45,523	45,523	187,192
+Dep. recup. cromo		9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500
+Dep. planta tratmiento		33,333	33,333	33,333	33,333	33,333	33,333	33,333	33,333	33,333	33,333
+Rec.capital de trab.											66,000
FLUJO DEL PROYECTO	(661,000)	88,356	88,356	88,356	88,356	88,356	88,356	88,356	88,356	88,356	296,025
VPN (12%)	(84,739)			TIR	8.81%						
VPN (15%)	(144,549)										
VPN (18%)	(190,037)										

Anexo 5

COSTOS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRES EN OTROS PAISES

COSTOS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES

Los costos de tratamientos de aguas residuales no pueden ser estimados de manera generalizada, ya que dependen en cada caso, del tamaño de la empresa. Resulta más importante el efecto del costo del tratamiento sobre el precio del cuero final, que los costos absolutos. Existe alguna información sobre estudio de casos en curtiembres y los efectos de los costos de tratamiento en el precio del producto final (cuero).

En una inspección hecha en Europa en 1977, en dos curtiembres típicas, se estudió cómo afectaba el costo del tratamiento al precio del producto final.[16] El primer ejemplo corresponde a una curtiembre que procesa 100 toneladas de pieles por semana para producir cuero curtido al cromo para cubierta superior y lateral de calzado, y emplea entre 150 y 200 personas. El uso de un tratamiento convencional de efluentes, causa un incremento de 3.2% en el precio promedio del cuero.

El segundo ejemplo corresponde a una curtiembre que trabaja 3000 pieles de oveja saladas por semana, incurriendo en un incremento de costo equivalente a 2-1% del precio final de mercado.

Estos costos comparativos pueden aún resultar válidos actualmente. Sin embargo, en estudios más recientes en países europeos se ha estimado que los costos de una planta de tratamiento pueden variar en un rango de:

> US$ 5 a 15 por m3 de efluente tratado o bien, 4% a 6% del costo de producción del cuero terminado (datos 1991).[17]

De estos estudios se tienen varios ejemplos de costos para distintos tamaños de curtiembres o asociaciones de curtiembres, los cuales se presentan a continuación.

Montaje de una planta de tratamiento de efluentes en países industrializados

Caso 1: (Durante 1990)

Volumen de efluentes:	4.000 m3/día (industria) 1.000 m3/día (doméstico)
Volumen de efluente industrial tratado:	906.613 m3
Barro producido:	60.207 ton
Costo total de tratamiento aprox. US$ (sin efluentes domésticos)	12.552.400
Es decir aprox. US$:	13 por m3
Costo del manejo de barros US$:	92-120 por tonelada

Caso 2: (Durante 1990)

Volumen de efluentes:	3.000 m3/día
Volumen de efluentes tratados:	775.000 m3
Barro producido:	15.300 ton
Costo total de tratamiento aprox. US$:	4.836.000
Costo promedio tratamiento US$:	6,24 por m3
Costo del manejo de barros US$:	92-120 por tonelada
Distribución de los costos:	(%)
Mano de obra (21 personas):	21.2
Electricidad:	14.2
Mantención:	1.5
Productos químicos:	8.0
Manejo de barros	36.0
Gastos generales, interés, etc.:	19.1

Caso 3: Diferentes tipos de curtiembres. (Durante 1990)

Volumen de efluentes:	10.000 m3/día (industria) 3.000 m3/día (doméstico)
Volumen de efluentes tratados:	3.300.000 m3 (industria) 1.500.000 m3 (doméstico)
Total:	4.800.000 m3
Barro producido:	96.000 ton
Costo total de tratamiento aprox. US$:	18.400.000
Costo promedio de tratamiento US$: (efluentes industriales)	5,6 por m3
Costo del manejo de barros US$:	92-120 por tonelada
Distribición de costos:	(%)
Mano de obra (51 personas):	13.0
Electricidad:	8.8
Mantención:	8.7
Productos químicos:	7.6
Manejo de barros:	54.0
Gastos generales, interés, etc.:	7.9

2. Países en desarrollo (Africa)

Caso 1: Curtiembre localizada fuera de áreas de residencia, a la orilla de un río

Volumen de efluentes:	250 m3/día
(Incluye tratam. de separación de cromo)	
Costo de materiales,diseño de planta, montaje e instalaciones aprox. US$:	200.000
Obras civiles US$:	140.000
Costos totales US$:	340.000

Caso 2: Curtiembre sin área urbana, ubicada en la orilla de un río con bajo flujo

Volumen de efluentes:	200 m3/día
(Incl. separación de cromo por precipitación)	
Costo de materiales, diseño de planta, montaje e instalaciones aprox. US$:	120.000
Obras civiles US$:	50.000
Costos totales US$:	170.000

Caso 3: Curtiembre localizada en una zona industrial y conectada a un sistema de alcantarillado industrial

Volumen de efluentes:	120 m3/día
(Incl. separación de cromo por precipitac.)	
Costo de materiales, diseño de planta, montaje e instalaciones aprox. US$:	60.000
Obras civiles US$:	35.000
Costos totales US$:	95.000

Caso 4: Curtiembre localizada en zona industrial y conectada a un sistema de alcantarillado local

Volumen de efluentes:	2.000 m3/día
Costo de materiales, diseño de planta, montaje e instalaciones aprox. US$	1.400.000
Obras civiles US$:	1.000.000
Costos totales US$:	2.400.000

3. Estimaciones para el caso de una curtiembre en Uruguay

Se han establecido cifras aproximadas del monto de inversión necesario para una planta de tratamiento de aguas.

- Producción:	1000 cueros/día
- Tipo de producto:	Cueros curtidos al cromo
- Volumen de efluente a tratar:	750 m3/día
- Tratamiento completo:	Físico, químico y biológico

Requerimientos a cumplir:

- Material flotante:	Ausente
- Ph:	6.0-9.0
- DBO5:	Máx 60 mg/l
- Aceites y Grasas:	Máx 50 mg/l
- Sulfuros:	Máx 1 mg/l
- Cromo total:	Máx 1 mg/l
- Sólidos suspendidos totales:	Máx 150 mg/l

El monto de inversión requerido, comprendiendo dentro de éste los equipos de tratamiento, las instalaciones auxiliares y el costo del proyecto y ejecución, es del orden de los US$100.000 a US$150.000 (datos 1991).[18]

Anexo 6

TERMINOS USADOS

TERMINOS USADOS[19]

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO): es una medida de la cantidad de oxígeno que es consumido al degradarse la materia orgánica presente en las aguas residuales. La prueba se lleva a cabo durante 5 días y el resultado se expresa como DBO5. Es útil para medir los contaminates que se degradan rápidamente.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): es una medida de la cantidad de oxígeno consumido durante la oxidación química de los componentes del agua residual. Es útil para indicar los efectos de largo plazo de los contaminantes.

Sólidos Disueltos (SD): es el material fijo y volátil que pasa a través de un filtro estándar de fibra de vidrio y permanece después de evaporar y secar a peso constante a 103, 105 0 180 grados Celsuis.

Sólidos en Suspensión (SS): es toda sustancia que puede ser removida del agua por una filtración en un filtro estándar.

Sólidos Sedimentables (SSED): es aquella fracción de los sólidos suspendidos que es capaz de asentarse en un período convencional fijado de 2 horas.

Ph: medida de la concentración de iones de hidrógeno (H+) presentes en el agua. Valores de ph inferiores a 7 indican acidez, superiores a 7 indican alcalinidad y ph 7 indica aguas neutras.

Detergentes: los detergentes son compuestos tensoactivos, que tienen la propiedad de disminuir la tensión superficial de los líquidos en que se hallan disueltos. La determinación de la carga de detergente en aguas residuales se realiza mediante el método de sustancias activas al azul metileno (SAAM).

Metales: corresponde a la presencia de iones metálicos en los líquidos residuales. Tales iones pueden ser de Cu, Cr, Cd, Fe, Se, Ca, Li, Na, K, Pb, Zn, etc.

Conductividad Específica (CE): es la medida de la capacidad del agua de conducir la corriente eléctrica. Depende de la concentración total de sustancias ionizadas disueltas en el agua y de la temperatura.

Notas

1. Asociación de Curtidores de Chile, conversación personal, 1992.

2. Informe FISA, Sector Cuero y Calzado Chileno, Capítulo II: El Cuero y Calzado en Chile, 1991.

3. Ibid.

4. Asociación de Curtidores de Chile, conversación personal, 1992.

5. CORFO/INTEC-CHILE, La contaminación industrial y su control, "Estimación del número de establecimientos manufactureros de la Región Metropolitana por subsector y tamaño". INE/1987, Santiago, octubre, 1988.

6. Informe FISA, Sector Cuero ..., op. cit.

7. Informacion obtenida de expertos del sector curtidor.

8. UNEP/IEO, Tanneries and the Environment, Guía técnica, 1991, ISBN 92 807 1276 4.

9. Conversaciones con expertos del sector curtiembre en Chile.

10. Corbalán, José, Las curtiembres y el tratamiento de sus aguas, ACHITEC, 1991.

11. Corbalán, José, op. cit.

12. UNEP/IEO, op.cit.

13. E. Heidemann, "Tecnologías limpias en curtiembres, ¿las hay en realidad?", Escuela Alemana de Tenería, Reutlingen, Alemania, 1991.

14. Paredes, Jorge y Norma Cabrera, (de la Superintendencia de Servicios Sanitarios), "Legislación y Normativa Nacional", documento presentado en el "Primer Seminario de Contaminación por Residuos Industriales Líquidos", organizado por el Departamento de Ingeniería Química, USACH, Santiago, Chile, octubre, 1992.

15. Informe FISA, op. cit.

16. UNEP/IEO, "Tanneries ..., op.cit.

17. Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), "Leather Industry. Case Stady N° 3", ID/WG.516/10, agosto 1991, presentado a la Conferencia sobre Desarrollo Industrial Ecológicamente Sustentable, realizado en Copenhagen, Dinamarca, en octubre de 1991.

18. Rolla, María Eugenia y Jorge Hernández, CEPAL/ONUDI, LC/MVD/R.60, "La industria del cuero en el Uruguay. Competitividad, tecnología y medio ambiente", 1991.

19. CORFO/INTEC- CHILE,"La Contaminación ...", op. cit.