

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL**



**“ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO EN LAS
ALTERNATIVAS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA PARA
LAS CURTIEMBRES EN EL PERÚ”**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERA QUÍMICA

POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS

PRESENTADO POR:

GIANINA CARMEN PÉREZ PIÑAS

LIMA – PERÚ

2013

Dedico este título profesional a Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida, por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más y más. A mis padres Jorge y Carmen, quienes han velado por mí durante este arduo camino para convertirme en una profesional y a mis dos hermosos sobrinos Fabián y Luciana quienes con su amor y ternura me permitieron culminar este informe.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, doy infinitamente gracias a Dios por haberme dado fuerza y valor para culminar esta etapa importante de mi vida.

Agradezco también, la confianza y el apoyo brindado por parte de mi madre, que sin duda alguna, en el trayecto de mi vida me ha demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

A mi padre, que con sus consejos me ayudó a afrontar los problemas que se me presentaron a lo largo de mi vida.

Agradezco especialmente a mi tía Chinita y mi abuelita Isabel, por ser mis angelitos que me cuidan desde el cielo.

A mi madrina Dina, por su confianza y cariño, a mi abuelita Naty, tío Gustavo y tía Rosita por adoptarme en su familia en estos dos últimos meses y tratarme como su hija.

A mis hermanos, Jorge y Natalia por su compañía, apoyo y amor.

A mis primitos Pérez y primitas Piñas, quienes en todo momento me apoyaron moralmente y confiaron en mí.

A mis verdaderos amigos que pude identificar en estos últimos meses, quienes me ayudaron a no desmayar y poder seguir con mis objetivos.

Finalmente, a mis clientes Curtiembre Vanú y Curtiembre Macchiavello que con sus valiosas aportaciones hicieron posible este informe y por la gran calidad humana que me demostraron con su amistad.

RESUMEN

Las curtiembres, además de consumir una cantidad considerable de agua, generan efluentes con alta carga contaminante y a la vez, utilizan productos químicos para el proceso que se pierden como residuos, tales como la cal, sulfuro y cromo. No obstante, existen varias alternativas que permiten un mejoramiento ambiental de la actividad pudiendo no ser viable económicamente. Por lo tanto, en el presente trabajo se realiza un análisis técnico y económico de las alternativas de producción más limpia utilizadas con mayor frecuencia en las curtiembres, identificando los beneficios ambientales que se obtienen, así como los beneficios en costos de producción, en vista que se reducen los consumos de agua y de insumos químicos generándose ahorros para el empresario.

Los contaminantes generados por las curtiembres tienen soluciones, como tratar los efluentes finales, y también, considerando alternativas de prevención y minimización de los desechos. En este sentido, los productos, procesos, insumos y residuos deben analizarse cuidadosamente. La idea es minimizar, o mejor aún, evitar la generación de residuos mejorando o cambiando procesos, procedimientos, tecnologías y la gestión.

Muchas de las tecnologías limpias desarrolladas para el sector curtiembres han surgido como consecuencia de las necesidades de hacer un uso más eficiente de la materia prima y los insumos con dos objetivos principales: reducir los costos de producción y mejorar el desempeño ambiental. En este sentido, la gestión ambiental empresarial es el punto de partida para administrar los impactos ambientales negativos generados tanto por el consumo de recursos naturales como por los residuos generados en dicho proceso, teniendo en cuenta la optimización de tecnologías dentro de la organización que permitan reducir los costos de producción, internalizar los costos derivados de los efectos ambientales ocasionados, valorizar los residuos como nueva materia prima y a la vez ser competitivos.

Os curtumes, além de consumir alta quantidade de água, geram efluentes com alta carga poluente, decorrente da utilização de produtos químicos nos processos industriais, como Cal, sulfeto e cromo. No momento existem várias alternativas de processos industriais que apresentam uma melhoria quanto ao impacto ambiental, entretanto, alguns destes processos não apresentam-se economicamente viável. Por isto, no presente trabalho é feita uma análise técnica e econômica das alternativas de produção de couros com tecnologia mais limpa, de baixo impacto ambiental, possíveis de serem utilizadas pelas indústrias de beneficiamento de couros. Estes processos apresentam benefícios mensuráveis quanto ao impacto ambiental e redução no custo de produção, uma vez que conseguimos reduzir consumo de água e produtos químicos, gerando uma economia para o curtume.

Os efluentes gerados pelos curtumes não só podem ser tratados ao final do processo, mas também podem ser considerados alternativas de tratamento e redução de resíduos a partir de mudança e controle de processo. Neste sentido, os processos, produtos, insumos e resíduos devem ser analisados cuidadosamente. A ideia é reduzir, ou, melhor ainda, melhorar ou modificar processo de produção com novas tecnologias e gestão que reduzam ou evitem a geração de resíduos.

Muitas das tecnologias Limpas desenvolvidas para o setor de curtumes surgiram como resultado da necessidade de obtermos uma maior eficiência ao uso da matéria prima e insumos em busca de dois objetivos; melhorar custo de produção e redução do impacto ambiental negativo. Neste sentido, a gestão ambiental corporativa é o ponto de partida para administrar os impactos ambientais negativos gerados pelo processo, levando em conta a otimização dos processos e tecnologias dentro das organizações afim de reduzir os custos de produção, como também reduzir os custos ocasionados pelos impactos ambientais, como dar uso aos resíduos gerados, tornando os curtumes mais competitivos.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	3
1.1.	Objetivos	4
1.2.	Normativas Legales	4
1.2.1.	Antecedentes	4
1.2.2.	Decreto Supremo N° 021-2009-Vivienda y su reglamento	5
1.2.3.	Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos.....	11
1.2.4.	Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Ruido, D.S. N° 085 – 2003 – PCM.....	13
II.	ANTECEDENTES DE LA PRODUCCIÓN DEL CUERO	14
2.1.	Estadísticas de Producción.....	14
2.2.	Comercio Exterior.....	15
2.3.	Descripción del Proceso de Curtición.....	15
2.3.1.	Materia Prima	18
2.3.2.	Etapa de Ribera	20
2.3.3.	Etapa de Curtido	22
2.3.4.	Operaciones Húmedas Finales	24
2.4.	Principales Equipos y Maquinarias Usadas en las Curtiembres	25
2.4.1.	Botales o Fulones	25
2.4.2.	Máquina Descarnadora	29
2.4.3.	Máquina de Dividir	29
2.4.4.	Máquina de Rebajado y Pulido	30

III.	ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO EN LAS ALTERNATIVAS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA PARA LAS CURTIEMBRES EN EL PERÚ	31
3.1.	Generación de residuos y aspectos ambientales en la industria del cuero	31
3.1.1.	Identificación de fuentes y características de los residuos.....	31
3.1.1.1.	Residuos Líquidos.....	32
3.1.1.2.	Residuos Sólidos y Subproductos.....	39
3.1.1.3.	Otros Residuos.....	48
3.1.2.	Estimación global de residuos y su impacto ambiental	50
3.2.	Principios de Producción más Limpia	52
3.3.	Desarrollo de un programa de producción más limpia en las curtiembres peruanas	56
3.4.	Medidas de producción más limpia en la manufactura de curtiembres.....	62
3.5.	Aplicación de un programa de producción más limpia en una curtiembre peruana.....	112
IV.	CONCLUSIONES	163
V.	RECOMENDACIONES.....	166
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	167
VII.	APÉNDICE.....	168

I. INTRODUCCIÓN

El cuero se obtiene luego de preparar y transformar las pieles de los animales sacrificados para el consumo de carne de manera que se estabilice y no se degrade con el tiempo. Para ello, se han de eliminar todas aquellas partes que no son de utilidad: restos de carne, grasa, pelo, suciedad, proteínas no fibrosas y adicionar aquellos productos que darán estabilidad y las características de resistencia, tacto, firmeza y colores requeridos.

La industria del cuero en el Perú corresponde a pequeñas y/o medianas empresas, que en la mayoría de los casos producen severos problemas medioambientales como las aguas residuales, contaminada de altas concentraciones de materia orgánica, sulfuro y cromo principalmente.

El creciente interés y preocupación de la sociedad por el cuidado del ambiente determina que las organizaciones, cualquiera sea su naturaleza, deban velar para que sus actividades se realicen en armonía con el ambiente, de manera que las consecuencias que puedan representar los procesos y productos relacionados con ellas sean cada vez menores. El sector de curtiembres no es ajeno a esta realidad y dado el vínculo de sus actividades con el ambiente y el uso de los recursos naturales, es esencial que este sector, sin importar el tamaño de la industria, busque minimizar el impacto adverso que causan al ambiente por sus procesos productivos.

Este informe se centrará en conocer las diversas alternativas de tecnologías limpias para minimizar los impactos ambientales negativos generados en una curtiembre.

En este trabajo se presenta como primer tópico el análisis de cada una de las etapas del proceso para la obtención del cuero. Posteriormente, se presenta el tema de Producción Más Limpia y Gestión Ambiental con lo cual se orienta al lector de este informe a reducir la generación de residuos en cada etapa del proceso de producción con el fin de minimizar o eliminar los residuos antes que se generen contaminantes potenciales.

1.1. Objetivos

- Proporcionar los criterios de buena gestión aplicables íntegramente en el proceso productivo del curtido de cuero para minimizar los impactos ambientales negativos generados en esta industria.
- Mediante una comparación técnica y económica orientar la protección en las curtiembres peruanas para la implementación de la Producción Más Limpia.

1.2. Normativas Legales

1.2.1. Antecedentes

- La Ley N° 26338, Ley General de Servicios de Saneamiento, establece que los usuarios tienen la obligación de hacer uso adecuado de los servicios, es decir, no dañar la infraestructura correspondiente a fin de evitar el deterioro y asegurar el funcionamiento de los sistemas de alcantarillado, cumpliendo con las normas que los reglamentos de las entidades prestadoras establezcan.
- DECRETO SUPREMO N° 003-2002-PRODUCE, Aprobación de Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel.
- El DS N° 023-2005-VIVIENDA, establece como derecho, suspender el servicio de alcantarillado sanitario cuando las características de los efluentes industriales que se vierten en él, no cumplan con los límites máximos permisibles establecidos en las normas vigentes.
- Decreto Legislativo N° 613, Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, en su Artículo I del Título Preliminar, establece que es obligación de todos la conservación del ambiente y consagra la obligación del Estado de prevenir y controlar cualquier proceso de deterioro o depredación de los recursos

naturales que puedan interferir con el normal desarrollo de toda forma de vida y de la sociedad.

- ☒ Ley General de Salud, Ley N° 26842, establece que corresponde a la Autoridad de Salud competente dictar las medidas para minimizar y controlar los riesgos para la salud de las personas derivados de elementos, factores y agentes ambientales, de conformidad con lo que establece, en cada caso, la ley de la materia; que los estándares de calidad ambiental del ruido son un instrumento de gestión ambiental prioritario para prevenir y planificar el control de la contaminación sonora sobre la base de una estrategia destinada a proteger la salud, mejorar la competitividad del país y promover el desarrollo sostenible.

1.2.2. Decreto Supremo N° 021-2009-Vivienda y su reglamento

1.2.2.1. Objetivo

Regular mediante Valores Máximos Admisibles (VMA) las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario a fin de evitar el deterioro de las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias, equipos y asegurar su adecuado funcionamiento, garantizando la sostenibilidad de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de las aguas residuales.

1.2.2.2. Ámbito de Aplicación

Los VMA, son aplicables en el ámbito nacional y son de obligatorio cumplimiento para todos los usuarios que efectúen descargas de aguas residuales no domésticas en el alcantarillado sanitario; su cumplimiento es exigible por las entidades prestadoras de servicios de saneamiento (SEDAPAL).

A nivel nacional, la acatan todos los usuarios que efectúen descargas de aguas residuales no domésticas en el alcantarillado sanitario. La aplican todas las entidades prestadoras de servicio.

1.2.2.3. Definición

El Valor Máximo Admisible (VMA), es aquel valor de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan a un efluente no doméstico que va a ser descargado a la red de alcantarillado sanitario, que al ser excedido causa daño inmediato o progresivo a las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias, equipos de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales y tiene influencias negativas en los procesos de tratamiento de aguas residuales.

Ver Apéndice, Anexo N° 1 y 2.

1.2.2.4. Disposiciones Complementarias Finales

PRIMERA.- La presente norma entró en vigencia a partir de la aprobación de su Reglamento mediante el D.S. N° 003-2011-VIVIENDA, vigente a partir del 22 de junio de 2011.

SEGUNDA.- Los usuarios que a la fecha de entrada en vigencia del presente Decreto Supremo, se encuentran efectuando descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario, deberán adecuar sus descargas a las disposiciones establecidas en la presente norma, en un plazo no mayor de cinco (05) años. En el caso de nuevos usuarios del sistema de alcantarillado sanitario las disposiciones de la presente norma son de aplicación inmediata.

1.2.2.5. Metodología para determinar el pago adicional por exceso de concentración de los parámetros fijados en el Anexo 1 del D.S. N° 021-2009-Vivienda

1.2.2.5.1. Establecimiento de Rangos

En concordancia con el principio de incentivar la reducción de las descargas de los parámetros del Anexo N° 1 del D.S. N° 021-2009-VIVIENDA, la presente metodología establece cinco (05) rangos de concentración de los parámetros (DBO, DQO, SST, A y G) en relación a los incrementos de concentraciones establecidas como valores máximos admisibles de las descargas de aguas residuales en el sistema de recolección del servicio de alcantarillado sanitario y la transición de estos valores en relación a la dilución de la ciudad y los efectos generados y proyectados en la operación y mantenimiento de la red colectora y plantas de tratamiento de desagüe, con la finalidad de incentivar en los usuarios no domésticos la adecuación de sus sistemas con un pre tratamiento antes de verter sus desagües a la red colectora:

Tabla 1.1: Definición de Rangos de Parámetros del Anexo N° 1

RANGO	PARÁMETROS			
	DBO ₅	DQO	SST	A y G
VMA (mg/L)	500	1000	500	100
Rango 1	500,1 – 550	1000,1 – 1100	500,1 – 550	100,1 – 150
Rango 2	550,1 – 600	1100,1 – 1200	550,1 – 600	150,1 – 200
Rango 3	600,1 – 1000	1200,1 – 2500	600,1 – 1000	200,1 – 450
Rango 4	1000,1 – 10 ⁴	2500,1 – 10 ⁴	1000,1 – 10 ⁴	450,1 – 10 ³
Rango 5	> a 10 ⁴	> a 10 ⁴	> a 10 ⁴	> a 10 ³

Fuente: D.S. 021 – 2009 – VIVIENDA

1.2.2.5.2. Establecimiento de límite de pago adicional por cada rango

Adicionalmente se establece límites de pago adicional para cada rango establecido:

Tabla 1.2: Límites de pago adicional por rangos de parámetros del Anexo N° 1

RANGO	LÍMITE DE PAGO ADICIONAL
Rango 1	25% del importe facturado por servicio de alcantarillado
Rango 2	75% del importe facturado por el servicio de alcantarillado
Rango 3	100% del importe facturado por el servicio de alcantarillado
Rango 4	10 veces del importe facturado por el servicio de alcantarillado
Rango 5	20 veces del importe facturado por el servicio de alcantarillado

Fuente: D.S. 021 – 2009 – VIVIENDA

1.2.2.5.3. Establecimiento de pesos específicos para cada uno de los parámetros

La metodología establece pasos específicos para cada uno de los parámetros: DBO5, DQO, A y G y SST, como lo muestra la Tabla 1.3.

Fórmula:

El pago adicional a ser aplicado a los usuarios no domésticos que producen agua residual no doméstica con concentraciones de DBO, DQO, SST y Aceites y Grasas por encima de los Valores Máximos Admisibles del Anexo N° 1 del D.S. N° 021 – 2009 – VIVIENDA, en adelante VMA, será aplicado sobre la estructura tarifaria previamente definida entre SEDAPAL y la SUNASS.

Por tanto, únicamente los usuarios que opten por arrojar en la red colectora pública agua residual no doméstica con concentraciones de DBO₅, DQO, SST y Aceites y Grasas por encima de los VMA deberán realizar el pago adicional.

Tabla 1.3: Asignación Porcentual para cada parámetro biológico o fisicoquímico

PARÁMETRO	ASIGNACIÓN PORCENTUAL
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	25%
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	35%
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	20%
Aceites y Grasas	20%

Fuente: D.S. 021 – 2009 – VIVIENDA

Ecuación 1:

$$PA = \text{Importe a facturar por el servicio de alcantarillado} \times F$$

Donde:

PA = Pago Adicional

F = Factor de ajuste para calcular el pago adicional

Tabla 1.4: Factores por cada rango de parámetros del Anexo N° 1

RANGO	FACTORES				
	F DBO ₅	F DQO	F SST	F A y G	TOTAL
Asignación Porcentual	25%	35%	20%	20%	
Rango 1	6%	9%	5%	5%	25%
Rango 2	19%	26%	15%	15%	75%
Rango 3	25%	35%	20%	20%	100%
Rango 4	250%	350%	200%	200%	10 veces más
Rango 5	500%	700%	400%	400%	20 veces más

Fuente: D.S. 021 – 2009 – VIVIENDA

Ecuación 2:

$$F = FDBO_5 + FDQO + FSST + FAyG$$

Donde:

- F = Factor de ajuste para calcular el pago adicional.
 FDBO₅ = Factor de exceso de DBO₅ de acuerdo al rango.
 FDQO = Factor de exceso de DQO de acuerdo al rango.
 FSST = Factor de exceso de SST de acuerdo al rango.
 FA y G = Factor de exceso de A y G de acuerdo al rango.

1.2.3. Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos

1.2.3.1. Objetivo

La presente Ley establece derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades de la sociedad en su conjunto, para asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos, sanitaria y ambientalmente adecuada, con sujeción a los principios de minimización, prevención de riesgos ambientales y protección de la salud y el bienestar de la persona humana.

1.2.3.2. Ámbito de Aplicación

La presente Ley se aplica a las actividades, procesos y operaciones de la gestión y manejo de residuos sólidos, desde la generación hasta su disposición final, incluyendo las distintas fuentes de generación de dichos residuos, en los sectores económicos, sociales y de la población. Asimismo, comprende las actividades de internamiento y tránsito por el territorio nacional de residuos sólidos.

1.2.3.3. D.S. N° 057 – 04 – PCM, Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos

1.2.3.3.1. Objetivo

El presente dispositivo reglamenta la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos, a fin de asegurar que la gestión y el manejo de los residuos sólidos sean apropiados para prevenir riesgos sanitarios, proteger y promover la calidad ambiental, la salud y el bienestar de la persona humana.

1.2.3.3.2. Ámbito de Aplicación

El reglamento es de aplicación al conjunto de actividades relativas a la gestión y manejo de residuos sólidos; siendo de cumplimiento obligatorio para toda persona natural o jurídica, pública o privada dentro del territorio nacional.

1.2.3.3.3. Residuos Peligrosos

Los residuos peligrosos, son elementos, sustancias, compuestos, residuos o mezclas de ellos que, al finalizar su vida útil adquieren la condición de residuos o desechos y que independientemente de su estado físico, representan un riesgo para la salud o el ambiente, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas.

1. Residuos metálicos o que contengan metales.
2. Residuos que contengan principalmente constituyentes orgánicos, que puedan contener metales o materia orgánica:
 - Residuos de cuero en forma de polvo, cenizas, lodos y harinas que contengan compuestos de plomo hexavalente o biocidas.
 - Residuos de cuero regenerado que no sirvan para la fabricación de artículos de cuero, que contengan compuestos de cromo hexavalente o biocidas.
 - Residuos del curtido de pieles que contengan compuestos de cromo hexavalente o biocidas o sustancias infecciosas.
3. Residuos que contengan principalmente constituyentes orgánicos, que puedan contener metales y materia inorgánica.
4. Residuos que pueden contener constituyentes inorgánicos u orgánicos

1.2.4. Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Ruido, D.S. N° 085 – 2003 – PCM

1.2.4.1. Objetivo

La presente norma establece los estándares nacionales de calidad ambiental para ruido y los lineamientos para no excederlos, con el objetivo de proteger la salud, mejorar la calidad de vida de la población y promover el desarrollo sostenible.

1.2.4.2. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Ruido

La Normativa Nacional considera los siguientes criterios de aplicación:

Tabla 1.5: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Ruido

ZONAS DE APLICACIÓN	VALORES EXPRESADOS (dB)	
	HORARIO DIURNO	HORARIO NOCTURNO
Zona de Protección Especial	50	40
Zona Residencial	60	50
Zona Comercial	70	60
Zona Industrial	80	70

Fuente: D.S. 085 – 2003 – PCM

Las operaciones que se llevan a cabo en las curtiembres, especialmente en los botales, ofrecen niveles significativos de ruido, mucho más cuando no se realiza mantenimiento a los rodamientos.

II. ANTECEDENTES DE LA PRODUCCIÓN DEL CUERO

2.1. Estadísticas de Producción

Las industrias de curtido transforman las pieles de animales en cueros, el sector de curtido es el sector industrial más amplio del mundo cuya materia prima es un subproducto, puesto que transforman un residuo de la industria cárnica en un producto de elevado valor.

Actualmente, las pieles bovinas, ovinas y caprinas alcanzan casi un 100% de la producción mundial de cuero, aunque también se fabrican cueros a partir de pieles de reptiles o peces. Algunos valores orientativos sobre tal producción mundial se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 2.1: Producción mundial de cuero

TIPO DE PIEL	TONELADAS PIEL EN BRUTO/AÑO (peso salado)
Bovinas	5 219 000
Ovinas	981 000
Caprinas	750 000
Total	6 950 000

Fuente: “Pelambre y Curtido al cromo con Tecnologías Limpias” -CITEccal

Tabla 2.2: Beneficio de Ganado en Camales - Perú

TIPO DE PIEL	2009	2010	2011
Ovino	Unidades: 733 634 kg/unidad: 13,1	Unidades: 751 630 kg/unidad: 13,0	Unidades: 757 886 kg/unidad: 12,9
Vacuno	Unidades: 851 653 kg/unidad: 172,9	Unidades: 924 249 kg/unidad: 173,4	Unidades: 970 506 kg/unidad: 174,5

Fuente: Direcciones Regionales Agrarias – Dirección de Información Agraria

La Dirección de Información Agraria, señala que el Perú es deficitario en pieles vacunas, aún así, este tipo de piel es la que más se trabaja en las Curtiembres Peruanas. Según las importaciones de productos químicos para curtiembres en el año 2012 y comentarios de los empresarios curtidores, se procesaron casi 1 000 000 vacunos en este periodo, lo que representa aproximadamente el 0,57% de la producción mundial de cuero vacuno.

2.2. Comercio Exterior

Las exportaciones de Pieles y Cueros se muestran en la Tabla 2.3.

2.3. Descripción del Proceso de Curtición

El curtido es el proceso de transformación de las pieles animales en cuero mediante la reacción de las fibras de colágeno de la piel con agentes curtientes para estabilizar las fibras mediante la formación de complejos tipo quelatos, con el fin de evitar su descomposición y facilitar su uso.

El producto final es empleado como materia prima para la fabricación de productos de calzado, marroquinería, vestimenta, tapizados, entre otros.

Tabla 2.3: Partidas Arancelarias, exportaciones de pieles y cueros

Partida Arancelaria	Descripción	FOB – 12 (miles US\$)	Principales Importadores
4104110000	Cueros y pieles curtidas o crust de bovino o equino, depilados en estado húmedo, plena flor sin dividir.	408 480	Colombia China
4104190000	Demás y pieles curtidas o crust de bovino o equino, depilados en estado húmedo, wet blue.	5 478 098	España U.S.A
4105300000	Pieles curtidas o crust de ovino, depiladas, en estado seco.	3 0867 242	España China
4105100000	Pieles curtidas o crust de ovino, en estado húmedo.	5 084 423	India China
4106210000	Pieles de caprino, en estado húmedo.	22 392	Ecuador
4303901000	Alfombras de piel.	9 444 019	Nueva Zelanda Australia

Fuente: SIICEX, Sistema Integrado de Información de Comercio Exterior - 2012

En la Fig. 2.1, se aprecian los diferentes procesos de esta industria.

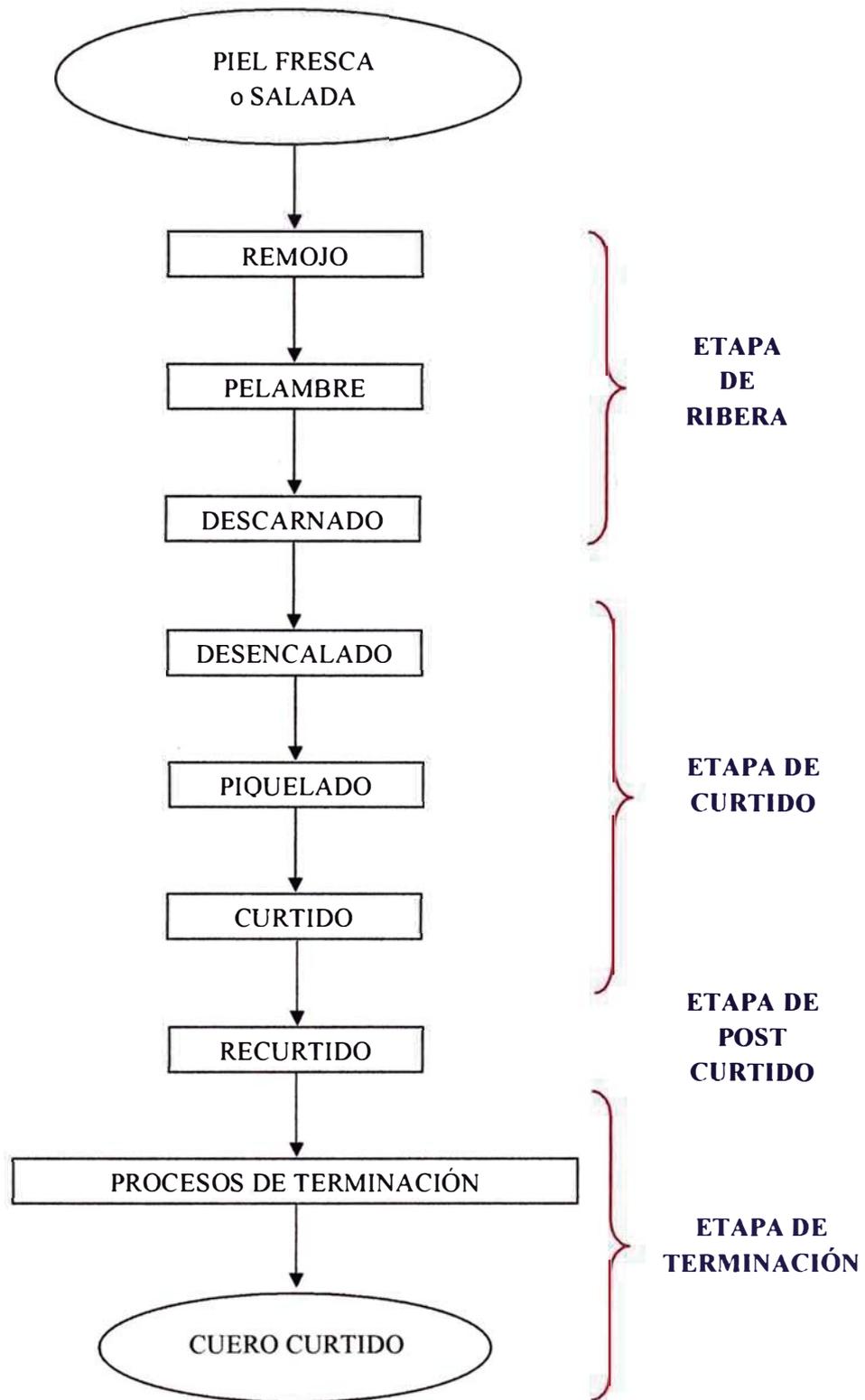


Fig. 2.1: Diagrama del proceso de curtido al cromo

2.3.1. Materia Prima

La piel que llega a las manos del curtidor está formada por tres capas bien diferenciadas: la epidermis, la dermis y el tejido subcutáneo.

La parte interesante para la curtición es la dermis y, en el curso de los procesos húmedos, se eliminan las otras dos partes.

La dermis está constituida fundamentalmente por fibras de una proteína llamada colágeno, pero también contiene fibras elásticas, reticulina, vasos sanguíneos, nervios, células grasas y tejido muscular.

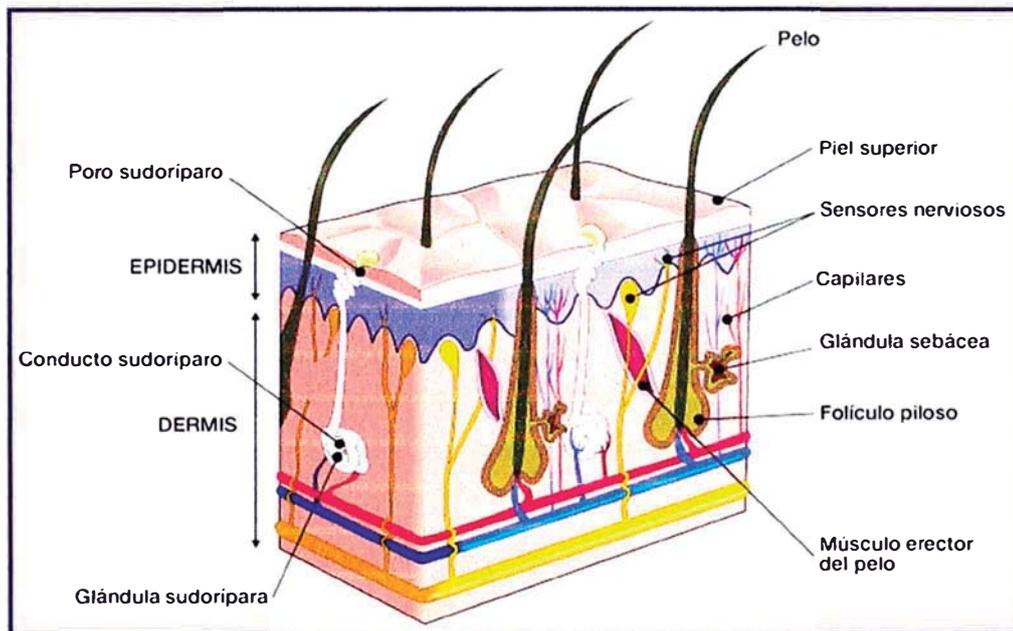


Fig. 2.2: Estructura de la Piel

Fuente: "Química Técnica de Curtición"

La composición porcentual de estos componentes varía estratégicamente de la capa superior llamada “flor” hasta la inferior llamada “carne”. La estructura del colágeno varía también entre diferentes especies (una piel de oveja es muy diferente de una piel de vaca) y dentro de una misma especie, con la edad, procedencia, etc., del animal.

Composición aproximada de una piel vacuna recién desollada:

Tabla 2.4: Composición de la piel

COMPONENTES	COMPOSICION (%)
Agua	64
Proteínas	33
Grasas	2
Sustancias Minerales	0,5
Otras Sustancias	0,5

Fuente: “Química Técnica de Curtición” - J.M. Morera

Las proteínas las podemos diferenciar en: colágeno 94 - 95%, elastina 1%, queratina 1-2% y el resto proteínas no fibrosas. Además de contaminación externa como orina, estiércol, tierra y otros.

El procesamiento del cuero empieza poco después del sacrificio del animal. Cuando el tiempo entre el sacrificio del animal y el procesamiento de la piel es corto, se puede iniciar sin cualquier pre-tratamiento. En este caso, las pieles se denominan “frescas” y su peso varía dependiendo del animal.

Cuando las pieles son almacenadas, deben pasar por un pre-tratamiento para impedir el desarrollo de microorganismos con consecuente putrefacción de las mismas. Esta preservación se realiza inicialmente por inmersión en salmuera; a continuación, las

pieles se apilan, intercalándose la sal entre cada capa. En estas condiciones, las pieles pueden guardarse por meses hasta iniciar el proceso de curtido.

Las pieles saladas presentan una fuerte resistencia a los microorganismos, sin embargo, esto provoca la deshidratación del cuero, eliminando parte de las proteínas solubles, pesando entre 20 a 25 % menos de su peso inicial.

El procedimiento para la preservación de las pieles consiste en la deshidratación de las mismas para impedir que empiece la putrefacción. Los procesos más comunes de deshidratación son: secado, salado y secado-salado.

La piel salada es la materia prima más usual en el trabajo de la piel vacuna y ovina. Por otro lado, no presenta diferencias fundamentales en sus tratamientos a la de otros tipos de conservación, aparte del tiempo de remojo, la cantidad de sal en las aguas residuales y el efecto mecánico (velocidad de agitación) del proceso de remojo.

El proceso del curtido involucra 3 etapas básicas que se describen a continuación:

- Ribera
- Curtido;
- Acabado

2.3.2. Etapa de Ribera

En este proceso se prepara la estructura fibrosa del colágeno de la piel para la fase de curtición, en este proceso se limpian y acondicionan asegurando un correcto grado de humedad. En esta etapa, se dan un conjunto de operaciones mecánicas, procesos químicos, físico-químicos y enzimáticos que tiene como fin eliminar de la piel los componentes no adecuados para la obtención del cuero.

El proceso de ribera consta de una serie de etapas, las cuales se describen a continuación:

A. Remojo

Es la primera operación a la que se someten las pieles en el proceso de fabricación, consiste en tratarlas con abundante agua. El objetivo del remojo es limpiar las pieles de todas las materias extrañas (estiércol, sangre, barro, microorganismos y productos usados en la conservación con sal), disolver parcialmente las proteínas solubles y sales neutras y devolverlas al estado de hidratación que tenían como pieles frescas.

El consumo de agua es aproximadamente de 7 m³/ton, con unos efluentes cargados con sal, proteínas solubles, suero, emulsionantes y materia en suspensión.

B. Pelambre-Calero

Tiene como objetivos eliminar la epidermis junto con el pelo y producir un aflojamiento de la estructura fibrosa del colágeno para prepararla para los procesos de curtición, eliminando parte del tejido conjuntivo y adiposo.

Los procesos tradicionales en piel vacuna u ovina usan la acción conjunta del sulfuro de sodio y cal. Tiene como efectos la eliminación del pelo y se produce un hinchado y aflojamiento de la estructura fibrosa, eliminando proteínas solubles y saponificando parcialmente la grasa natural de la piel.

El consumo de agua está alrededor de 9 m³/ton, con unos efluentes con cal, sulfuro de sodio, proteínas queratínicas, materias grasas y pelos.

C. Descarnado

Es la operación mecánica que elimina de la piel restos de tejido subcutáneo y adiposo. Las pequeñas cantidades de agua de escurrido tienen la misma composición que las aguas de calero diluidas por el agua aportada por la máquina. Los subproductos principales son sólidos llamados carnazas.

D. Dividido

Es la operación para dejar la piel con el grosor adecuado según el producto a fabricar.

Normalmente da lugar a dos partes, la piel en flor (lado flor) y el serraje (lado carne). Si la piel es suficientemente gruesa, el lado carne continúa el proceso de fabricación como producto de menor calidad.

2.3.3. Etapa de Curtido

Con la piel limpia y en condiciones adecuadas se procede a la curtición, proceso que tiene como finalidad estabilizar la materia orgánica para impedir putrefacciones.

A. Desencalado

Operación que se realiza para eliminar la cal y los productos alcalinos del interior de la piel, al mismo tiempo, se elimina el hinchamiento alcalino. Es una acción conjunta de neutralizado con productos químicos, suave aumento de temperatura y efecto mecánico. La operación normalmente se efectúa conjuntamente con el rendido.

B. Rendido

El objetivo del rendido o purga es conseguir un aflojamiento y una ligera peptización del colágeno y como efecto secundario la limpieza de restos de epidermis, pelo y grasa. Para esta operación se usan enzimas proteolíticas.

El consumo de agua de las dos operaciones conjuntas, desencalado y rendido, está alrededor de 7 m³/ton, con efluentes con sulfito sódico, sales amoniacales, ácidos orgánicos, proteínas y enzimas.

C. Píquel

Complementa al desencalado e interrumpe definitivamente el efecto de rendido, prepara la piel para una posterior curtición. Como efecto secundario, ataca las membranas de las células grasas.

Se usa cloruro de sodio, ácidos minerales y orgánicos. La cantidad de agua necesaria está entre 0,6 y 1 m³/ton. Esta operación se realiza normalmente sin descarga de baño antes de la curtición, por lo tanto la descarga de efluentes será conjunta con ésta.

D. Curtición

Hay diferentes tipos de curticiones:

- Curtición mineral: Se utilizan principalmente sales de cromo en forma de sulfatos.
- Curtición vegetal: Taninos naturales pirogálicos y pirocatequínicos, ácidos orgánicos.
- Curtición sintética: Aldehídos, fenoles y polifenoles condensados.

El consumo de agua depende mucho del tipo de curtición, en curticiones minerales con sal de cromo se puede considerar un máximo de 3 m³/ton, con unos efluentes con sales, ácidos minerales, y restos de productos de curtición.

E. Escurrido y Rebajado

Son operaciones mecánicas que permiten dejar la piel en el grosor que se pide para el producto acabado. Las aguas de escurrido tienen la misma composición que las de curtición y se contabilizan junto con ellas. En el rebajado se obtienen residuos sólidos: rebajaduras de piel curtida. Antes de pasar a las operaciones posteriores, que también se efectúan en medio acuoso, las pieles se deben rehumectar.

2.3.4. Operaciones Húmedas Finales

Sirven para dar las características al producto final, tacto, resistencia, color, etc.

La secuencia siguiente es usual y los balances hídricos se aproximan, la carga contaminante se da como global del conjunto de operaciones.

A. Neutralizado – Recurtición

La curtición al cromo, deja el cuero a un pH ácido y con un contenido de sales elevado, estas condiciones lo hacen agresivo en condiciones elevadas de temperatura y humedad. El neutralizado tiene como objetivo eliminar estas sales y la acidez con lavados y sales ligeramente básicas.

La recurtición sirve para dar al cuero unas cualidades que no se pueden obtener con un solo proceso de curtición, normalmente mezcla las propiedades de las curticiones minerales, vegetales y sintéticas.

Los efluentes de estos procesos serán similares a los de la curtición, pero con pH más elevados. El gasto de agua está alrededor de 6 m³/ton.

B. Teñido y Engrase

Su finalidad es dar el aspecto físico final al cuero, tanto en color como en flexibilidad y tacto. Se utilizan materias grasas, aceites sulfatados, sulfonados y sulfitados, colorantes sintéticos aniónicos y catiónicos, ácidos minerales u orgánicos, amoníaco y aminas oxietilenadas.

El gasto de agua en estas operaciones está alrededor de 8 m³/ton.

El cuero sigue el proceso de fabricación con el secado y los acabados, operaciones finales de proceso que dependen del tipo de cuero y del producto final deseado.

En estas operaciones el uso de agua es muy bajo o nulo y los efluentes finales son poco importantes, están incorporados en las operaciones húmedas finales.

2.4. Principales Equipos y Maquinarias Usadas en las Curtiembres

2.4.1. Botales o Fulones

Los botales o fulones son los reactores más usuales en los procesos húmedos de curtición, son recipientes cilíndricos que giran alrededor de su eje central, en este equipo se realiza la reacción entre la piel y los productos químicos, permitiendo controlar la temperatura, el tiempo, la velocidad y el sentido de rotación.

Los tamaños dependen del volumen de producción y de la fase del proceso, para remojo, pelambre, desencalado-rendido, píquel y curtición al cromo, suelen tener igual diámetro que anchura, para el neutralizado, la recurtición, la tintura y el engrase pueden tener más diámetro que anchura para mejorar y potenciar el efecto mecánico.

La capacidad de estos depende de sus dimensiones y generalmente se calcula llenándolo hasta un 90% de la altura del radio para evitar pérdidas por el eje hueco, en la Tabla 2.5 se encuentran valores de capacidad útil y kilos de piel, estos dependen siempre de la cantidad de baño, entre un 100 y un 200% (entre 1 000 y 2 000 L/ton de piel).

Tabla 2.5: Dimensiones y capacidades de los botales

Diámetro interno, m	Anchura interna, m	Capacidad útil m ³	Kilos de piel vacuna	
			100% baño	200% baño
2.0	2.0	2.7	1 400	900
2.5	2.5	5.4	2 700	1 750
3.0	3.0	9.2	4 600	3 050
3.5	3.5	14.7	7 350	4 900
4.0	4.0	21.9	11 000	7 300

Fuente: "Química Técnica de Curtición" - J.M. Morera

Los botaes se construyen con madera dura, compacta de fibras y secada al natural, la madera que mejor resiste los productos químicos usados y los rozamientos es la de bolondo y teca, dependiendo del tamaño del botal, los tablones para construirlo son de 6 a 10 cm de grosor. Existen además, otros materiales no tradicionales como el polipropileno, la fibra de vidrio-resina epoxi y el acero inoxidable que se usan para construir botaes, pero no tienen la versatilidad operacional de la madera.



Fig. 2.3: Vista de un botal

Fuente: C.A. Macchiavello S.A.

Sobre la parte cilíndrica existe una apertura rectangular, que se cierra con una puerta, que es manual en los botaes pequeños y corredera o neumática en los botaes grandes, esta apertura sirve para introducir y descargar las pieles y productos químicos. Los ejes de giro están perforados y permiten la entrada de agua, y de productos químicos disueltos.

En el interior de los botalos hay unos pivotes de madera pulidos o de materiales plásticos que tienen una longitud entre 20 y 40 cm dependiendo del tamaño del botalo, estos pivotes están colocados en filas alternadas (Fig. 2.4 y Fig. 2.5) que provocan junto con el giro del botalo el movimiento de arrastre de las pieles, lo que se conoce como efecto mecánico, este efecto agita las pieles y facilita la penetración de los productos químicos, el efecto mecánico aumenta con la velocidad de giro del botalo.

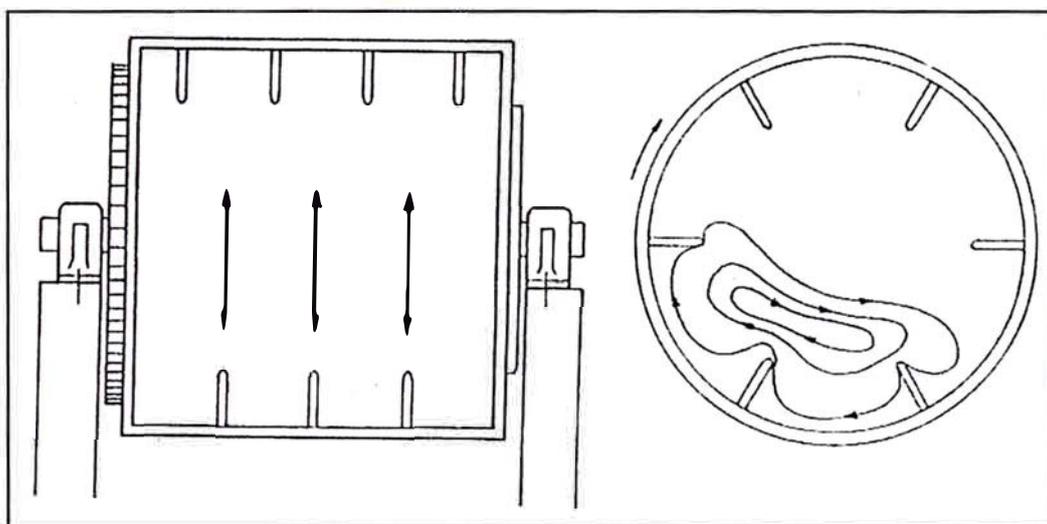


Fig. 2.4: Pivotes, movimiento de pieles y efectos mecánicos en un botalo

Fuente: Adzet et al., 1985

La velocidad de giro del botalo debe ser baja en las primeras operaciones para evitar rozaduras y rupturas, la velocidad puede ser mayor cuando la piel ya está curtida pues la resistencia estructural es mayor. En la Tabla 2.6 se muestra las velocidades de giro para botalos de 3 a 4 metros de diámetro.

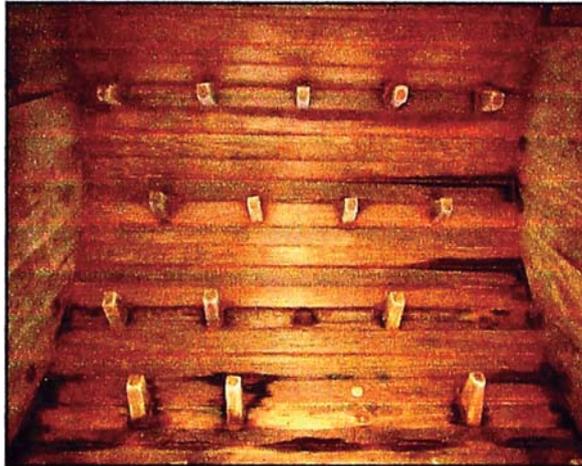


Fig. 2.5: Vista real de los pivotes

Fuente: C.A. Macchiavello S.A.

Tabla 2.6: Velocidades de giro de un botal para cada etapa

Etapas	Velocidad de giro, rpm
Remojo	2 – 4
Pelambre	2 – 4
Curtido	6 – 10
Recurtición, teñido y engrase	12 - 20

Fuente: “Química Técnica de Curtición” - J.M. Morera

2.4.2. Máquina Descarnadora

En esta máquina se eliminan el tejido subcutáneo, carne y grasa, para evitar el desarrollo de bacterias sobre la piel. La piel pasa por medio de un cilindro neumático de garra y otro de cuchillas helicoidales muy filosas, circulando en sentido contrario a este último cilindro, el cual está ajustado de tal forma que presiona a la piel, lo suficiente como para asegurar el corte (o eliminar definitivamente) sólo del tejido subcutáneo adherido a ella.

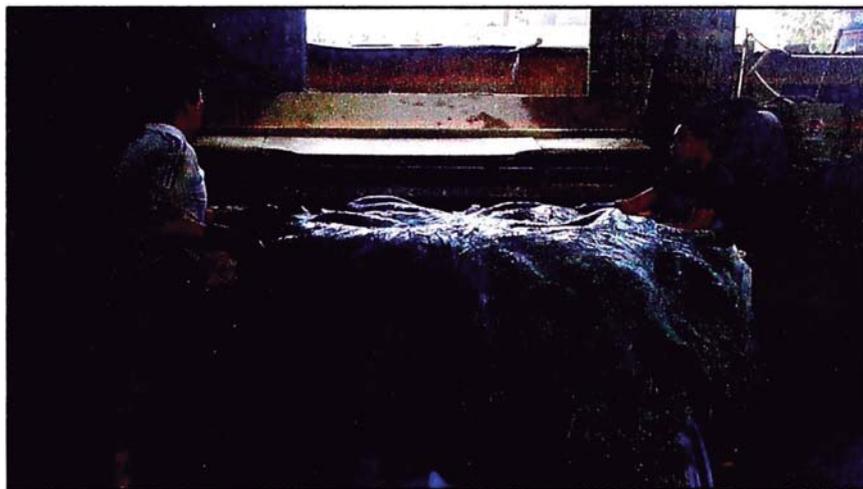


Fig. 2.6: Máquina Descarnadora

Fuente: Cueros Gamboa E.I.R.L.

2.4.3. Máquina de Dividir

La acción de la máquina de dividir se basa en seccionar la piel, apoyada entre dos cilindros, mediante una cuchilla en forma de cinta sin-fín, que se mueve en un plano paralelo al lado de la flor y al lado de la carne. Las máquinas de dividir son máquinas de delicada precisión, por ello, la operación del dividido requiere buen conocimiento de la operación y de la máquina a manejar.



Fig. 2.7: Máquina Divididora

Fuente: C.A. Macchiavello S.A.

2.4.4. Máquina de Rebajado y Pulido

Esta máquina constan de un cilindro con cuchillas con filo helicoidal, una piedra de afilar que mantiene las cuchillas afiladas, una mesa operativa, un cilindro transportador y un cilindro de retención que mantiene el cuero para que no se lo lleve la máquina. En aquellas máquinas que no tienen este cilindro, la retención la realiza el propio operario con su cuerpo.



Fig. 2.8: Máquina de Rebajado

Fuente: CIA. Marroquinería Valencia S.A.C.

III. ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO EN LAS ALTERNATIVAS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA PARA LAS CURTIEMBRES EN EL PERÚ

3.1. Generación de residuos y aspectos ambientales en la industria del cuero

Es un hecho que las fábricas de curtido producen una cierta contaminación cuya toxicidad es mucho más reducida de lo que generalmente se cree. La contaminación varía de unas a otras dependiendo de factores como:

- Tipo de materia prima, piel: vacunas, ovinas, caprinas...
- Estado de conservación: frescas, secas, saladas, piqueladas, wet blue,...
- Tipo de curtición: cromo, vegetal,...
- Tipo de artículo a fabricar: gamuza, guantería, confección, suela, tapicería,...

3.1.1. Identificación de fuentes y características de los residuos

La industria de curtido de pieles tiene altos índices de consumo de agua y genera grandes cantidades de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica, sólidos, salinidad, grasas y presencia de contaminantes específicos. Los materiales que pueden aparecer en los desechos de curtiembre, incluyen entre otros: pelo, pedazos de piel y carne, sangre, estiércol, sales, sal común, sales de cromo y sulfuros entre otros. La cantidad y las características de los desechos de las curtiembres dependen sobre todo de la combinación de operaciones y procesos que utiliza cada una de las categorías de este sector industrial, así como del tipo y los métodos de conservación de las pieles y de las sustancias químicas utilizadas en las diferentes fases del procesamiento. Influye también el orden en que se llevan a cabo las operaciones y en general el control del proceso de producción.

El índice de descarga reportado por la Agencia de Protección Ambiental del los Estados Unidos (U.S. EPA) varía desde 14 hasta 116 litros de aguas residuales por kg de materia prima.

Actualmente, en nuestro país el único pre tratamiento que se les da a los efluentes es la remoción del material grueso mediante la instalación de rejillas.

La descarga de los residuos se presenta en estado gaseoso, líquido, o sólido. Los desechos líquidos son los de mayor significancia, sin embargo, los materiales gaseosos y sólidos son importantes en ciertas operaciones individuales y se deben considerar para su disposición. Un esquema del proceso productivo considerando los residuos se aprecian en la Figura 3.1

A continuación se clasifican los residuos generados en la industria del cuero:

3.1.1.1. Residuos Líquidos

Los procesos más importantes en esta industria se efectúan en medios acuosos. Cada etapa del proceso va generando residuos industriales líquidos con distintos grados de contaminación, siendo la más importante en términos de carga orgánica expresada en DBO₅, la etapa de ribera.

Un ejemplo de los niveles de contaminación por fase de producción se muestra en la Tabla 3.1.

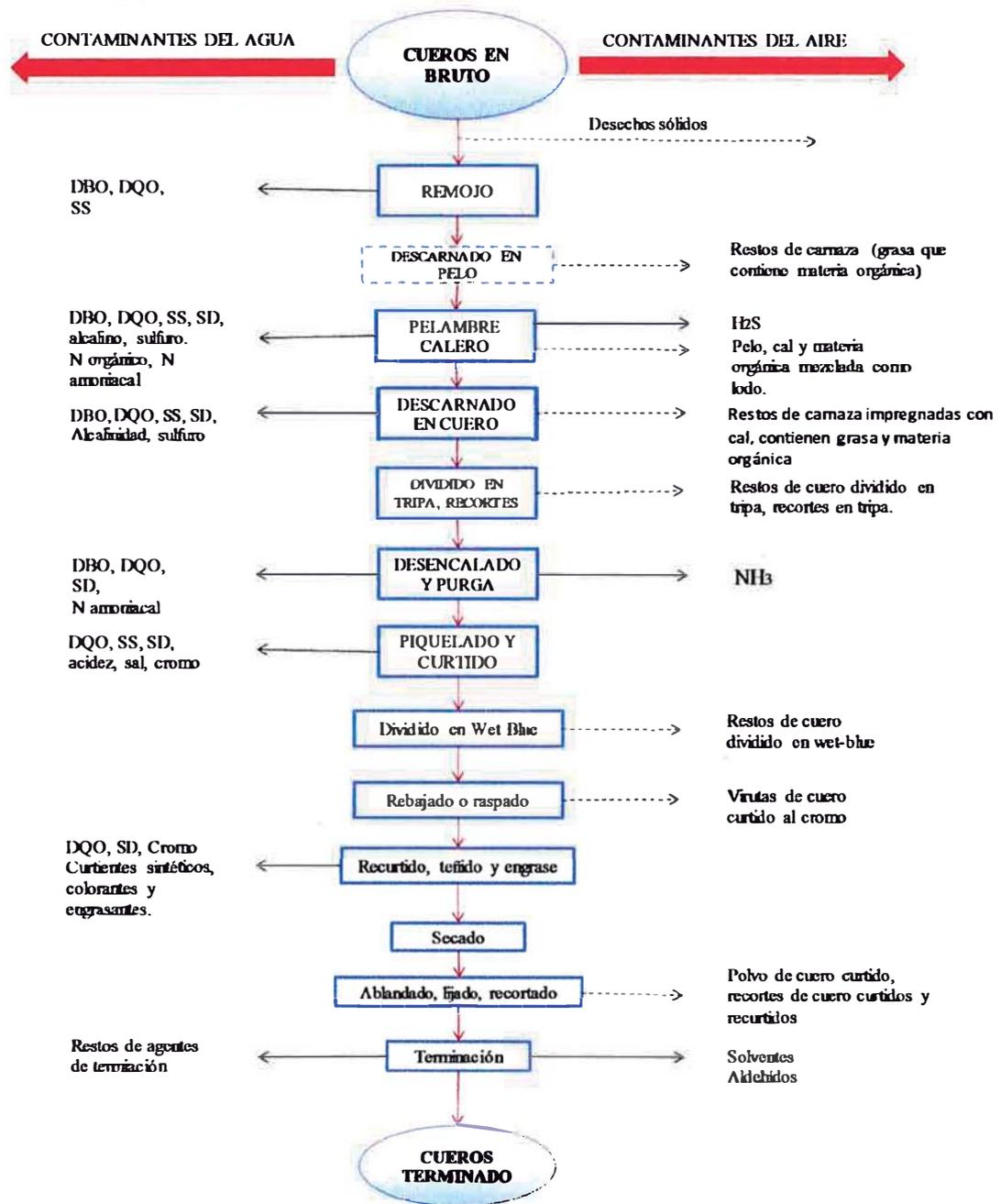


Fig. 3.1: Esquema proceso de producción cueros curtidos indicando los residuos en cada etapa.

Tabla 3.1: Parámetros de contaminación según las fases de fabricación del cuero

PARÁMETROS DE LA POLUCIÓN	EFLUENTE TOTAL	REMOJO	PELAMBRE	DESENCALADO RENDIDO	PIQUELADO CURTICIÓN	RESTANTES
DBO₅ (kg/t)	75 – 90	7- 9	52 – 63	2,5	1	11,5 – 14,5
%	100	10	70	3,8	1,2	15
DQO (kg/t)	200 – 220	30 – 33	110 – 120	6	2	50 – 58
%	100	15	56	3	1	25
Materiales Oxidables (kg/t)	110 – 130	14 – 17	70 – 82			14 – 17
%	100	13	64			23
Sólidos Suspendidos (kg/t)	140	7	77			56
%	100	5	55			40
Salinidad (kg/t)	250 – 350	150 – 210		20 – 30	60 – 90	17 – 25
%	100	60		8	25	7
Toxicidad (Eq/t)	2,5		1,9		0,6	
%	100		76		24	

Fuente: Aloy et al., 2005

Para realizar un adecuado análisis de los residuos industriales en el proceso de curtido de pieles se analizan los diferentes procesos: ribera, curtido y acabados.

A. Ribera

Esta etapa se caracteriza por generar una carga contaminante importante, a modo de ejemplo en la producción de una tonelada de piel vacuna, de acuerdo a Thorstensen (1993), se generan:

Demanda bioquímica de oxígeno DBO₅ 60 kg/ton

Demanda química de oxígeno DQO 140 kg/ton

Sólidos suspendidos 90 kg/ton

Sulfuros 8 kg/ton

Volumen vertido 20 m³/ton

La fuerte carga contaminante generada en esta etapa tiene los siguientes orígenes:

- Suciedad adherida a las pieles:

Compuesta fundamentalmente por tierra y guano adherido al pelo. Se eliminan principalmente en el remojo generando sólidos suspendidos y DBO₅ en el residuo líquido.

- Componentes constitutivos del cuero que se eliminan durante la ribera:

Corresponde a todos los componentes del cuero distintos del colágeno, es decir, las proteínas no estructuradas y mucoproteínas, que se encuentran en la sangre y líquido linfático, todo lo cual desde el punto de vista de la curtición es indeseable, por cuanto son estructuras proteicas que reaccionan ávidamente con el cromo, generando cuerpos insolubles y que al quedar en el tejido interfibrilar hacen perder al cuero

propiedades importantes como son la blandura, flexibilidad, elasticidad y "buen quiebre".

Estos componentes proteicos no estructurados deben eliminarse, de preferencia, en la etapa de remojo, ya que justamente actúan degradando y solubilizando especialmente a las globulinas y mucoproteínas. La eliminación de estos componentes por solubilización en medio acuoso se traduce en un aumento de la DBO₅.

- Pelo:

Es un componente del cuero en bruto, compuesto de queratina. Es química y bioquímicamente muy estable. Su destrucción en el pelambre se hace posible por la acción de grandes cantidades de sulfuro y cal, lo que da un medio altamente alcalino. Esta destrucción conlleva a un drástico aumento de la DBO₅ en el efluente así como también, un importante aumento de los sólidos suspendidos.

- Grasas:

Se encuentran abundantemente como tejido adiposo adherido en el lado carne del cuero. Durante el proceso de pelambre se saponifican parcialmente en el medio alcalino, dando origen a una parte del valor del extracto etéreo del efluente total de curtiembre.

- Sulfuro:

Es un producto fundamental en el proceso de destrucción del pelo o pelambre. Se trata de un elemento altamente tóxico en medio acuoso, principalmente porque debido a su carácter reductor provoca una drástica disminución del oxígeno disuelto en los cursos de agua y además cuando las soluciones acuosas que lo contienen bajan su pH del valor 10, se desprende ácido sulfhídrico gaseoso que al ser inhalado en determinadas concentraciones puede llegar a ser mortal.

La presencia del sulfuro en el proceso de pelambre explica que este proceso por si solo sea responsable del 76% de la toxicidad total del efluente.

- Cal:

La cal apagada en polvo es un producto técnico de alta riqueza en hidróxido cálcico, alrededor del 90%. Se usa en la ribera debido, principalmente, a su bajo costo y a su poca causticidad como álcali. Es muy poco soluble (1,29 g/l a 20°C) y los baños se preparan siempre con un exceso de cal (10 g/l y superiores) que queda en suspensión, contribuyendo a elevar los valores de sólidos suspendidos en los efluentes. Es el único material usado por las curtiembres que da sólidos en suspensión, en circunstancias que la mayoría de las materias en suspensión proceden de las pieles.

- Alcalinidad:

La alcalinidad del baño de pelambre es un elemento de contaminación, ya que, por su alto valor de pH debe ser neutralizada antes de su descarga.

- Salinidad:

Principalmente la salinidad se genera en la etapa de remojo y corresponde a la sal común proveniente de la etapa de conservación del cuero (cerca del 60% de la salinidad), aportando otras etapas de la ribera, valores menores. Este porcentaje corresponde a información internacional debido a la baja disponibilidad de valores nacionales y fundamentalmente, porque los valores nacionales no son el producto de estudios hechos durante largo tiempo considerando variaciones estacionales de la producción y un universo suficientemente amplio de industrias muestreadas.

- Tensioactivos:

Estos productos son ampliamente usados en ribera, como humectantes y como agentes de limpieza de los cueros. Los más usados son los alquilfenoles etoxilados. Estos productos dan altos valores de DQO y de toxicidad.

B. Curtido

De la Tabla 3.1, se desprende que las operaciones de piquelado y curtido tienen una influencia relativamente importante en la toxicidad y salinidad del efluente.

La etapa de curtición que contiene el grueso de la oferta del cromo al cuero, no representa una toxicidad mayor dentro del efluente global, con esto se corrobora que las sales de cromo trivalente son de baja toxicidad.

No obstante lo anterior, el cromo seguirá siendo objeto de una verdadera persecución normativa y será mandatorio a las industrias curtidoras aplicar tratamientos a los baños que los contienen. De ahí que se deba procurar confinar el uso del cromo a la menor cantidad de procesos posibles y reducir al máximo los volúmenes de agua de los baños que lo contengan.

- Nitrógeno amoniacal:

El nitrógeno amoniacal cuyo valor típico para efluente unificado de curtiembre es 70 mg/l, también tiene su origen en la operación de curtido, siendo su principal fuente el sulfato de amonio usado durante el desencalado. También es frecuente la presencia de nitrógeno amoniacal en las fermentaciones anaeróbicas de proteínas.

C. Acabados

Estos procesos que incluyen las operaciones en húmedo a partir del estado del cuero en azul (wet-blue), es decir lavado, neutralizado, recurtido, teñido y engrase, tienen una importancia relativamente baja dentro de la contaminación del efluente de una curtiembre. Son de una toxicidad despreciable y de baja DBO₅ (15%), siendo solamente destacables por su aporte a los sólidos suspendidos, los que provienen fundamentalmente de virutas remanentes del proceso de raspado, las que a su vez son fácilmente eliminables de los efluentes, aún en el botal mismo o previo a él.

Es interesante destacar que las operaciones de recurtición, teñido y engrase tienen una contribución sólo del 25% del total de DQO del efluente unificado.

3.1.1.2. Residuos Sólidos y Subproductos

Durante la conservación y procesamiento de las pieles se producen cantidades importantes de residuos sólidos, cuya composición y naturaleza dependerán en gran medida del tipo de piel utilizado.

En el proceso de curtición, el producto final, representa menos del 50% del producto inicial, por lo tanto parte importante del producto inicial queda en el camino como residuo sólido.

Una de las maneras de clasificar los residuos sólidos y subproductos, es diferenciando dos grupos:

1) Residuos sin curtir

Residuos sólidos sin curtir

Sal

Recortes piel en bruto

Pelo inmunizado

Lana

Grasa (piel pequeña)

Carnazas en tripa

Recortes serraje en tripa

2) Residuos curtidos

Residuos sólidos curtidos

Fibras sueltas curtición

Recortes Wet-Blue

Rebajaduras curtición al cromo

Rebajaduras curtición al vegetal

Polvo esmerilado

Recortes acabados

A. Residuos sin Curtir

- Recortes piel en bruto:

Cuando la piel de los animales llega a la industria, se procede al recorte de las partes correspondientes al cuello, cola y las extremidades. En el caso de pieles de ovinos, también se recorta la lana. Los restos de piel que se desechan contienen carnazas, grasas, sangre y excrementos, que aportan la carga orgánica en los residuos de curtiembre.

De una manera muy elemental puede decirse que la composición de la piel fresca está formada por un retículo de proteínas fibrosas bañadas por un líquido acuoso que contiene proteínas globulares, grasas y sustancias minerales y orgánicas. La composición aproximada de una piel vacuna recién desollada se muestra en la Tabla 2.4 Entre estos valores destaca el elevado contenido en agua de la piel. Aproximadamente un 20% de esta agua, se encuentra combinada con las fibras de colágeno de forma similar al agua de cristalización, y por lo tanto no contribuye a dar sensación de humedad; el resto se encuentra en forma libre entre las fibras. Del total de las proteínas que tiene la piel aproximadamente un 94 - 95% es colágeno, 1% elastina, 1 - 2% queratina y el resto son proteínas no fibrosas.



Fig. 3.2: Operación de recorte de piel vacuna fresca

Fuente: C.A. Macchiavello S.A.



Fig. 3.3: Recortes de piel vacuna fresca

Fuente: C. A. Macchiavello S.A.

- Pelo y lana:

A continuación se presenta un análisis químico de muestras de pelo de vacuno efectuado en laboratorios de la Universidad Católica de Chile.

Tabla: 3.2: Análisis químico del pelo

ANÁLISIS	UNIDAD	EN BASE 100% MATERIA SECA	EN BASE SECO AL AIRE
Humedad	%	--	64,6
Materia Seca	%	35,4	--
Ceniza	%	31,8	11,2
Proteína Cruda	%	48,4	17,1
Extracto Etéreo	%	13,1	4,7
C – Orgánico	%	39,56	
R – C/N		5,11	

Fuente: Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía

De la tabla precedente, se desprende que el pelo es una estructura eminentemente proteica, de bajo contenido de grasa y de una relación carbono nitrógeno muy baja. Con esto se explica su gran utilidad como aporte nitrogenado en procesos de compostaje, ya que su contenido de nitrógeno es alto. Además, es fácilmente desaguable hasta niveles adecuados para compostación.

Su contenido graso también es bajo, lo que adicionalmente favorece a este proceso de degradación aeróbica. El contenido de otros nutrientes como potasio y fósforo son también bastante altos y junto a la materia orgánica permiten obtener compost de excelente calidad.

- Carnaza:

Las carnazas en tripa proceden de las máquinas de descarnar, que arrancan de la piel la parte de tejidos subcutáneos, formados por restos de tejido adiposo, conjuntivo y muscular que ha quedado adherido al desollar al animal. Si el descarnado se hace después del remojo, con el cuero en pelo, no hay duda que la carnaza será más limpia y mejor su aprovechamiento, pero no siempre se puede efectuar de esta manera.

La carnaza se presenta en forma de tiras más o menos largas, que son de difícil manejo al estar muy húmedas, pues aparte del agua que ellas aportan, está la que proporciona la máquina de descarnar.

Se suele empezar por escurrirlas y la cantidad de estas representa un 16 - 22% del peso de la piel salada, aproximadamente, y según tamaños de cuero y procedencia.

Los principales componentes de las carnazas son: agua, proteínas, grasas y sales minerales. Las proteínas están formadas, en su mayor parte, por fibras de colágeno y elastina; los sebos son triglicéridos de ácidos grasos sólidos de tipo palmítico y esteárico y ácidos grasos líquidos tipo ácido oleico, y las sales sulfuros, algo de cloruro sódico e hidróxido cálcico, aparte de otros productos que se hayan podido añadir en el pelambre.

Según la procedencia de los cueros pueden variar considerablemente las proporciones de estos compuestos en las carazas, lo cual hará variar los rendimientos de cada uno de los productos a obtener. Un análisis de la composición de este residuo, obtenido durante experiencias de compostaje, se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3.3: Composición de la Caraza

PRODUCTO	(%) SOBRE PESO HÚMEDO	(%) SOBRE PESO SECO
Agua	78 – 82	---
Proteínas	5 – 10	25 – 50
Grasas	7 – 12	35 – 60
Cenizas	4 – 5	20 – 25

Fuente: AMBAR S.A., 1998



Fig. 3.4: Residuos de la Máquina de descarnar

Fuente: C.A. Macchiavello S.A.

Por su fuerte alcalinidad, pH alrededor de 12, se conservan bastante y es difícil su putrefacción. Tienen que pasar más de quince días, y sobre todo en época de calor, para que por la acción del anhídrido carbónico del aire que va eliminando la alcalinidad del producto, se pueda iniciar la degradación.

- Recortes de descarnado y trozos de tripa:

En las operaciones de descarnado y dividido es necesario recortar del cuero aquellos trozos que podrían perjudicar el normal trabajo de las mismas o que es necesario separarlos por defecto de la operación. Igualmente, una vez dividida la piel (se entiende vacuna), es necesario recortar el descarnado producido para dejar solamente aquella parte que, por condiciones de espesor, puede servir para ser curtido como tal. La composición de estos residuos se refleja en la Tabla 3.4:

Tabla 3.4: Composición de Descarnado y trozos de tripa

PRODUCTO	TROZOS DE TRIPA (%)	RECORTE DESCARNE (%)
Agua	75	75
Sustancia piel	21	22,5
Grasas	1	0,3
Materias minerales	3	2,2

Fuente: AMBAR S.A., 1998



Fig. 3.5: Recortes de trozos de tripa

Fuente: Tenería y Servicios de Norte S.A.C.

B. Residuos Curtidos

- Rebajaduras al cromo y vegetal

Los cueros, aunque hayan sido divididos en tripa o cromo, caso del vacuno, o sin dividir (ovejas y cabras), necesitan ser igualados a un grosor determinado, procedimiento que se realiza en la máquina de rebajar y que da lugar a unas virutas de cuero estrechas y alargadas que se recogen o se trasladan por diversos medios a unos depósitos o contenedores. Según la curtición a la que haya sido sometido el cuero tendremos rebajaduras de cromo, vegetal o blancas si se han curtido al aluminio o algún otro metal o sintético. Un análisis de la composición de este residuo, curtido bajo los dos métodos señalados, se muestra en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5: Composición de Rebajaduras

PRODUCTO	CROMO (%)	VEGETAL (%)
Agua	45 – 50	40 – 45
Sustancia piel	32 – 36	30 – 32
Materias grasas	1 – 2	1 – 2
Otras materias orgánicas		27 – 29
Oxido de cromo	1 – 2	
Sales Minerales	12 – 15	2 – 3

Fuente: AMBAR S.A., 1998



Fig. 3.6: Rebajaduras de Cromo

Fuente: C.A. Macchiavello S.A.

- Otros

En este punto se pueden incluir los polvos de esmerilado y los recortes de cuero con o sin acabado, así como todos los desperdicios de fábricas de calzado o marroquinería, e incluso los restos de artículos de cuero desechados por su uso. En la Tabla 3.6 se presenta la composición de estos tipos de residuos.

Tabla 3.6: Composición de Residuos de Cuero Seco

PRODUCTO	CURTIDO AL CROMO III (%)	CURTIDO VEGETAL (%)
Agua	12 – 14	13 – 15
Sustancia piel	50 – 70	45 – 60
Otras materias orgánicas	10 – 24	25 – 45
Oxido de Cromo	2 – 5	
Otras sales	Menos que 1	1 – 6

Fuente: AMBAR S.A., 1998

3.1.1.3. Otros Residuos

La descomposición de la materia orgánica, así como la emisión de sulfuro de las aguas residuales causan el característico mal olor de una curtiembre. Es así que la localización de este tipo de industria es motivo de controversias en muchos países, de ahí que se les deba destinar áreas específicas. Sin embargo, en América Latina y en nuestro país, las curtiembres están localizadas en zonas urbanas, específicamente en Lima.

Las emisiones de sulfuro provenientes del pelambre y de las aguas residuales; las emisiones de amoníaco y vapores de solventes que provienen del desencalado y de la etapa de acabado; así como las carnazas y grasas del descarnado, son fuentes importantes de producción de olores que podrían eliminarse mediante un buen

control de las operaciones de la industria. La Tabla 3.7 muestra valores indicativos de calidad del aire en el ambiente de trabajo de una curtiembre.

Tabla 3.7: Valores indicativos de la calidad del aire en el lugar de trabajo

PARÁMETRO	VALOR O RANGO
H ₂ S	0 – 15 ppm
NH ₃	0 – 18 ppm
SO ₂	0 – 15 ppm
Acido Fórmico	0 – 7 ppm
Polvo	0 – 8 mg/m ³
Tricloro Etileno	0 – 78 ppm
Tolueno	0 – 25 ppm
Metilcetona	0 – 27 ppm
Isopropanol	0 – 185 ppm
Etilacetato	0 – 400 ppm

Fuente: UNEP / Industry and Environment Office (2000)

Con relación a los olores generados en las curtiembres, debe tenerse un cuidado especial en el saladero, sector donde se almacenan los cueros sin curtir, conservados únicamente con sal. Como tal, es una importante fuente de malos olores, de restos de sal altamente contaminada con sangre y bacterias, y de alguna cantidad de sangre que escurre especialmente de los cueros recientemente salados.

En general, los olores producidos en las curtiembres tienen su origen en inadecuadas prácticas productivas y falta de una adecuada política de mantención e higiene de las instalaciones. Así, es posible encontrar: acumulación de desechos por períodos prolongados, equipos mal lavados, mala distribución de las instalaciones (desde un

punto de vista práctico para la evacuación de los residuos) y pisos húmedos entre otras.

Las molestias están circunscritas mayoritariamente a las instalaciones mismas y en menor medida podrían existir efectos molestos para la comunidad debido a los olores. El olor proveniente de la descomposición de materia orgánica y emisión de sulfuros de las aguas residuales, podrían eliminarse o reducirse a través de un buen control de las operaciones de la industria.

Respecto al ruido, solo existen problemas o molestias al interior de las instalaciones, generado básicamente por equipos y máquinas, lo cual es completamente mitigable para los trabajadores con adecuados elementos de protección.

3.1.2. Estimación global de residuos y su impacto ambiental

La cantidad de residuos que puede producirse en el proceso de curtido depende muchas veces de: procesos utilizados, tipo de cuero, insumos usados y medidas implementadas para prevenir o reducir la contaminación, entre otros.

En general, los residuos de las curtiembres pueden causar problemas que representan efectos negativos sobre el ambiente. La disposición de los residuos líquidos y sólidos, así como las emisiones gaseosas sobre cuerpos de agua, suelo y aire, degradan la calidad de estos últimos ocasionando daños ambientales muchas veces irreversibles.

Efectos sobre cuerpos de agua. Las aguas residuales cuando son descargadas directamente a un cuerpo de agua ocasionan efectos negativos en la vida acuática y en los usos posteriores de estas aguas. Un cuerpo de agua contaminado disminuye el valor de su uso como bebida o para fines agrícolas e industriales. Afecta la vida acuática, mueren los peces por disminución del oxígeno disuelto y el agua se convierte en no apta para el consumo. Fundamentalmente y en forma resumida, los

componentes específicos que causan problemas en los cursos de agua son cromo, sulfuro y carga biológica.

Efectos sobre el alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales.

Los efluentes crudos de curtiembres, lanzados a una red de alcantarillado, provocan incrustaciones de carbonato de calcio y gran deposición de sólidos en las tuberías. La presencia de sulfuros y sulfatos también acelera el deterioro de materiales de concreto o cemento. Si la carga contaminante presenta sustancias tóxicas como el cromo, y es lanzada a una planta de tratamiento, puede interferir con el proceso biológico de la planta. En lugares donde no existen plantas de tratamiento, estos contaminantes afectan la calidad del cuerpo receptor causando su deterioro. Los residuos industriales líquidos de curtiembre que son descargados sin tratamiento a cuerpos de agua provocan una drástica disminución del oxígeno disuelto en ella por efecto del sulfuro, además de los fenómenos de embancamiento por sólidos totales y el aumento de materia orgánica general, más la presencia indeseada del cromo trivalente.

Efectos sobre el suelo. El suelo tiene cierta capacidad para neutralizar la carga contaminante recibida. Consecuentemente, la descarga de un efluente tratado puede ser beneficiosa para la irrigación de un terreno agrícola. Sin embargo, los niveles de contaminación deben ser cuidadosamente controlados para evitar el daño de la estructura del suelo, y la consecuente disminución de la producción agrícola y aceleración de la erosión. Tan sólo el riego reiterado con un efluente rico en cloruro de sodio daña la vegetación debido a que el ión cloruro es fitotóxico.

Por otra parte, el ión sodio también es perjudicial al dañar la estructura del suelo porque desintegra las arcillas afectando la porosidad del mismo.

Efectos sobre la calidad del aire. Materiales particulados y sulfuro de hidrógeno son las dos descargas gaseosas potenciales significativas. Los malos olores como consecuencia de inadecuadas o inexistentes prácticas de limpieza, también afectan la calidad del aire.

3.2. Principios de Producción más Limpia

3.2.1. Antecedentes

La industria de curtido trató primero de manejar la contaminación usando el ambiente natural para diluir el impacto de los contaminantes. Posteriormente, esto no fue suficiente y algunas acciones fueron tomadas para minimizar el impacto de estos contaminantes en el ambiente. Esto llevó al uso de tecnologías para el control de la contaminación (final del proceso – final del tubo) con métodos costosos y frecuentemente no muy efectivos.

La producción más limpia evita la contaminación industrial al reducir la generación de residuos en cada etapa del proceso de producción con el fin de minimizar o eliminar residuos antes que se generen contaminantes potenciales.

3.2.2. Definición de Producción Más Limpia

La producción más limpia se orienta a la reducción de generación de residuos y contaminantes en todas las etapas de los procesos productivos, del diseño y uso de los productos y de la prestación de los servicios.

Producción Más Limpia (PML) es la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada para los procesos, productos y servicios con el objetivo de incrementar la eficiencia y reducir los riesgos sobre la población humana y el ambiente.

En los procesos productivos se orienta a:

- La conservación y ahorro de materias primas, agua y energía, entre otros insumos.
- La reducción o minimización de la cantidad y peligrosidad de residuos (sólidos, líquidos y gaseosos).
- La eliminación de materias primas e insumos tóxicos y peligrosos mediante la sustitución, con el fin de reducir los impactos negativos que acompañan su extracción, almacenamiento, uso o transformación.

En los productos se orienta a:

- La reducción de los impactos negativos que acompañan el ciclo de vida del producto, desde la extracción de las materias primas hasta su disposición final.

En los servicios se orienta a:

- La incorporación de la dimensión ambiental tanto en el diseño como en la prestación de los servicios.

3.2.3. Mejores Técnicas Disponibles

Son los medios más eficaces para el desarrollo de las actividades productivas y de sus modalidades de producción. La eficacia se mide en términos de la capacidad práctica de determinadas técnicas que, en principio, permiten alcanzar valores límites de descarga o emisiones para evitar o minimizar el impacto ambiental.

La producción más limpia incorpora las prácticas de prevención de la contaminación, de eficiencia energética y de las tres R's (Reuso, Reciclaje y Recuperación).

3.2.3.1. Bases prácticas para la producción más limpia

Buenas prácticas operativas:

- Segregar los flujos de residuos, a fin de facilitar su reciclaje, reuso, recuperación o, en último caso, cuando no hay más alternativa, su tratamiento final como desechos.
- Mejorar las operaciones y el mantenimiento de los equipos.
- Mejorar el orden y las operaciones de limpieza.
- Mantener controles de inventarios y de balances de masa y energía.
- Prevenir derrames y fugas.
- Realizar otras prácticas de reducción de residuos y de uso de energía, que no impliquen cambios significativos en los procesos o en los equipos.

3.2.4. Beneficios

1. Ahorro de costos mediante la reducción y el uso de materias primas y energía.
2. Mejor eficiencia operativa de la planta.
3. Mejor calidad de los productos y consistencia porque la operación de la planta es controlada y por ende más predecible.
4. La recuperación de algunos materiales de los subproductos.
5. Reducción de residuos, reducción de impuestos.
6. Mayor credibilidad para créditos por parte de los bancos.

La producción más limpia requiere:

1. Aplicación del saber (Know - how)
2. Mejorar la tecnología
3. Cambio de actitudes

A continuación se detallan los principios de Producción Más Limpia:

- **Principio de sostenibilidad:** Se refiere a la integración equilibrada de los aspectos sociales, ambientales y económicos del desarrollo, así como en la satisfacción de las necesidades de las actuales y futuras generaciones.
La producción más limpia constituye lograr un equilibrio entre los aspectos ambientales y económicos al hacer un uso eficiente de los recursos, disminuyendo de esta manera los impactos ambientales que afectan a la sociedad.
- **Principio de prevención:** La Producción Más Limpia como estrategia que permita minimizar los efectos negativos que los procesos productivos generen sobre el ambiente.
- **Principio de internalización de costos:** El costo de las acciones de prevención relacionadas con la protección del ambiente y de sus componentes de los impactos negativos de las actividades humanas debe ser asumido por los causantes de dichos impactos.
- **Principio de innovación tecnológica:** Estrategia clave dirigida al desarrollo de nuevos procesos y productos, mediante la generación, transferencia, incorporación y adaptación de tecnologías; representa un trabajo sistemático que implica ver el cambio como una oportunidad, superar lo gastado, lo obsoleto, lo improductivo, llevar ideas nuevas al nivel de realización práctica, hasta que sean utilizables y aplicables.

3.3. Desarrollo de un Programa de Producción Más Limpia en las Curtiembres Peruanas

Entre las décadas de los 70's y 80's se creía que la solución a la contaminación era únicamente el tratamiento al final del proceso productivo, pero solo hasta los 90's se comienza a trabajar la parte de prevención, lo que significa un cambio de enfoque en el manejo de los temas ambientales, sobre todo para las industrias, debido a que producir sosteniblemente no significa reducir las ganancias, y hacer buenos negocios no significa ir contra el cuidado del medio ambiente. Producir eficientemente implica ahorros y retornos económicos a las inversiones como resultado de un mejor uso de los recursos tanto naturales, como humanos y financieros.

La PML es implementada como estrategia ambiental preventiva integrada a los procesos productivos para incrementar la eficiencia y reducir los riesgos sobre el medio ambiente y la salud humana.

Mediante la aplicación de métodos de PML se conduce al ahorro de materias primas, agua y/o energía y a la reducción en la fuente de la cantidad y toxicidad de los desechos durante el proceso de producción.

En este orden de ideas, la PML puede incrementar la eficiencia productiva debido a que su aplicación conduce a la empresa a hacer un uso óptimo de materias primas, agua y energía, entre otros insumos; permitiéndole producir la misma cantidad de productos con una menor cantidad de insumos. El efecto es la disminución de costos unitarios de producción, y al mismo tiempo, la reducción de las características de toxicidad de los residuos líquidos por pérdidas de insumos en las descargas.

El enfoque de Producción Más Limpia requiere la aplicación de un criterio jerárquico en las prácticas de gestión ambiental. El orden de preferencias en la toma de decisiones sobre diseño y explotación es como sigue:

- Prevención de la generación de residuos y emisiones
- 3R's – Reciclar, Reutilizar y Recuperar
- Tratamiento
- Eliminación segura

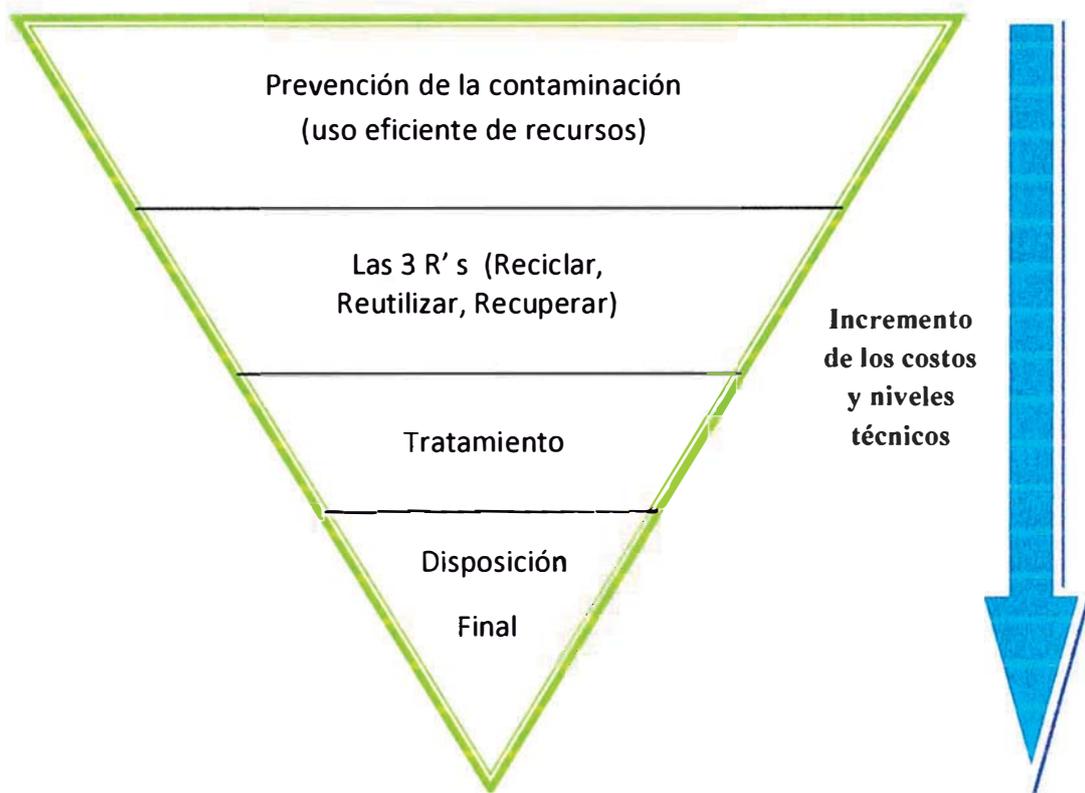


Fig. 3.7: Enfoque Piramidal de Producción Más Limpia y manejo de residuos

Entre los conceptos que garantizan una producción más limpia dentro de las empresas se encuentran los de Reciclar, Reutilizar y Recuperar, ya que son la base fundamental para implementar procesos de producción más limpia.

Lo anterior se explica puesto que existen ciertos flujos de residuos dentro de las industrias cuya cantidad es imposible o difícil de reducir en su fuente de origen, por lo que, para estos flujos no siempre es posible aplicar medidas de prevención de la contaminación y por ende es necesario recurrir a prácticas basadas en el Reciclaje, Reutilización y Recuperación, definidos como:

Reciclaje:

Es el proceso mediante el cual se convierte un residuo en insumo o en un nuevo producto.

Reutilización:

Es el proceso mediante el cual se vuelve a utilizar un residuo en su forma original.

Recuperación:

Es aprovechar o extraer los componentes útiles de un residuo.

El reciclaje de residuos puede ser interno o externo. Es interno cuando es practicado en el ámbito de las operaciones que generan los residuos objeto de reciclaje. Cuando este se practica como un reuso cíclico de los residuos en la misma operación que los genera, se denomina “Reciclaje en Circuito Cerrado”. El reciclaje externo se refiere a la utilización del residuo en otros procesos u operaciones diferentes del que lo generó. Por otra parte, tanto el reciclaje como el reuso pueden efectuarse entre otros por recuperación.

Las alternativas de reciclaje interno se deben usar sólo cuando se haya puesto en práctica las técnicas de prevención. El tratamiento de los residuos se debe considerar sólo cuando los residuos se hayan reciclado tanto como sea posible. El empleo del reciclaje externo y de las tecnologías “al final del tubo” sólo se debe emplear después de haber agotado los métodos de prevención de la contaminación o de Producción Más Limpia.

La implementación de un programa de Producción Más Limpia en una organización, en nuestro caso en las Curtiembres Peruanas es un proceso compuesto por 5 etapas, según la Guía Peruana para la implementación de producción más limpia GP 900.200 – 2007:

1era. Etapa: Planeamiento y Organización

2da. Etapa: Diagnóstico de Producción Más Limpia.

3ra. Etapa: Estudio de Factibilidad.

4ta. Etapa: Implementación y seguimiento de las oportunidades de Producción Más Limpia.

5ta. Etapa: Mejora Continua

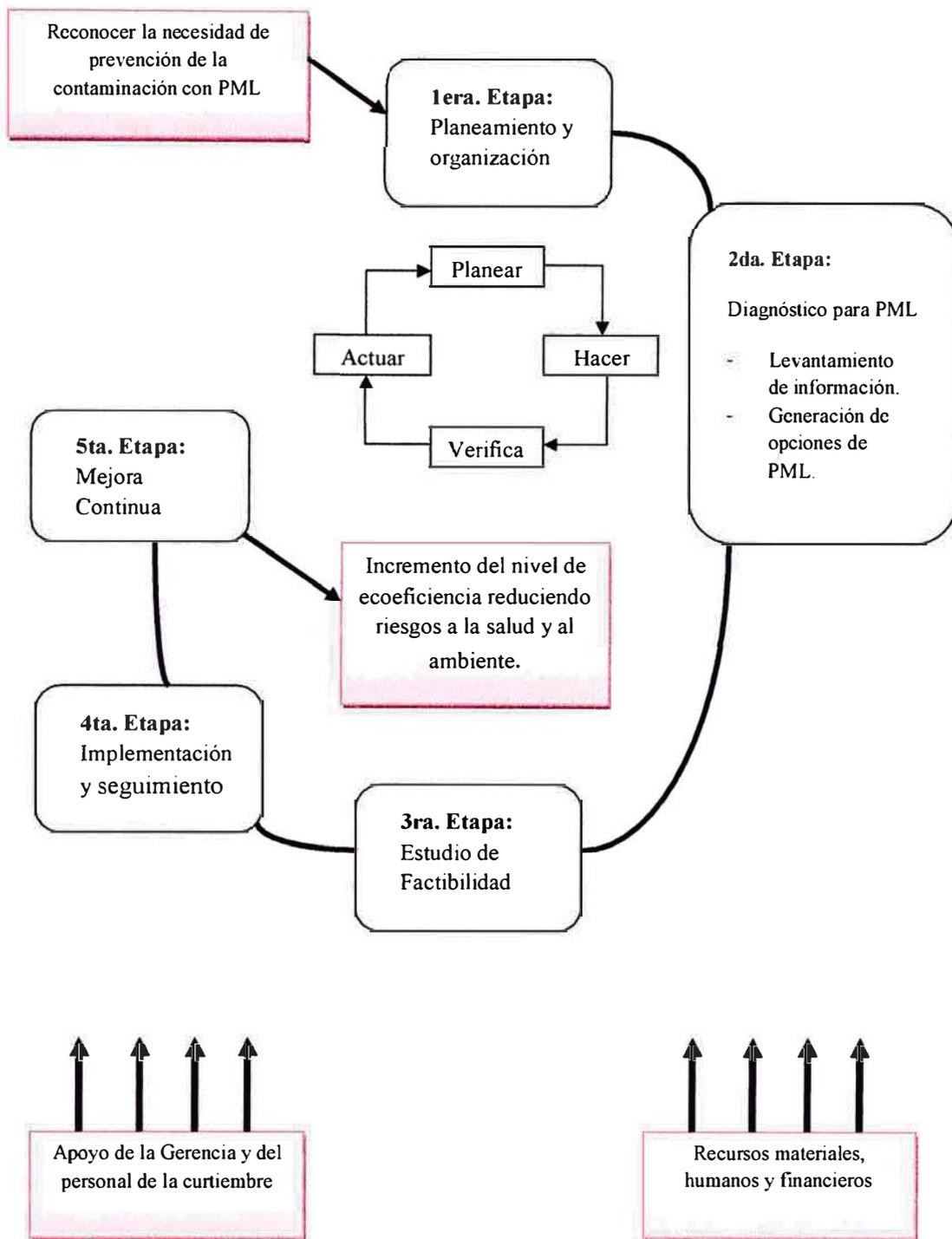


Fig. 3.8: Etapas para la implementación de un programa de Producción Más Limpia

Fuente: Guía Peruana para la implementación de producción más limpia (G.P 900.200-2007)

Desarrollando el Programa de Producción Más Limpia:

1ra. Etapa: Planeamiento y organización

- Involucrar y obtener el compromiso de la alta dirección.
- Establecer el comité de producción más limpia (CPML).
- Definir objetivos generales.
- Elaborar el cronograma de actividades.
- Identificar limitaciones y alternativas de solución.

2da. Etapa: Diagnóstico para PML

- Levantamiento de información.
- Análisis de resultados.
- Generación de opciones de Producción Más Limpia.

3ra. Etapa: Estudio de Factibilidad

- Elaboración del informe de diagnóstico.
- Presentación y revisión del informe.

4ta. Etapa: Implementación y Seguimiento

- Obtención de fondos.
- Preparar el plan de acción de PML.
- Implementar las oportunidades de PML.
- Supervisar y evaluar el avance.

5ta. Etapa: Mejora Continua

- Mantener las actividades de Producción Más Limpia.

3.4. Medidas de Producción Más Limpia en la Manufactura de Curtiembres

3.4.1. Introducción

La industria del curtido basa su proceso en la transformación de pieles y cueros en bruto provenientes del desuello de animales destinados al consumo de carne, siendo en sí misma una actividad de valorización de un residuo que, de no ser tratado de este modo, supondría un problema considerable de gestión, por su fácil putrefacción y elevada carga orgánica simultáneamente a un elevado contenido en agua.

Como datos ilustrativos, 700 kg de auxiliares químicos se utilizan para transformar una tonelada de piel en bruto y 50 ó hasta 120 veces ese peso en agua se utiliza en dicha transformación.

Generalmente muchas empresas, cuando toman en consideración acciones con el fin de reducir corrientes residuales y las emisiones que se generan, escogen soluciones finalistas, es decir soluciones de final de línea, antes de llevar a cabo acciones de prevención y reducción de la contaminación en origen, que implican conocer a fondo los procesos ya sean principales o auxiliares.

La adaptación de las Buenas Prácticas para la minimización de los residuos y las emisiones en una empresa acostumbra en generar otros beneficios adicionales a los medioambientales, que incidirán en la competitividad de la misma empresa.

Las buenas prácticas ambientales se centran en el consumo de agua, el uso adecuado y cambio de ciertos materiales y la reducción de residuos, las ideas básicas de cómo controlar y organizar un proceso productivo, con mecanismos técnicos e informáticos.

3.4.1.1. Definiciones

- **Buenas Prácticas**
Conjunto de formas correctas de actuación del personal y de gestión y control de las actividades industriales que favorece la minimización de residuos y emisiones.

- **Cambios de materiales**
Sustitución de las materias primas y/o de los productos auxiliares que ejercen un impacto significativo en el medio ambiente.

- **Cambios de tecnologías**
Modificaciones de procesos y equipos con el objetivo de reducir en origen las corrientes residuales.

- **Corrientes residuales**
Emisiones residuales en cualquier estado físico (gas, sólido, líquido) y a cualquier medio receptor (agua, aire, suelo).

- **Emisión**
La expulsión a la atmósfera, al agua o al suelo de sustancias, vibraciones, calor o ruido procedentes de forma directa de fuentes puntuales o difusas de la instalación.

- **Minimización**
Operaciones de reducción y reciclaje en origen que permiten la disminución de las emisiones.

- **Modificación de procesos**
Readaptación de los procesos que tienen lugar en una empresa para que sean más eficientes.

- **Prevención**
Conjunto de medidas destinadas a evitar la generación de corrientes residuales o a conseguir su reducción y la de la cantidad de sustancias peligrosas o contaminantes que contienen.

- **Reciclaje en origen**
Opción de valorización que implica volver a utilizar una corriente residual.

- **Reducción en origen**
Cualquier modificación del proceso, instalaciones, procedimientos, composición del producto o sustitución de materias primas.

- **Residuo**
Cualquier sustancia u objeto del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención o la obligación de desprenderse.

- **Subproducto**
Los residuos que se pueden utilizar directamente como materias primas de otras producciones.

- **Tratamiento al final del proceso**
Tratamiento de las corrientes residuales, aguas abajo del proceso productivo que las ha generado.

▣ Valorización

Procedimiento que permita el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos.

Tendremos en cuenta las tecnologías aplicadas actualmente por las curtiembres más avanzadas y no sólo se considerarán los últimos desarrollos por parte de grupos de investigación.

Las recomendaciones generales que se brindan en este informe deben adaptarse a las condiciones locales de cada curtiembre bajo la supervisión de un especialista en cuero, teniendo en cuenta las necesidades de la producción.

Definiremos la tecnología más limpia como la tecnología más practicable medioambiental y económicamente.

3.4.1.2 Resumen Esquemático de Minimización de Contaminantes

Aguas residuales y productos químicos

Minimización para procesos de piel en bruto hasta curtición.

Efluentes más limpios en ribera y curtido.

Reducción de:

- Sulfuros, pelambre con auxiliares.
- Amonios, desencalantes exentos de nitrógeno.
- Sal común, piquelado con bajo contenido de sal.
- Metales pesados, procesos con alto agotamiento de cromo.

Métodos para reducir los niveles de sulfuro:

- Procesos de pelambre con bajo contenido de sulfuro (uso de auxiliares: aminas, mercaptanos, tioglicolatos,...).
- Sistema de pelambre con conservación de pelo (inmunización con cal y auxiliares).
- Empleo de enzimas en el pelambre (como auxiliar para disminuir el sulfuro y para mayor limpieza).
- Recirculación de baños de lavado y de pelambre.

Métodos para reducir los niveles de amonio:**DESENCALADO:**

- Desencalantes libre de amonio (sales y ésteres de ácidos dicarboxílicos).
- Desencalantes con bajo contenido de amonio.
- Combinación con CO₂.

RENDIDO o PURGA:

- Preparaciones enzimáticas libres de amonio.
- Enzimas concentradas.

Métodos para reducir los niveles de sal común:

Las fuentes principales son las pieles en bruto y píquel.

PIEL EN BRUTO:

- Utilizar pieles frescas.
- Sacudir las pieles saladas antes de ingresarlas al botal.

PIQUEL:

- Aplicar procesos de piquelado con bajo contenido en sal, baños cortos, ajustes de grado baumé (°Bé).
- Aplicar procesos de piquelado sin sal, ácidos orgánicos no hinchantes.

Métodos para reducir las emisiones de metales pesados:

La principal fuente de metales pesados en el efluente de una curtiembre son los curtientes de cromo que no han sido agotados.

- Reducir empleo de sales de cromo.
- Mejorar agotamiento, baño corto, temperatura, efecto mecánico, tiempo.
- Basificación, óxidos de magnesio.
- Recirculación de baños.
- Mejorar la fijación con agentes complejantes por reticulación, sales de ácidos dicarbónicos, polímeros, etc.
- Empleo de agentes enmascarantes, formiato de sodio.

3.4.2. Piel en Bruto**3.4.2.1. Tratamiento de Pieles Frescas o Enfriadas**

A la medida que sea posible el procesamiento de pieles frescas es la mejor solución para reducir la contaminación con sal. El tiempo entre la muerte del animal y el tratamiento posterior (por ejemplo, el proceso de ribera) no debe ser mayor a 2 horas. Si el tiempo es mayor, es necesario enfriar las pieles, ya sea con hielo o con aire frío. El uso de aire frío es interesante si las pieles se transportan largas distancias. El almacenamiento por debajo de 4°C conlleva una buena conservación hasta tres semanas. Este sistema puede utilizarse solamente cuando la capacidad del matadero es equivalente a la de la tenería.

Sería aconsejable realizar el descarnado y recortado en el matadero.

3.4.2.2. Secado

El secado a la sombra de pequeñas pieles ovinas, es un proceso de bajo coste medioambientalmente aceptable en algunos climas.

3.4.2.3. Salado en Seco

El salado en seco puede minimizar la cantidad de sal usada para la conservación de pieles.

3.4.2.4. Uso de Antisépticos

El uso de antisépticos con poco efecto en el medio ambiente puede ayudar a incrementar el tiempo de almacenaje de pieles frescas o enfriadas. Productos bactericidas adecuados contienen: TCMTB, productos de isotiazolinona, dimetil ditiocarbamato potásico, clorito de sodio, cloruro de benzalconio, fluoruro sódico y ácido bórico.

Algunos de estos también son adecuados para el remojo, piquelado y conservación del cuero en azul (wet-blue).

3.4.2.5. Eliminación parcial de la Sal

Es posible eliminar hasta el 10% de la sal añadida a las pieles para su conservación agitando manualmente con cepillos mecánicos o con un agitador tipo bombo. La sal puede ser reutilizada en procesos de piquelado después de su disolución y de la eliminación de sólidos. Este método da una respuesta parcial al problema de la contaminación por sal. Ni el curado con salmuera ni el curado con sal pueden considerarse como tecnologías limpias.

Proceso de Ribera

avos bombos y procesadores facilitan un escurrido y limpiado más eficiente, y ta un uso rutinario de baños cortos para el procesado, resultando ahorros ativos en el consumo de agua.

Pre-Remojo

- Recortar la piel en bruto.
- Eliminar el exceso de sal de las pieles antes del remojo, por bombeado en seco.
- Descarnar en verde, después del remojo.

Remojo

- Uso de biocidas de baja toxicidad.

del uso de biocidas menos dañinos, la única tecnología limpia que puede se en esta etapa es el pre - descarnado de las pieles después del remojo ya que las pieles a una menor cantidad, menor peso bruto de pieles, comparado con arnado después del calero, con pH neutro y mejores condiciones para la mación en proteínas y grasas que no estén contaminadas con productos OS.

Pelambre - Calero

- Sustitución parcial o total del sulfuro en el pelambre.
- Recuperación de pelo o lana en el pelambre.
- Reciclar baños de proceso de pelambre.

tivo del pelambre es eliminar la capa superior de la piel (epidermis) junto con (bovino) o la lana (ovino). Dicha operación se realiza junto con el calero, por su compatibilidad, dentro del mismo bombo.

Los efectos conseguidos son: un mayor hinchamiento de la piel, eliminación de parte de la grasa natural de la piel y el aflojamiento de la estructura de la piel.

El pelambre es una de las operaciones que genera una mayor contaminación de las aguas residuales. No obstante, la carga contaminante dependerá mucho del método empleado en la operación de pelambre. Con el fin de reducir el impacto ambiental debe ajustarse el uso de sulfuros y cal al mínimo, así como intentar previamente recuperar el pelo no hidrolizado.

Los diferentes métodos son los siguientes:

- Pelambre convencional (destrucción de pelo).
- Pelambre con recuperación de pelo (inmunización de pelo).
- Pelambre enzimático.
- Pelambre mecánico.

A. Diversos tipos de pelambre – Calero. Comparaciones

3.4.3.3.1. Pelambre convencional (destrucción de pelo)

En un pelambre convencional, destrucción de pelo, se añade la cal y sulfuro o sulfhidrato en el mismo momento, de forma que el pelo se disuelve completamente en el baño. El tiempo, la temperatura, la concentración de agente reductor, el porcentaje de baño y la concentración salina son parámetros que influyen en el proceso de pelambre. El aumento de temperatura favorece el crecimiento bacteriano y, por lo tanto, el aflojamiento del pelo. En cambio, una concentración salina en baño igual o superior al 2% evita el crecimiento bacteriano y el aflojamiento del pelo. En todo caso, para obtener un pelambre óptimo la concentración de sulfuro y/o sulfhidrato debe ser tal que el pH del baño esté entre 12,0 – 12,5.

Las aguas residuales generadas tienen un elevado grado de contaminación, dificultando su posterior tratamiento en planta depuradora.

Por esta razón, se han estudiado pelambres alternativos con el objetivo de reducir la carga contaminante de las aguas residuales.

3.4.3.3.2. Pelambre con recuperación de pelo (inmunización de pelo)

Se basa en dos pasos:

- **Inmunización previa del pelo:** Consiste en el tratamiento de la piel con álcali (cal) para transformar las queratinas del pelo y la epidermis de forma que no sean atacables por los agentes reductores (sulfuro o sulfhidrato). Debe evitarse la penetración de la cal en la piel de manera que inmunice los bulbos pilosos, lo que dificultaría mucho el posterior ataque de los mismos.
- **Ataque a la raíz del pelo:** Consiste en el ataque con sulfuros y un poco de cal con un baño relativamente corto a fin de aumentar la acción mecánica, facilitando el arrancado del pelo.

Una vez se ha extraído el pelo, este debe ser recuperado del baño de pelambre de forma inmediata, a fin de evitar que el sulfuro continúe disolviéndolo. La recuperación es mediante filtración del baño.

Esta técnica es aplicable para pieles bovinas, mientras que para pieles ovinas la lana se recupera mediante la operación de pintado o embadurnado de la piel. En este caso, la piel no se hincha tanto, la raíz sale fuera a diferencia del pelambre en bombo donde el pelo se corta y la raíz queda dentro de la piel, ya que en este el hinchamiento es más rápido. El embadurnado no proporciona los efectos propios del calero, por lo que se debe realizar a posteriori.

Tabla 3.8: Comparación de los procesos de pelambre con recuperación y destrucción de pelo

Recuperación de pelo	Destrucción de pelo
Remojo	Remojo
Inmunización de pelo con OH ⁻ 0,5 – 1,0%	Añadir agente álcali (cal) y agente reductor (sulfuro o sulfhidrato)
Añadir agente reductor para liberar el pelo (sulfuro o sulfhidrato)	El pelo se disuelve completamente en el baño
Eliminar el pelo (semi – disueltos) por filtración	Proceso en álcali 12-24h
Proceso en álcali 12-24h	Desencalado y continuación del proceso
Desencalado y continuación del proceso	

Fuente: “Pelambre y Curtido al cromo con Tecnologías Limpias” -CITEccal

Las principales mejoras ambientales son la reducción de la carga contaminante de las aguas residuales:

Sólidos disueltos (MES) del orden de un 60%, DQO y DBO₅ del orden de un 35-40% y el nitrógeno, sulfuro del orden de un 45 – 50%, mientras que el volumen de los lodos disminuye entre un 15 – 30%.

Como ventajas del pelambre con recuperación de pelo también cabe destacar la reducción del consumo de agua del orden de un 29% y de los productos químicos en un 17%. El pelo recuperado como residuo sólido es valorizable, pudiéndose destinar a la obtención de abonos agrícolas.

La única desventaja es la inversión necesaria en instalaciones (filtro pelo, recirculación de baño, contenedor pelo,...).

Los valores de la siguiente tabla hacen referencia a una empresa con un procesado de 1 000 toneladas de piel bovina al año, de las cuales se obtiene un total de 200 toneladas de pelo con un 25% de materia seca.

Tabla 3.9: Costos de proceso con recuperación de pelo

DESCRIPCIÓN	PROCESO ACTUAL ($\frac{S/}{año}$)	PROCESO CON RECUPERACIÓN DE PELO ($\frac{S/}{año}$)
Consumo de agua	10 530	7 898
Consumo productos químicos	61 750	51 252
Coste vertido aguas residuales	293 612	129 916
Gestión de residuos (pelo)	--	61 756
Coste total	365 892	250 822

Ahorro anual	S/. 115 070
Coste de la inversión	S/. 133 250
Retorno de la inversión	Menor a 2 años

Fuente: “Pelambre y Curtido al cromo con Tecnologías Limpias” -CITEccal

3.4.3.3.3. Pelambre enzimático

Es posible el aflojamiento del pelo con el empleo de enzimas como único agente depilante. No obstante, la concentración requerida es demasiado elevada para aplicarse a escala industrial.

Por ello, normalmente se utilizan como auxiliar de pelambre para disminuir la concentración de sulfuro, mejorar la limpieza de flor y al mismo tiempo reducir la contaminación de las aguas residuales.

Como desventajas destacan el requerimiento de un control preciso de los parámetros de trabajo (tiempo, temperatura) para evitar el efecto gastado de la flor (efecto nubuck), así como la necesidad de un estudio previo para cada tipo de enzima, pues aún siendo de la misma familia, el comportamiento en el pelambre depende de la propia composición.

3.4.3.3.4. Conclusiones

Con el pelambre de destrucción de pelo, éste se hidroliza de manera que las aguas residuales están muy contaminadas: DQO= 75 000 mgO₂/L, DBO₅= 26 000 mgO₂/L y Nitrógeno= 4 900 gN/L. Con este sistema, el uso de productos químicos es superior al de los otros dos. El tiempo de proceso es similar al del pelambre con recuperación de pelo.

Con el pelambre con recuperación de pelo, el pelo no se hidroliza, de forma que se puede recuperar por filtración y puede emplearse como un subproducto.

Las aguas residuales están menos contaminadas: DQO= 49 000 mgO₂/L, DBO₅= 22 000 mgO₂/L y Nitrógeno= 3 200 gN/L. La desventaja de este sistema es que requiere una importante inversión en instalaciones tales como el filtro de pelo, el contenedor de pelo y la instalación para el reciclado de los baños.

El pelo recuperado puede utilizarse como subproducto.

Como desventajas están:

- a) A veces quedan restos de pelo en el baño que deberían filtrarse.
- b) Inversión en maquinaria.

En cuanto al pelambre con enzimas, su efectividad aumenta cuando se realiza combinado con cal y sulfuro sódico, proporcionando unas pieles de gran calidad. La combinación enzima, sosa y sulfhidrato sódico también es viable, reduciendo el problema de la baja solubilidad de cal.

B. Reciclado del Baño de Pelambre-Calero

Para realizar el reciclado del baño de pelambre-calero debe existir un buen control de nivel en las curtiembres. El baño de escurrido se recoge en un tanque. La filtración es esencial. Es posible trabajar con un 50% de baño recuperado más 50% de agua limpia o bien con un 100% de baño reciclado. La cantidad de las pieles normalmente es la misma o mejor empleando baño reciclado. En los procesos de pelambre-calero con reciclado de baño, sólo se necesitan un 50% de los productos químicos que se utilizan en un pelambre sin reciclado de baño.

El reciclado de baño de pelambre-calero para pieles pequeñas es similar al de las pieles bovinas, aunque, la cantidad de productos químicos a añadir al proceso es algo diferente.

Como tanques de almacenamiento se pueden usar las mismas fosas que hay en las curtiembres.

3.4.3.4. Descarnado / Dividido

Dividir las pieles vacunas en tripa. Realizar el dividido con pieles encaladas puede considerarse una tecnología más limpia, ya que se disminuye el consumo de cromo y conlleva la obtención de un residuo que puede recuperarse fácilmente con producción de cola y gelatina.

3.4.4. Proceso de Curtido

3.4.4.1. Desencalado / Rendido

Disminuir o eliminar el uso de tensoactivos del tipo nonilfenol etoxilado, una buena opción son los alcoholes grasos etoxilados.

- Realizar descalcados con CO₂, se considera que hasta un 40% de nitrógeno amoniacal se produce por el uso de sales amónicas durante el proceso de descalcado. El uso de CO₂ puede considerarse como una tecnología más limpia que da buenos resultados en pieles bovinas ligeras (espesores menores de 3 mm). Para pieles más gruesas es necesario incrementar la temperatura del baño (hasta 35°C), la duración del proceso y/o añadir pequeñas cantidades de auxiliares de descalcado.
- Disminuir el uso de sales amónicas en el descalcado por productos exentos de sales amónicas, ya existe en el mercado productos descalcantes base ácidos orgánicos de muy alta performance.

3.4.4.2. Píquel

- Disminuir el consumo de sal en el píquel.
- Reciclar baños de proceso de píquel.

Objetivo:

El píquel es un tratamiento con ácido y sal que se emplea con dos finalidades, preparar el cuero para el posterior curtido o bien para un almacenamiento de pieles de largo plazo.

Productos empleados:

- Ácido sulfúrico
- Ácido fórmico
- Cloruro de sodio
- Formiato sódico
- Ácidos no hinchantes

Factores a considerar:

- Elección del ácido
- pH
- Sección transversal / distribución del ácido
- Elección de sales neutras
- Concentración de sal

Verificaciones:

- Concentración de sal
- Penetración del ácido
- pH del licor
- pH de la sección transversal de la piel y temperatura

Puntos críticos:

- El pH en todo el cuero afectará la penetración del cromo.
- A menor pH mejor penetración.
- Las variaciones de sal pueden producir variaciones en la supresión del hinchamiento.

Optimización:

- Baño corto de píquel (50 - 60%). Reduce el consumo de sal, además del agua.
- Píquel con reducción de sal, hay diversos sistemas disponibles que implican el uso de ácidos sulfónicos, generalmente aromáticos. Se consigue reducir la emisión de sales 1kg/tonelada de cuero y se ayuda también a obtener un mejor agotamiento del cromo de curtición. Efecto secundario: el impacto medio ambiental de los ácido sulfónicos aromáticos no es muy claro y ciertamente se aumenta la DQO en los baños residuales.

- Reciclaje de baño de píquel.

3.4.4.2.1. Reciclaje de los Baños de Píquel

Los baños de píquel se pueden reciclar, de manera que se reduce la necesidad de aporte de sal y ácidos. Para implantarlo, es necesario instalar tanques para guardar los baños, sistemas de bombeo y dosificación adecuados. El proceso consiste en recolectar los baños de píquel en tanques, en los que se ajusta la densidad y se verifica el pH, añadiendo el ácido necesario. Con el sistema de reciclado se reduce el consumo de ácidos entre un 25 - 40%.

Ventajas del reciclaje de los baños:

- Reducción del consumo del agua.
- Reducción del consumo de sal.
- Reducción del consumo de ácido.
- Fácil de controlar.

Desventajas del reciclaje de los baños:

- Acumulación de grasa.
- Acumulación de desechos sólidos.

3.4.4.3. Proceso de Curtición. Posibilidades

Curtición: salud y ecología

El impacto ambiental de los diferentes agentes y procesos de curtición utilizado en la fabricación del cuero y sus efectos sobre el medio ambiente han dado pie en repetidas ocasiones a controversias. Es necesario analizar cuidadosamente los pro y los contras de cada método, porque no hay un único proceso de curtición que pueda dar resultados óptimos en todos los aspectos.

Las consideraciones siguientes son aplicables a todos los procesos de curtición, ya utilicen curtientes minerales, sintéticos o vegetales.

- Se deben conocer los riesgos potenciales que alberga un determinado curtiente y se deben seleccionar métodos de trabajo adecuados para minimizar o eliminar los posibles riesgos derivados de su utilización.
- La decisión acerca de qué proceso utilizar depende de las propiedades que deberá presentar el cuero acabado.

Introducción:

La curtición al cromo es el tipo de curtición más común en todo el mundo, ya que el cromo otorga al cuero unas características de estabilidad y versatilidad que le son únicas.

- El incremento en la eficiencia del proceso de curtición al cromo mediante el cuidadoso control de las variables pH, carga, temperatura, tiempo y velocidad del botal, juntamente con la recuperación de los baños residuales que contienen una concentración en cromo superior a 1g/l.
- La utilización de métodos de agotamiento del cromo, utilizando productos curtientes modificados de manera que penetren mejor o utilizando productos curtientes especiales (ácidos aromáticos dicarbónicos) que aumenten el número de grupos reactivos del colágeno en donde se fija el cromo.

Así pues, el aumento en la eficiencia del proceso y el agotamiento del cromo se convierte en la alternativa más razonable para una correcta gestión del cromo, aunque se tiene que analizar con precaución la manera de optimizar el proceso sin que esto comporte la mínima pérdida de calidad. Las técnicas de alto agotamiento minimizan la generación de cromo en las aguas residuales y en consecuencia la minimización de residuo cromado como fango.

La posibilidad de trabajar por debajo de las concentraciones límite de cromo permite la aplicación agrícola de estos fangos.

En el caso de que el contenido de cromo sea elevado, una buena solución es el vertedero o la combustión para aprovechar el poder calorífico del fango de 4 100 – 5 000 Kcal/kg o bien la fabricación de materiales de relleno, mezclado con cerámicas.

Para aumentar el agotamiento del cromo hay una serie de conceptos lógicos a aplicar, teniendo en cuenta cual el tipo de reacción de combinación de las sales de cromo con el colágeno y la dilatada experiencia de uso que se tiene del mismo:

- La concentración de cromo en el baño favorece la reacción de combinación.
- Una mayor acción mecánica favorece la correcta penetración del cromo a través de la estructura de la piel y como resultado también la facilidad de combinación.
- Un incremento de la temperatura aumenta significativamente la reactividad.
- El incremento de pH aumenta las posibilidades de combinación con la piel, ya que la reacción del cromo se da con los grupos carboxílicos ionizados.

Concentración de cromo en el baño:

Lógicamente no se trata de aumentar más la oferta de cromo, sino de disminuir la cantidad de baño. Para aumentar la concentración en baño en estas condiciones, se debe reducir su volumen al 40% sobre el peso en tripa.

Mayor acción mecánica:

La disminución de baño supone lógicamente una acción mecánica más intensa.

Incremento de la temperatura:

El efecto más inmediato es el de favorecer la velocidad de reacción del cromo con la piel. El aumento tiene que ser progresivo, se recomienda que en la etapa de basificado el aumento de temperatura sea de 3°C por hora. La mayor parte de propuestas sitúan la temperatura de 45°C como referencia para obtener un agotamiento adecuado.

Aumento de pH:

La finalización del proceso de curtición a un pH superior al habitual es probablemente la manera más directa de garantizar las concentraciones de cromo en el baño residual mucho menores que las habituales.

- Utilización de basificantes poco solubles, de manera que liberen progresivamente su alcalinidad.
- Uso de agentes complejantes que tienen la doble función de disminuir la reactividad con el colágeno, mejorando la penetración y uniformidad de distribución.

Aumento de la capacidad de reacción de la piel:

El aumento de los grupos carboxílicos capaces de reaccionar con el cromo es otra manera de conseguir mejorar los agotamientos y al mismo tiempo reducir la cantidad absoluta de cromo necesaria.

Otra forma directa de aumentar la capacidad de reacción de la piel es introducir químicamente nuevos grupos carboxílicos.

Objetivos del aumento de la capacidad de reacción de la piel:

La recuperación del cromo por precipitación de los baños residuales está definida como mejor tecnología disponible (MTD) juntamente con el incremento en la

eficiencia del proceso de curtición mediante el control de las principales variables, pero, está comprobado que a menudo no resulta viable. Por este motivo, el agotamiento del cromo pasa a ser la opción más razonable para la gestión del cromo. Hay sistemas alternativos a la curtición al cromo, aunque ésta se utiliza en un 90% de las pieles y cueros. Este sistema de curtición incorpora una cantidad importante de sulfatos que van a parar a las aguas residuales, por eso, todos los sistemas alternativos contribuyen a la disminución de la salinidad en el efluente de curtición, aunque persigan como primer objetivo la sustitución del cromo como agente curtiente.

La curtición vegetal no se puede contemplar como una alternativa al cromo, porque los artículos que se obtienen tienen propiedades diferentes. Además, no está claro que la curtición al vegetal sea, considerando un análisis del ciclo de vida, más sostenible medioambientalmente que la del cromo.

Para mejorar el rendimiento del proceso, se sugieren las siguientes actuaciones:

- Optimizar la oferta de cromo en un proceso convencional.
- Intervenir en los parámetros de proceso: volumen de baño, pH, temperatura, para aumentar la fijación.
- Utilizar baños cortos, que permitan reducir la oferta, al aumentar la concentración relativa en el baño.
- Alargar el tiempo de proceso, para mejorar la penetración y reacción del cromo con el sustrato.

Posibles tipos de curtición:

CURTICIÓN AL CROMO

- Agotar los baños de curtición cromo.

- ☒ Utilización de biocidas exentos de halógenos y de bajo impacto ambiental y toxicidad.
- ☒ Reciclado de los baños de lavado.
- ☒ Reciclado de los baños del proceso de curtición.
- ☒ Reciclaje de los licores de escurrido de las pieles.

CURTICIÓN VEGETAL

- ☒ Reciclaje de los licores de curtición vegetal.
- ☒ Reciclaje de los licores de escurrido de las pieles.
- ☒ Curtición con sistema de contracorriente.

OTRAS CURTICIONES

- ☒ Precurticiones con procesos exentos de cromo (Wet-White).

Existen diferentes opciones para gestionar el uso de cromo con el fin de reducir el contenido de sales de cromo y de salinidad en los efluentes. Estas son:

- ☒ Curtición con alto agotamiento de cromo.
- ☒ Reciclado de licor de cromo.
- ☒ Recuperación de cromo.
- ☒ Curtición con agentes curtientes alternativos.
- ☒ Piquelado sin sal.
- ☒ Desencalado con CO₂ o con agentes libres de amonio.

3.4.4.3.1. Reciclado y Reutilización de los Baños de Cromo

El reciclado es el camino más fácil para reutilizar el cromo. El reciclado proporciona a la empresa un sistema sin una gran inversión y con un beneficio económico, que al mismo tiempo reduce la descarga de cromo al mínimo.

El principio de la recirculación de cromo es muy sencillo. El baño de cromo se escurre y se recoge en un tanque. Los licores pueden necesitar algunos tratamientos previos a la reutilización como una filtración. También se ajusta el pH y se añaden los productos químicos necesarios, tales como ácidos, sal de cromo, etc.

El problema más común asociado con el reciclado es el almacenamiento del licor pues se produce un volumen mayor al que puede ser reciclado. Por lo tanto, es necesario tratar el exceso de licor, por ejemplo para recuperar el contenido de cromo.

Métodos para reciclar el licor de cromo

A. Reciclado para píquel

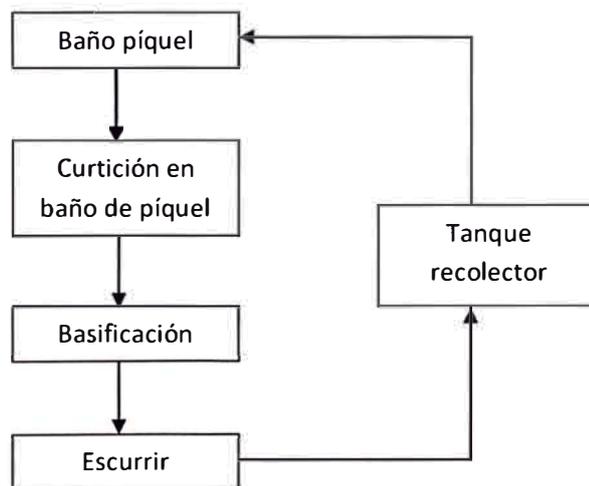


Fig. 3.9: Reciclado para píquel

Fuente: Experiencias de otras curtiembres

B. Reciclado para curtición

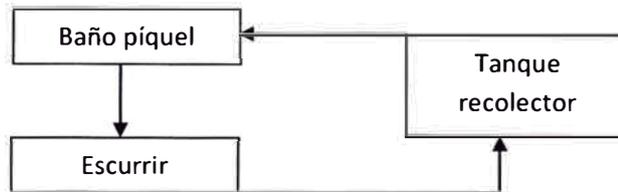


Fig. 3.10: Reciclado para piqué de baño de piqué

Fuente: Experiencias de otras curtiembres

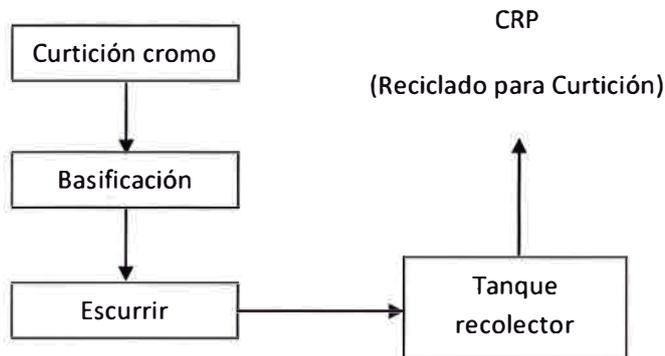


Fig. 3.11: Reciclado para curtición

Fuente: Experiencias de otras curtiembres

La opción A consiste en reciclar el licor de curtición en el baño de piqué, en el que se puede añadir cromo fresco para empezar la curtición antes del reciclado del baño o bien añadir cromo fresco en el mismo momento del reciclado. La opción B consiste en escurrir el baño del piqué (para recircularlo) y usar el licor de cromo como baño para curtición, junto con cromo fresco.

Teóricamente se podría utilizar un promedio del 50% del baño de curtición, fundamentalmente para el piquelado. Esta reutilización puede ser sólo parcial, ya que en caso contrario habría un enriquecimiento en sales que haría el número de ciclos posible muy corto. Aún así, se requieren instalaciones adicionales para segregar el baño, filtrarlo y mezclarlo posteriormente con baño de piquelado, al que hace falta añadir cloruro sódico. En consecuencia, el ahorro desde el punto de vista salino, es relativamente bajo.

Hay estudios hechos para piel pequeña donde se demuestra la viabilidad de la aplicación de la recirculación de baños de piquelado y curtición, con un posible reciclado directo de 5 veces, y un control riguroso de los parámetros analíticos de los baños.

El ahorro en productos es significativo: 36,1% de sal de cromo, 55,5% de cloruro de sodio, con un balance de disminución de la contaminación del orden del 75 - 80%.

En general, se acepta que la reducción del consumo de sal puede llegar al 40%.

3.4.4.3.2. Curtición de Alto Agotamiento

Básicamente hay dos formas de conseguir un agotamiento elevado:

- Uso de productos curtientes modificados con poca basicidad y muy buena penetración, con adición posterior de cromo de alta basicidad y aumento de temperatura.
- Aumento de la reactividad del substrato con el cromo mediante la reacción previa con ácidos policarboxílicos, por ejemplo el ácido glioxílico.

En el mercado se encuentra diversidad de productos para basificar el cromo, los cuales no sólo basifican el cromo sino que lo fijan mejor en el cuero. La mejora de la fijación es tal que es posible reducir la oferta de cromo en el baño inicial, obteniendo la misma cantidad de cromo en la piel.

Obviamente, los resultados dependen del sistema empleado, pero es posible obtener un cuero wet – blue (WB) con 4% de Cr_2O_3 , mientras que el licor agotado contiene 0,3 – 1,0 g/l.

Efectos secundarios

Los agentes enmascarantes utilizados para conseguir un alto agotamiento sin peligro de precipitación superficial del cromo dificultan la precipitación del cromo como el hidróxido a las plantas de tratamiento, que cuando hay una curtición normal precipita con mucha facilidad.

Esta tecnología es poco compatible con la recuperación del cromo por vía de recolección de baños y tratamiento comunitario.

Cuando existen estructuras de este tipo, la utilización de técnicas de alto agotamiento hace que no sea rentable la recirculación.

Alternativa propuesta:

La técnica de alto agotamiento de cromo, tiene el propósito de mejorar la eficiencia del curtido al cromo, o lo que es lo mismo, el porcentaje en peso de cromo que se fija a la piel respecto a la cantidad total de cromo ofertado.

Cuando la eficiencia del curtido es alta, el agotamiento del cromo ofertado es alto, lo que implica que la cantidad total de cromo residual en el baño, es bajo.

La técnica de alto agotamiento consiste en aplicar un baño de curtido equivalente a tan solo un 40% del cuero, en peso, denominado baño corto, reduciendo la oferta de sulfato de cromo de 8% a 5 - 6%, aumentando la temperatura final de curtido a 42 - 45°C y utilizando un basificante/enmascarante de cromo, que previene la precipitación del hidróxido de cromo a pH altos.

Mejoras ambientales:

Las mejoras medioambientales que proporciona la curtición con alto agotamiento de cromo, son:

- Disminución de la concentración de cromo en los efluentes.
- Reducción del consumo de cromo.

En la Tabla 3.10 se muestra un caso práctico de una empresa de curtido al cromo de pieles bovinas, con un procesado de 500 t/año de piel en bruto.

Tabla 3.10: Caso práctico de curtido con alto agotamiento

COSTES/AÑO	CURTIDO AL CROMO CONVENCIONAL	CURTIDO AL CROMO CON ALTO AGOTAMIENTO
Consumo de agua $\left(\frac{\$/}{año}\right)$	756	378
Coste productos químicos $\left(\frac{\$/}{año}\right)$	85 400	92 050
Costes de vertido de aguas residuales $\left(\frac{\$/}{año}\right)$	7 476	2 996
Costes gestión de lodos $\left(\frac{\$/}{año}\right)$	41 496	7 049
Costes totales $\left(\frac{\$/}{año}\right)$	135 128	102 473
Inversión	S/. 0,00	
Ahorro $\left(\frac{\$/}{año}\right)$	32 655	

Fuente: "Pelambre y Curtido al cromo con Tecnologías Limpias" -CITEccal

Elaboración de propuestas de nuevas formulaciones de curtición adaptadas a cada artículo concreto

Se elabora una serie de propuestas de formulaciones de curtición de alto agotamiento aplicando diferentes productos disponibles comercialmente que incorporan los conceptos explicados anteriormente.

En la siguiente tabla se describen los diferentes productos comerciales que se utilizan:

Tabla 3.11: Lista de diferentes productos comerciales – Basificantes con alto agotamiento de cromo.

Producto	Descripción	Fase de uso
P1	Basificante progresivo y acomplejante	Complejación/basificación
P2	Basificante progresivo y enmascarante de alta reactividad	Basificación
P3	Basificante progresivo con MgO	Basificación
P4	Basificante progresivo enmascarante	Complejación/basificación
P5	Polímeros carboxilado	Complejación
P6	Basificante de desarrollo uniforme	Basificación
P7	Basificante a base MgO	Basificación
P8	Monoetanolamina	Basificación/catálisis
P9	Oxazolidina	Pre-curtición
P10	Ftalato sódico, combinado con bicarbonato sódico	Complejación/basificación
P11	Ácido glioxílico	Pre-curtición

Fuente: “Pelambre y Curtido al cromo con Tecnologías Limpias” -CITEccal

Los que mejores resultados han proporcionado han sido P1, P2, P3 y P6, obteniendo los siguientes valores de óxido de cromo en baño y en piel:

Tabla 3.12: Valores de óxido de cromo en el baño y piel

Producto	T° final (°C)	pH final	Cr ₂ O ₃ en baño (g/L)	Cr ₂ O ₃ en piel (%)	Tc (°C)
P1	42	4,0	0,346	5,80	105
P2	45	4,1	0,186	5,32	102
P3	40	4,1	0,048	5,58	105
P6	40	4,1	0,433	5,70	110

Fuente: “Pelambre y Curtido al cromo con Tecnologías Limpias” -CITEccal

Determinación de cromo eliminable por lavado:

Tabla 3.13: Valores de óxido de cromo y cromo trivalente en el baño residual

Proceso	Cr ₂ O ₃ baño residual	Cr(III) baño residual
Neutralización (P1)	0,44 mg/L	0,30 mg/L
Neutralización (P2)	0,37 mg/L	0,25 mg/L
Neutralización (P3)	0,14 mg/L	0,10 mg/L
Neutralización (P6)	0,22 mg/L	0,15 mg/L

Fuente: “Pelambre y Curtido al cromo con Tecnologías Limpias” -CITEccal

Estos valores muestran que el cromo eliminado por lavado es muy bajo en todas las pieles, es decir, las cuatro curticiones de alto agotamiento proporcionan un elevado grado de fijación.

Esto indica que los nuevos procesos de curtición de alto agotamiento no alteran los baños residuales del resto de operaciones, de manera que no es necesario modificar las formulaciones estándares de neutralización, recurtición, tintura y engrase posteriores. Resumiendo, las nuevas formulaciones de curtición de alto agotamiento se pueden implantar independientemente de las operaciones posteriores que se tengan que efectuar a las pieles.

Evaluación organoléptica

Los técnicos coinciden en que las pieles obtenidas, tanto las acabadas como el artículo wet-blue estándar, son de una calidad totalmente comercial, ya que no presentan diferencias significativas con las pieles de producción estándar, presentando una plenitud y un tacto totalmente correctos. No obstante, es de suma importancia realizar controles precisos del tiempo y de la temperatura de trabajo, sobre todo en las pieles a plena flor, pues un tiempo excesivo y un aumento de la temperatura por encima de los 45°C podría provocar una crispación y encogimiento de las mismas.

Evaluación química y física

Las propiedades físicas y químicas de los artículos fabricados mediante curtición de alto agotamiento, aún difiriendo ligeramente de los valores estándares, cumplen las exigencias requeridas para cada uno de ellos.

Tabla 3.14: Análisis del contenido en cromo de los baños agotados versus producción estándar

		pH final	T° final (°C)	Contenido Cr₂O₃ (g/L)	Contenido Cr(III) (g/L)
P1	Alto agotamiento	4,2	42	0,299	0,205
	Estándar	3,7	34	5,600	3,800
P2	Alto agotamiento	4,2	43	0,419	0,287
	Estándar	3,8	35	4,800	3,300
P3	Alto agotamiento	4,2	42	0,249	0,170
	Estándar	3,8	35	4,300	2,900
P6	Alto agotamiento	4,1	42	0,397	0,272
	Estándar	3,8	35	5,000	3,400

Fuente: “Pelambre y Curtido al cromo con Tecnologías Limpias” - CITEccal

Los resultados muestran un grado de agotamiento muy importante. Las reducciones de cromo residual oscilan entre un 86 - 95%.

Tabla 3.15: Costo de los procesos de curtición de alto agotamiento para 1000 kilos de piel en tripa

Basificante	Costo productos (S/.)	Costo energía (S/.)	COSTO TOTAL (S/.)
P1	530,30	9,10	539,40
P2	535,50	9,10	544,60
P3	504,30	9,10	513,40
P6	483,83	9,10	492,93

Fuente: “Pelambre y Curtido al cromo con Tecnologías Limpias” - CITEccal

Conclusiones:

El objetivo principal de la aplicación de procesos de curtición de alto agotamiento a nivel industrial es reducir la concentración de óxido de cromo en los baños residuales.

A lo largo de esta aplicación/adaptación se comprueba que:

- El efecto más importante en el agotamiento se produce por el incremento de pH. Los basificantes progresivos y complejantes permiten llegar a estos pH (4,1 / 4,3) sin que precipiten las sales básicas de cromo.
- Se tiene que aumentar la temperatura por encima de los 40°C y dejar el tiempo suficiente para que no quede basificante sin reaccionar.
- Se tiene que tomar precauciones para el posible exceso de agentes complejantes.

Al mismo tiempo se consiguen curticiones "seguras" agotando hasta 0,45 – 0,25 g/l de Cr₂O₃ (310 - 170 ppm Cr (III)) en los baños residuales y con un alto grado de fijación de cromo en piel, ya que el cromo eliminado por lavado es muy bajo.

El estudio económico muestra que las formulaciones de alto agotamiento son económicamente viables en los cuatro casos. En comparación con la curtición estándar, se observa que el coste de productos es similar y que la diferencia viene dada por el tratamiento del baño residual de curtición, que en el caso de la producción estándar éste debe llevarse a una empresa especializada para recuperar el cromo, con el coste que esto comporta, mientras que en el alto agotamiento el baño residual se vierte directamente juntamente con el resto de aguas, a la depuradora consorciada.

3.4.4.3.3. Recuperación de Cromo

Existe ya un sistema establecido para la recuperación de cromo, mediante el que se puede reducir el contenido de cromo en las aguas residuales entre 98 - 99%. Aunque el proceso de precipitación y posterior redisolución de cromo es claramente más complicado que el reciclado de los baños de cromo, el factor fundamental que hace que la recuperación sea más aceptada por los curtidores es que las características del cromo recuperado son muy similares a las de la sal de cromo fresca. Al mismo tiempo, la concentración del cromo recuperado es constante, no aumentando el contenido de sal, ni cambiando el carácter de cuero curtido.

Descripción del proceso de recuperación de cromo

El proceso de recuperación consta de los siguientes pasos:

- Adición de álcali.
- Precipitación de los licores de cromo como hidróxido insoluble.
- Separación del lodo por filtración, centrifugación o decantación.
- Redisolución con ácido.
- Pulir con una segunda filtración.

Los productos químicos que se emplean para la precipitación son:

- Óxido de magnesio: el precipitado es compacto, la tasa de sedimentación es alta (0.25m/h), el contenido de cromo residual es bajo, el pH del sobrenadante es relativamente bajo, no afecta la calidad del cuero curtido. No obstante, el proceso es lento y requiere tanques de gran volumen.
- Sosa cáustica: los licores de cromo se mezclan bien y rápidamente con la sosa, ajuste automático a un pH= 9.5, alimentación continua a un filtro prensa, tamaño reducido de los tanques de reacción, la torta de cromo tiene altas concentraciones.

- Cal: disolución lenta y gran volumen de lodo.
- Polímero: no es eficiente, normalmente se usa conjuntamente con otro álcali.

Procedimiento de la recuperación de cromo:

- Filtrar los licores residuales de cromo y del escurrido por un tamiz para eliminar fibras.
- Recolección en un tanque de precipitación.
- Precipitación con NaOH.
- Filtro prensa.
- Regenerar el lodo con H_2SO_4 y calor.
- Aditivo para captar grasas y proteínas.
- Filtro prensa.
- Almacenamiento de cromo regenerado para reutilizarlo.

El licor de cromo residual procedente de la curtición se descarga mediante una instalación adecuada hacia el tanque de retención, pasando previamente por un tamiz. Desde el tanque de retención se bombea hacia el tanque de precipitación, donde se adiciona el álcali hasta ajustar el pH a 8 - 9. El cromo precipitado sedimenta formando un lodo. El lodo de cromo se pasa al tanque de tratamiento o regeneración mediante un filtro prensa. El sobrenadante se decanta. La torta de cromo del tanque de regeneración se redisuelve a través de la acidificación con ácido sulfúrico (pH 2,4 - 2,7) durante unas 6 horas con calor (vapor). A continuación se ajusta a una basicidad de 33% y finalmente se bombea el licor de cromo regenerado hacia el tanque de almacenamiento, previo paso por filtro prensa con perlita para captar grasas y proteínas.

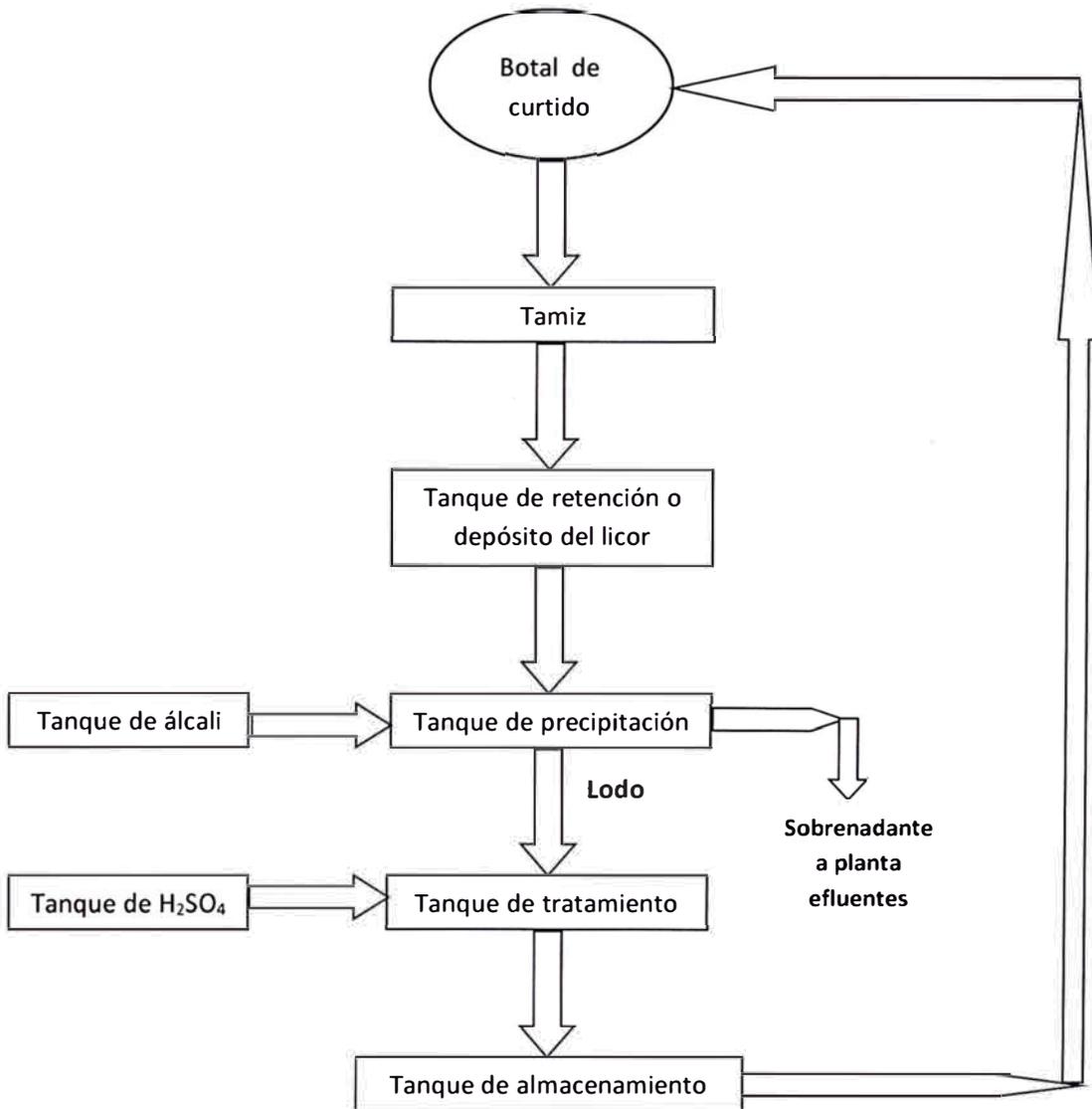


Fig. 3.12: Diagrama del proceso de recuperación del cromo.

Después de enfriar el licor de cromo a temperatura ambiente (3 - 4 horas) se controla el contenido de cromo y la basicidad del mismo. El cromo recuperado en forma de solución se recoge en cubas para ser usado en la operación de curtición al cromo estándar, normalmente en una proporción de 30% cromo recuperado + 70% cromo fresco.

Tabla 3.16: Comparación de impacto medio ambiental, Curtición convencional - Recuperación de cromo

Parámetro	Proceso convencional (kg/Tonelada de piel)	Proceso con recuperación (kg/Tonelada de piel)	Reducción
Sólidos suspendidos	5	1	4
Cromo	5	0,1	4,9
Sulfatos	40	15	25
Cloruros	50	25	25

Fuente: “Pelambre y Curtido al cromo con Tecnologías Limpias” - CITEccal

Factibilidad económica de la implementación de una planta de recuperación de cromo

- Inversión de capital en equipos nuevos.
- Cambios de costes para la operación del proceso, agentes químicos.
- Ahorro en costes para el tratamiento de aguas residuales.

Tabla 3.17: Parámetros de diseño para una planta de recuperación de cromo

Eficiencia de la curtición	70%	Producción	1 200 pieles/día
Capacidad	90 m ³ /día	Días de operación	224 días/año

Fuente: “Pelambre y Curtido al cromo con Tecnologías Limpias” - CITEccal

Los costos de energía no afectan la amortización.

Consumo de productos químicos: - NaOH y H₂SO₄ / año = 26 617 USD

- Mano de obra / año= 10 000USD

Recuperación de la inversión

(Ver Tabla 3.18 y 3.19)

Inversión / ahorros = 326 200 USD / 109 454 USD

Periodo de retorno= 3 años

Ventajas después de la implantación

- 30% ahorros de cromo virgen.
- Incremento en la productividad.
- Carga contaminante de sólidos suspendidos, cromo, sulfatos, cloruros y nitrógeno reducido.
- Más eficiencia.

Tabla 3.18: Costos de inversión para una planta de recuperación de cromo

Equipos	Coste
Bombas de transferencia (en servicio / en espera)	24 000 USD
Tanque de precipitación de cromo, capacidad= 120m ³ , cubierto	20 000 USD
Unidad Venturi Jet mezclador/aireador	9 600 USD
Tanque para almacenamiento de productos cáusticos (5m ³)	12 000 USD
Filtro prensa para lodo de hidróxido de cromo, con bomba de diafragma y mezclador	44 800 USD
Tanque de sostenimiento para material filtrado, 100m ³ , cubierto	16 800 USD
Tornillo para llevar lodo al tanque de reacción	24 000 USD
Tanque de reacción completo con mezclador, cubierto, 5m ³	12 000 USD
Tanque de almacenamiento de ácido sulfúrico, 5m ³ y dosificador	12 000 USD
Filtro-prensa para refinar el cromo	43 200 USD
Tanque de almacenamiento final de licor de sulfato de cromo reciclado	4 600 USD
Panel de control para recuperación de cromo	80 000 USD
Instrumentación (2 sensores de control de nivel, 2 sensores control pH, sensor de T°)	3 200 USD
Instalación	20 000 USD
Presupuesto total	326 200 USD

Fuente: “Pelambre y Curtido al cromo con Tecnologías Limpias” -CITEccal

Tabla 3.19: Ahorros esperados en un año para una planta de recuperación de cromo

Suministro del agente de curtido	7% sobre peso piel
Valor del agente de cromo para curtido (25% Cr ₂ O ₃), ton/año	635 USD
Compra anual de agente de curtido, ton	605
Compra anual de agente de curtido	387 048 USD
Ahorros potenciales de la recuperación de la descarga (30%)	115 215 USD
Eficiencia de recuperación de la planta	95%
Ahorros potenciales de la recuperación de la descarga actual (20%)	109 454 USD

Fuente: “Pelambre y Curtido al cromo con Tecnologías Limpias” - CITEccal

3.4.4.3.4. Otras alternativas para reducir efluentes

Estabilización de los cueros

Normalmente, el cuero se divide en tripa o bien en wet blue. Después del desescalado - rendido, las pieles se tratan con cloruro sódico y ácido sulfúrico con ácido fórmico para realizar el píquel. Con este tratamiento las pieles quedan preparadas para la curtición con sal de cromo. Posteriormente, se rebajan para igualar el espesor, de forma que las rebajaduras obtenidas contienen sal de cromo.

La finalidad es estabilizar las pieles, antes de la curtición, de forma que se puedan realizar las operaciones de dividido y rebajado obteniendo unos residuos de piel exentos de cromo.

La estabilización de las pieles se puede realizar mediante diferentes productos:

- Aldehídos modificados.

- Melamina y otros agentes reticulantes.

- Otros productos químicos como sales neutras (sulfato de sodio anhidro, silicato de sodio).

Estabilización con sales neutras

Sulfato sódico: el valor del pH final influye más en la temperatura de contracción de las pieles que la concentración de la propia sal. Se observa diferencias de 10°C en la temperatura de contracción entre valores de pH 2,8 – 8,0. Este intervalo de temperatura se debe a la acción del ácido sulfúrico, pues el anión sulfato estabiliza el colágeno de la piel. Al mismo tiempo, se observa que a pH ácidos, el valor de DQO es inferior al obtenido a pH alcalinos.

En cuanto a las operaciones mecánicas, las pieles se escurren, se dividen y se rebajan. Las tres operaciones se realizan con total normalidad sin producirse quemaduras ni daño alguno en las pieles.

Silicato sódico: las pieles se estabilizan con silicato sódico, en forma de solución comercial o bien de sol de sílice, con el fin de precurtir las ligeramente de manera que se pueda reducir en la curtición la concentración de sal de cromo (0,5 – 1,5%). Mediante este sistema se obtienen pieles con una temperatura de contracción de 85 - 91°C.

Curticiones después de la estabilización con sales neutras

Las pieles estabilizadas con sales neutras pueden curtirse de forma convencional con sal de cromo, extractos vegetales, agentes sintéticos, etc.

En la curtición al cromo se observa que las pieles estabilizadas a pH ácido (2,5) absorben más cromo que las estabilizadas a pH alcalino (8,0). En cuanto a las propiedades físicas de las pieles curtidas, la resistencia a la tracción y al desgarro, la impermeabilidad al agua, así como la cantidad de agua absorbida por ahora es mejor en aquellas pieles estabilizadas a pH 5,0 (cerca del punto isoeléctrico del colágeno).

Los extractos vegetales y los agentes sintéticos se emplean en la recurtición de pieles estabilizadas y curtidas ya al cromo. En este caso, las pieles resultantes tienen un

contenido de óxido de cromo que oscila entre 0,5 – 0,8% y una temperatura de contracción entre 85 - 91°C.

3.4.4.3.5. Curtición Vegetal

El cuero curtido vegetalmente es el que se conoce comúnmente como "piel natural" y normalmente es percibido como más "natural" que el cuero curtido al cromo. Esto se fundamenta en la asunción errónea de que, como los curtientes son de origen "natural", no pueden tener efectos ecológicos ni toxicológicos adversos. Los curtientes vegetales son compuestos químicos, igual que los productos sintéticos, y se deben adoptar las precauciones necesarias para que no supongan ningún riesgo para las personas y el entorno.

Los curtientes vegetales también plantean problemas desde el punto de vista ecológico. La gran cantidad de materia bruta que se debe procesar para extraer los curtientes, en particular, constituye un problema.

El contenido de taninos varía en función de la especie y de la parte de la planta de donde son extraídos.

Los no taninos, que no se consumen en el proceso de curtición, también provocan un gran aumento de DQO y en el contenido de sólidos en suspensión en las aguas residuales, lo que obliga a efectuar un tratamiento adicional del efluente.

Las ventajas y desventajas del cuero se deben contemplar con perspectiva. No existe una única solución, se debe prestar atención a la optimización de cada etapa individual del proceso productivo. Las curticiones combinadas, con mezcla de diferentes curtientes, pueden constituir en algunos casos una alternativa viable.

Un proceso de curtición avanzado es el que utiliza una combinación de curtientes vegetales y sintanes.

Este proceso se beneficia de las ventajas que tiene la curtición vegetal, como la comodidad, la compatibilidad con la piel, la gran estabilidad dimensional y su fácil eliminación mediante vertido, incineración o formulación. La combinación de curtientes vegetales con sintanes permite reducir la cantidad de aquellos, lo cual conlleva también a una importante reducción de la DQO del agua residual.

3.4.4.4. Procesos de Post - Curtición

a) Neutralización

- Evitar utilizar en su forma reducida (sulfitos, tiosulfatos, etc.) que aumentan las DQO.
- No utilizar sales amónicas ni amoniaco.

b) Recurtición

- Agotar los recurtientes minerales, y orgánicos en especial los extractos vegetales y los engrases.
- Elegir recurtientes con la menor cantidad posible de fenol libre y de formol libre.
- Utilizar recurtientes con bajo contenido en sales.
- Disminuir o eliminar recurtientes que contengan nitrógeno.

c) Teñido

- Suprimir los colorantes que puedan originar acrilamidas listadas como cancerígenas. Consultar a proveedores.
- Evitar siempre que sea posible el uso de colorantes que contengan sulfuro, cobre, níquel o disolventes.
- Substitución de los colorantes en polvo por los colorantes líquidos.
- Utilización de colorantes de bajo contenido en sales.

d) Engrase

- Evitar los productos que contengan halógenos.
- Evitar el uso de alquilfenoles etoxilados.
- Utilización de productos engrasantes libres de compuestos orgánicos halogenados.

e) Operaciones Mecánicas

Esmerilado/batanado

- Aplicar técnicas de captación de polvo en el esmerilado y batanado de las pieles.

3.4.4.5. Mejores técnicas disponibles para todas las operaciones del proceso**3.4.4.5.1. Automatización en la adición de agua y productos químicos**

Las mejores técnicas disponibles para la gestión y tratamiento del agua comprenden:

- Reducción del consumo de agua.
- Buenas medidas de cuidado, mantenimiento y almacenaje.
- Procesos integrando medidas.
- Tratamiento final de los efluentes.
- Estudio de los posibles reciclados de los baños.

Mejores técnicas disponibles para la gestión y tratamiento del agua:**Buen mantenimiento y procesos con medidas integradas**

- Mejor uso del agua necesaria de los procesos.
- Lavados BATCH en lugar de lavados continuos.

- Modificación de la máquina para trabajar en baño corto.
- Adaptación de los procesos para trabajar en baño corto.
- Reutilizar el agua en procesos poco-críticos (peligrosos).
- Reciclar o reutilizar los licores donde sea posible.

Final del proceso. En fábrica o fuera de fábrica

- Tratamientos mecánicos (fuera o en fábrica).
- Tratamientos biológicos (fuera o en fábrica).
- Post-purificación – Sedimentación y tratamiento de lodos (fuera o en fábrica).
- Guardar los efluentes conteniendo sulfuros de la ribera separados y con elevado pH mientras se elimina el sulfuro. La emisión asociada después del tratamiento es de 2mg/L en una muestra separada del efluente. Después de eliminar el sulfuro (fuera o en fábrica) se puede mezclar el efluente.

(*) División de opiniones, ver nota.

- Recolectar los efluentes que contienen cromo separadamente (por ejemplo de curtición, escurrido) con una concentración de Cr total $>1\text{g/L}$ y enviar a la recuperación de cromo. La recuperación de cromo puede efectuarse en fábrica o fuera.

Tratar los efluentes conteniendo cromo con concentración Cr total $< 1\text{g/L}$, en combinación con los otros efluentes en la fábrica o fuera.

Nota:

- (*) División de opiniones en el tratamiento de los sulfuros.

La industria apoya la conclusión que el tratamiento de los sulfuros de los efluentes es una mejor técnica, pero también realizar el tratamiento mixto, en fábrica, de sulfuro y cromo contenido en los efluentes. Argumentan lo siguiente:

- Menos costos.
- Menos productos químicos usados.
- Técnica simple y fiable.
- Los límites de emisión fijados para el efluente total de 2mg/l - 1 mg/l se pueden alcanzar.

3.4.4.6. Consumo alternativo de productos y recursos

Agua

Ahorros:

- Aumentar el control del volumen de agua que se usa realmente en el proceso, para evitar pérdidas por excesivos lavados, sobrellenado de recipientes, pérdidas de tuberías, etc. Disponer de contadores, limitadores de caudal, o sistemas automáticos de dosificación de agua en los puntos de uso del agua como bombos, molinetas,...
- Realizar los lavados al final de los procesos en forma discontinua en vez de lavados continuos con reja o evitarlos cuando sea posible.
- Adaptar los procesos y las maquinarias para trabajar con baños cortos: permite reducir el consumo de agua, el tiempo de proceso y el consumo de productos químicos.
- Reutilizar y reciclar el agua en etapas poco críticas y siempre para el primer baño de remojo, aguas de lavado de desencalado recicladas para el remojo, parte de las aguas del segundo lavado de calero recicladas para empezar un nuevo calero.

Tabla 3.20: Mejores técnicas disponibles para la gestión de residuos

REUTILIZACIÓN, RECICLADO, RECUPERACIÓN Y TRATAMIENTOS	TIPO DE RESIDUO
Producción de cuero	Serrajes.
Producción cuero regenerado	Residuos serrajes, rebajaduras, recortes curtidos en general.
Piezas pequeñas de piel, marroquinería	Serrajes y recortes curtidos.
Material para relleno, lana	Pelo y lana.
Gelatina, colas	Recortes de piel en bruto; camazas en verde o de cal, rebajaduras y serrajes.
Recuperación de grasa, tratamiento térmico	Recortes de piel en bruto; camazas sin curtir.
Proteína hidrolizada	Pelo, camaza en tripa, trozos de camaza tripa y curtidos de serraje, encalado y rebajado, rebajaduras.
Colágeno	Recortes y serrajes de calero (tripa).
Agricultura y fertilizantes	Por el nitrógeno que contiene en el pelo, residuos de compostaje y digestión anaeróbica, lodos de depuradora. Los requisitos legales para la aplicación de residuos a la tierra, requieren una buena separación y tratamiento individual.
Compostaje	Pelo, camazas en verde tripa, serrajes y rebajaduras en tripa, verde y curtidas, aceites, grasas.
Tratamiento térmico	Grasas, aceites, mezclas de solventes no halogenados. - Fangos. - Las plantas de tratamiento especializadas admiten solventes halogenados.
Reciclado de solventes orgánicos	Solventes orgánicos (no mezclas)
Recuperar y reciclar material de embalaje, devolviéndolo al suministrador después de un apropiado reciclado	Contenedores, paletas, plásticos, cartón.

Fuente: "Pelambre y Curtido al cromo con Tecnologías Limpias" - CITEccal

Productos Químicos

Cambios:

- Sustituir siempre que sea posible, productos perjudiciales para el medio ambiente por otros menos perjudiciales.

Ahorros:

- Pesar o medir las cantidades justas a utilizar de cada producto.

Manipulación:

- Las pesadas mediciones de volumen deben realizarse en zonas bien ventiladas, separadas del área de trabajo.
- Utilizar bombas manuales o a motor para el trasvase de productos peligrosos como los ácidos.

Seguridad:

- Todos los productos químicos deben estar etiquetados y con los símbolos informativos y de peligro correspondiente.

Energía

Controles:

- Llevar registros de los consumos de la energía usada por zonas y unidades de tiempo.

Ahorro:

- Sistemas de automatización de los botaes.
- Sistemas energéticamente más rentables, bombas de calor, cambios de combustible.

Tabla 3.21: Recomendaciones de producción más limpia – Contaminación del agua

Problema	Acción	Descripción	Equipo necesario	Observaciones
CONTAMINACIÓN AGUA	Reciclado baño Pelambre-calero	Reutilizar el baño de pelambre-calero otra vez en el proceso.	Bomba, filtro, tanque recolector.	Adecuado para todo tipo de producción y botales.
	Recuperación de pelo	Utilizar el proceso de recuperación de pelo – DQO, DBO ₅ será inferior, la piel más limpia, coste de funcionamiento ligeramente superiores.	Bomba, filtro	Eficiencia muy elevada.
	Desenclado con CO ₂	El desenclado con CO ₂ reducirá la contaminación por sales de amonio.	Tanques para almacenar CO ₂ e instalaciones para introducirlo en los botales.	
	Reciclado baño píquel	Reciclar el baño de píquel como parte de la gestión de cromo, reduce la salinidad en las aguas residuales.	Bomba, filtro, tanque recolector.	Adecuado para todas las curtiembres. Se necesita tanque recolector, bombo y filtro.

Fuente: “Pelambre y Curtido al cromo con Tecnologías Limpias” - CITEccal

Tabla 3.21: Recomendaciones de producción más limpia – Contaminación del agua

Problema	Acción	Descripción	Equipo necesario	Observaciones
CONTAMINACIÓN AGUA (Continuación)	Reciclado baño cromo	Reutilizar los licores de cromo para curtir nuevamente. Reduce el contenido de cromo en las aguas residuales y reduce los costes de productos químicos.	Bomba, filtro, tanque recolector.	Adecuado para pequeñas curtiembres.
	Recuperación cromo	El cromo se recupera de los baños mediante el uso de álcali para precipitarlo y posteriormente se redisuelve por adición de ácido. La solución de cromo recuperado se reutiliza para la curtición.	Tanque recolector, filtro CRP	En algunas curtiembres pueden emplearse filtros de carbón como tanques.
	Control de proceso	El control de proceso mejora el consumo de productos químicos, reduce la contaminación de las aguas.	Caudalímetros, pHmetros, termómetros, papeles indicadores, balanzas.	Básico para todas las curtiembres.

Tabla 3.22: Recomendaciones de producción más limpia – Consumo de agua

Problema	Acción	Descripción	Equipo necesario	Observaciones
CONSUMO AGUA	Medir agua	Cada lote debe ser pesado y sólo usar y medir la cantidad de agua necesaria.	Balanza, tanques calibrados o caudalímetros	Básico para todas las curtiembres.
	Revisar agua	Revisar el consumo de agua diario y compararlo con la producción actual. Si es necesario, averiguar porque el consumo no corresponde a la producción.	Caudalímetros	Adecuado para todas las curtiembres.
	Orden en fábrica	Cada cosa tiene su lugar – productos químicos, materia prima, material semiprosesado, residuos, equipos, herramientas, etc. El orden provoca menos errores operacionales.	---	Recomendado para todas las curtiembres.

Fuente: “Pelambre y Curtido al cromo con Tecnologías Limpias” - CITEccal

3.5. Aplicación de un programa de producción más limpia en una curtiembre peruana

Para que la evaluación técnica de una planta de procesamiento de cuero sea eficiente, es necesario preparar la información de cada curtiembre con anticipación. Esto permitirá que los técnicos a cargo del diagnóstico de producción más limpia, que incluye prevención de la contaminación y eficiencia energética, puedan planificar la forma más conveniente para identificar los problemas de la empresa y proponer la mejor solución a los mismos. Por esta razón, se necesitó contar con la mejor y más exacta información posible.

Se realizó el diagnóstico de producción más limpia a la Curtiembre Vanú, ubicada en el distrito limeño de San Juan de Lurigancho.

3.5.1. Reseña Histórica de la Empresa

Curtiembre Vanú inició sus actividades en agosto del año 2000, pero, desde 1993 curtían pieles vacunas en botales alquilados en una curtiembre del distrito de Comas. Actualmente, sólo procesan pieles vacunas frescas ya que los principales artículos que se producen en esta empresa son modelos exclusivos a plena flor.

La producción mensual de Curtiembre Vanú es de 1 600 cueros, aunque, su capacidad instalada es de 2 500 cueros. Las pieles frescas provienen de un frigorífico cercano a la planta.

3.5.2. Coordinaciones Ejecutivas

Se entablaron reuniones con el Gerente de la empresa Curtiembre Vanú, el Sr. Francisco Valer Guzmán y con el Jefe de Producción, el Sr. Ebi Valer Núñez, quienes en todo momento mostraron buena disposición en brindar la información

requerida para el buen reconocimiento de las instalaciones y procesos de la curtiembre.

3.5.3. Metodología para desarrollar un programa de Producción Más Limpia (PML) en Curtiembre Vanú

El método para desarrollar el programa de producción más limpia en Curtiembre Vanú, se basó en un conjunto ordenado de actividades conformadas por 5 etapas, así como se definió anteriormente.

1era. Etapa: Planeamiento y Organización

2da. Etapa: Diagnóstico de Producción Más Limpia.

3ra. Etapa: Estudio de Factibilidad.

4ta. Etapa: Implementación y seguimiento de las oportunidades de Producción Más Limpia.

5ta. Etapa: Mejora Continua

El componente central de este programa fue el diagnóstico de PML, el cual se llevó a cabo en base a un análisis de las operaciones productivas, a fin de identificar y seleccionar opciones de PML técnica y económicamente viables, las cuales se implementaron con el propósito de prevenir o disminuir la contaminación ambiental e incrementar la eficiencia energética de la Curtiembre Vanú.

El análisis mencionado se realizó en base a los resultados de un estudio detallado de las operaciones de producción, logísticas y auxiliares, que incluyó la cuantificación y caracterización de las entradas y salidas de cada operación unitaria con el fin de identificar las causas de los flujos de residuos y pérdidas, plantear opciones de PML,

seleccionar e implementar las opciones factibles y hacer un seguimiento a los resultados de dicha implementación.

1ERA. ETAPA: Planeamiento y Organización

- La Gerencia de Curtiembre Vanú aceptó el compromiso para iniciar el desarrollo del programa de PML y asegurar su ejecución, calidad y continuidad. Mediante el compromiso de la gerencia se aseguró la colaboración de todos los empleados.
- Se creó un Comité de PML al interior de la empresa dirigido por el Sr. Ebi Valer, este comité cuenta con poder de toma de decisiones que permita gestionar actividades de PML.
- Los objetivos para este programa de PML son:
 - ✓ Ser una empresa reconocida por sus buenas prácticas operativas.
 - ✓ Disminuir emisiones contaminantes al aire, agua y/o suelo.
 - ✓ Incrementar la productividad.
 - ✓ Optimizar las condiciones de operación y proceso.
- Se realizaron charlas de capacitación y sensibilización al personal de Curtiembre Vanú sobre la metodología y los beneficios económicos, técnicos y ambientales logrados en programas de otras curtiembres.

2DA. ETAPA: Diagnóstico de Producción Más Limpia.

- **Levantamiento de información**

CUESTIONARIO TÉCNICO

Datos Generales:

Empresa: Curtiembre Vanú S.A.C.

Rubro de Producción: Curtido y Adobo de Cueros, CIU: 19110

Gerente General: Sr. Francisco Valer Guzmán

Dirección: Jr. Los Duraznos N° 500, San Juan de Lurigancho - Lima

Teléfono: 387-3007

Correo Electrónico: curtiembrevanu@hotmail.com

Datos Técnicos:

1. Lista de los principales productos que ofrece Curtiembre Vanú:

ARTICULOS	CANTIDAD PRODUCIDA $\left(\frac{ft^2}{año}\right)$	PRECIO DE VENTA $\left(\frac{S/.}{ft^2}\right)$	VENTA ANUAL $\left(\frac{S/.}{año}\right)$
Cuero Crust	96 000	8,50	816 000
Cuero Guante	144 000	9,80	1 411 200
Cuero Cerato	72 000	9,50	684 000
Cuero Box	840 000	6,80	5 712 000

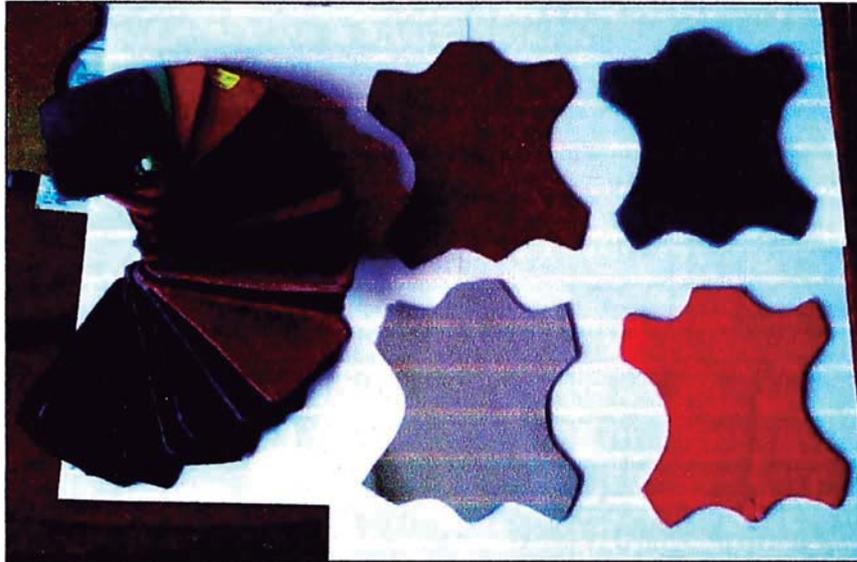


Fig. 3.13: Artículos de cuero, Curtiembre Vanú

2. Volumen de producción proyectado

Curtiembre Vanú desea incrementar la producción de Cuero Box, cuero desflorado económico de 840 000 a 1 440 000 $\left(\frac{ft^2}{año}\right)$ debido a la elevada demanda de requerimiento de calzado deportivo en el Perú.

3. Descripción de los procesos de producción

Curtiembre Vanú procesa sólo pieles bovinas frescas y los artículos de cuero que producen se elaboran según las necesidades de sus clientes. La mayoría de las operaciones a que se somete una piel para transformarla en un producto adecuado para vestimenta, calzado u otro artículo, se realiza en medio acuoso en unos equipos llamados botales.

Curtiembre Vanú cuenta con 9 botaes fabricados artesanalmente, 8 botaes para las etapas húmedas y 1 botal para la etapa de acabados

Tabla 3.23: Características Técnicas de los Botaes, Curtiembre Vanú

Nº Botal	Dimensiones L x D (m)	Velocidad RPM	Capacidad Máxima (kg)	HP	Operación
1	2,90 x 2,80	5	3 000	12	Pelambre
2	3,00 x 2,80	7	3 000	15	Pelambre / Curtido
3	3,00 x 3,00	7	3 000	15	Pelambre / Curtido
4	2,70 x 2,46	4	1 500	8	Pelambre
5	2,70 x 2,80	9	2 000	8	Curtido / Teñido
6	2,04 x 2,60	9	2 000	8	Curtido / Teñido
7	2,04 x 2,60	9	1 200	8	Teñido
8	2,05 x 2,80	9	1 200	8	Teñido
9	2,00 x 2,50	15	1 000	8	Batanado

A continuación se describen los procesos de producción de curtido de pieles bovinas en Curtiembre Vanú:

Proceso de Ribera

El objetivo de este proceso es preparar la piel para el curtido limpiándola y acondicionándola, además de asegurar la humedad requerida para los siguientes procesos.

- Recepción de Pieles

Las pieles llegan a Curtiembre Vanú sin acondicionamiento alguno, como pieles “frescas”. Las pieles frescas que llegan sin haber sido lavadas, traen consigo estiércol, tierra y suciedad, que constituyen un aporte a la carga de DBO del efluente líquido de la curtiembre y generan un mayor consumo de agua en su lavado.



Fig. 3.14: Pesaje de pieles frescas, Curtiembre Vanú



Fig. 3.15: Recorte de pieles frescas, Curtiembre Vanú

- **Remojo y Lavados**

Los objetivos de esta operación son limpiar la superficie de la piel de sangre, linfa y excrementos y rehidratar la estructura de la piel.

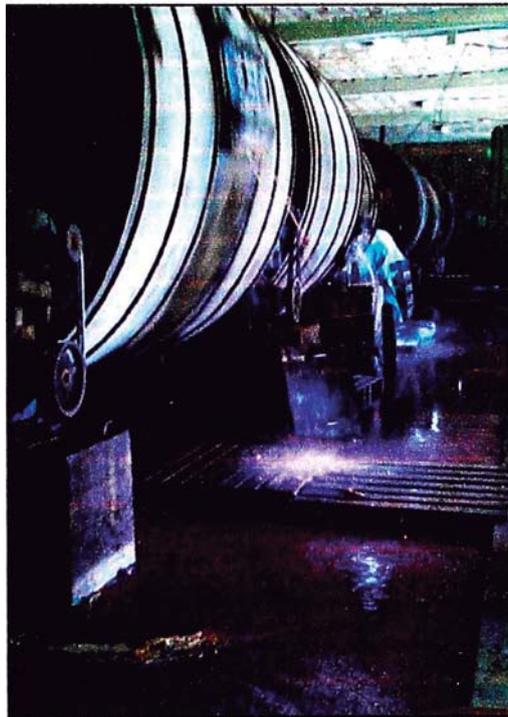


Fig. 3.16: Lavado de pieles frescas, Curtiembre Vanú

Tabla 3.24: Formulación de remojo de pieles frescas, Curtiembre Vanú

Dosificación	Tiempo de giro (minutos)
200% Agua 2,0% Sal	30
200% Agua	20
Escurrir	
150% Agua 0,35% Emulsionante 0,15% Humectante 0,18% Soda cáustica 0,10% Busan 1444	240
Automático 10' / hora Hasta el siguiente día	
Lavar hasta que °Bé < 1	

Observaciones e Identificación de Contaminantes:

- Las pieles frescas ingresan al botal luego de recortar las orejas, colas y cachetes. No realizan pre descarne.
- Los cachetes se venden a personas dedicadas a preparar alimentos para el consumo humano, los otros recortes son recolectado para el envío al relleno sanitario.
- El agua empleada en todas las operaciones es agua de pozo.
- No tienen medidores de flujo de agua, la cantidad de agua se agrega de manera visual, por ejemplo, 100% de agua quiere decir que el nivel del agua debe cubrir todas las pieles.
- Los trabajadores no usan todos los equipos de protección personal durante las diferentes etapas del proceso de curtido de cueros.
- El tiempo de remojo para pieles frescas en Curtiembre Vanú es excesivo.
- Generalmente se inicia la operación de remojo al medio día.
- Los lavados se realizan con puerta de rejillas a caño abierto.
- Las aguas escurridas pasan por una canaleta sin rejillas. Las aguas residuales de los lavados contienen sangre, estiércol, grasa y suciedad.

- **Pelambre**

Tiene como objetivos eliminar la epidermis junto con el pelo y producir un aflojamiento de la estructura fibrosa del colágeno para prepararla para los procesos de curtición, eliminando parte del tejido conjuntivo y adiposo.

Tabla 3.25: Formulación de pelambre de pieles frescas, Curtiembre Vanú

Dosificación	Tiempo de giro (minutos)
80% Agua 1,00% Tensoactivo 0,90% Sulfuro de sodio	60
1,00% Cal	50
1,00% Sulfuro de sodio	60
0,80% Cal	40
1,50% Cal 0,5% Tensoactivo	30
200% Agua	20
Automático 5'/hora por 14Horas	

Observaciones Identificación de Contaminantes:

- Realizan pelambre convencional con destrucción de pelo.
- Las aguas residuales de este proceso pasan por una canaleta sin rejillas, luego pasa por unas pozas de sedimentación y finalmente sale a la red de alcantarillado.
- Las aguas residuales de esta operación son las más concentradas de todas, presentando valores elevados de pH (sobre 11), sebo, carnaza, pelo, sulfuros y proteínas solubles.

- **Descarnado**

El descarnado es la operación mecánica que elimina de la piel restos de tejido subcutáneo y adiposo. Las pequeñas cantidades de agua de escurrido tienen la misma composición que las aguas de pelambre diluidas por el agua aportada por la máquina. El descarnado se realiza a las pieles pelambradas, pieles en tripa.

Curtiembre Vanú cuenta con una máquina descarnadora de las siguientes características:

Máquina Descarnadora:

Marca: Strojovit

Modelo: 36467

Procedencia: República Checa

Dimensiones (mm): 5 100 x 1 440, alt.= 1 540

Entrada de Energía Total (kW): 45



Fig. 3.17: Máquina Descarnadora, Curtiembre Vanú

Observaciones e Identificación de Contaminación:

- Los residuos del descarnado contienen contaminantes como sulfuro y cal, estos residuos son almacenados y luego recolectados para enviarlos al relleno sanitario.
- Curtiembre Vanú almacena los residuos del descarnado en sus instalaciones por un periodo de una semana, estos residuos emiten un olor desagradable.
- Luego de realizar el descarnado se procede a recortar los extremos de la piel, los cuales, son almacenados para su posterior venta.
- Semanalmente empresas dedicadas al traslado de residuos peligrosos recolectan los restos del descarnado y las envían al relleno sanitario de Ancón.

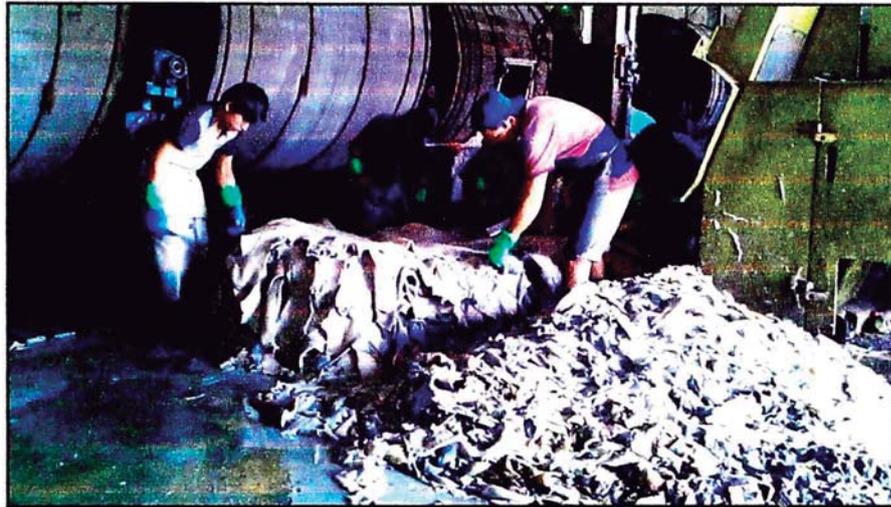


Fig. 3.18: Recortes de pieles en tripa, Curtiembre Vanú

▣ **Dividido**

El dividido es la operación para dejar la piel con el grosor adecuado según el producto a fabricar. Las pieles se dividen en tripa y dan lugar a dos partes, la piel en flor (lado flor) y el serraje (lado carne). Si la piel es suficientemente gruesa, el lado carne continúa el proceso de fabricación como producto de menor calidad llamado gamuzón. Si el serraje es muy delgado y pequeño, carnaza del dividido, se vende a personas dedicadas a la fabricación de juguetes para perros.

Curtiembre Vanú cuenta con una máquina dividoradora con las siguientes características:

Máquina Dividoradora:

Marca: Rizzi

Modelo: SR6

Procedencia: Italia

Dimensiones (mm): 5 000 x 1 400, alt.= 1 500

Entrada de Energía Total (kW): 26

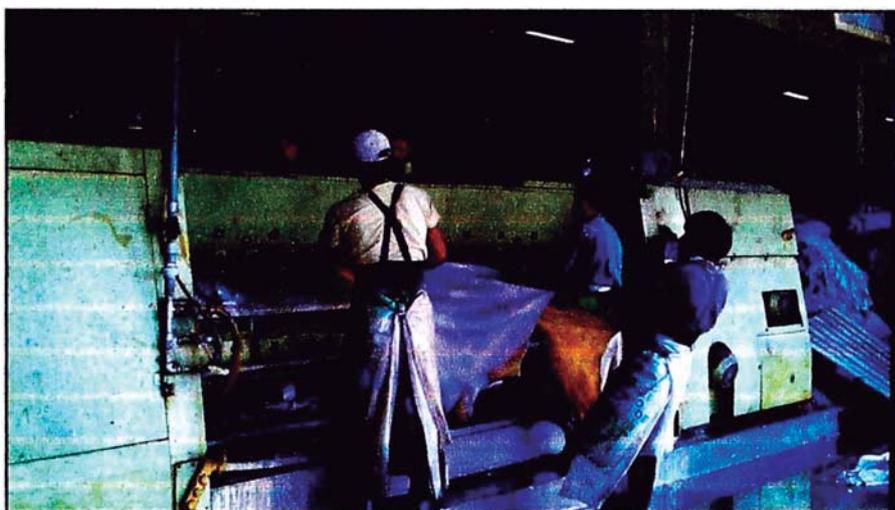


Fig. 3.19: Máquina Divididora, Curtiembre Vanú

Proceso de Curtido

El proceso de curtido comprende las operaciones de desencalado, purgado, desengrasado, piquelado y curtido. Este proceso tiene como objetivo estabilizar la materia orgánica para impedir putrefacciones.

- Desencalado y Purgado

La piel debe ser acondicionada antes de ser sometida a la operación de curtido. Este acondicionamiento comprende las operaciones de desencalado y purgado, estas dos operaciones se realizan en forma sucesiva en el mismo baño de desencalado.

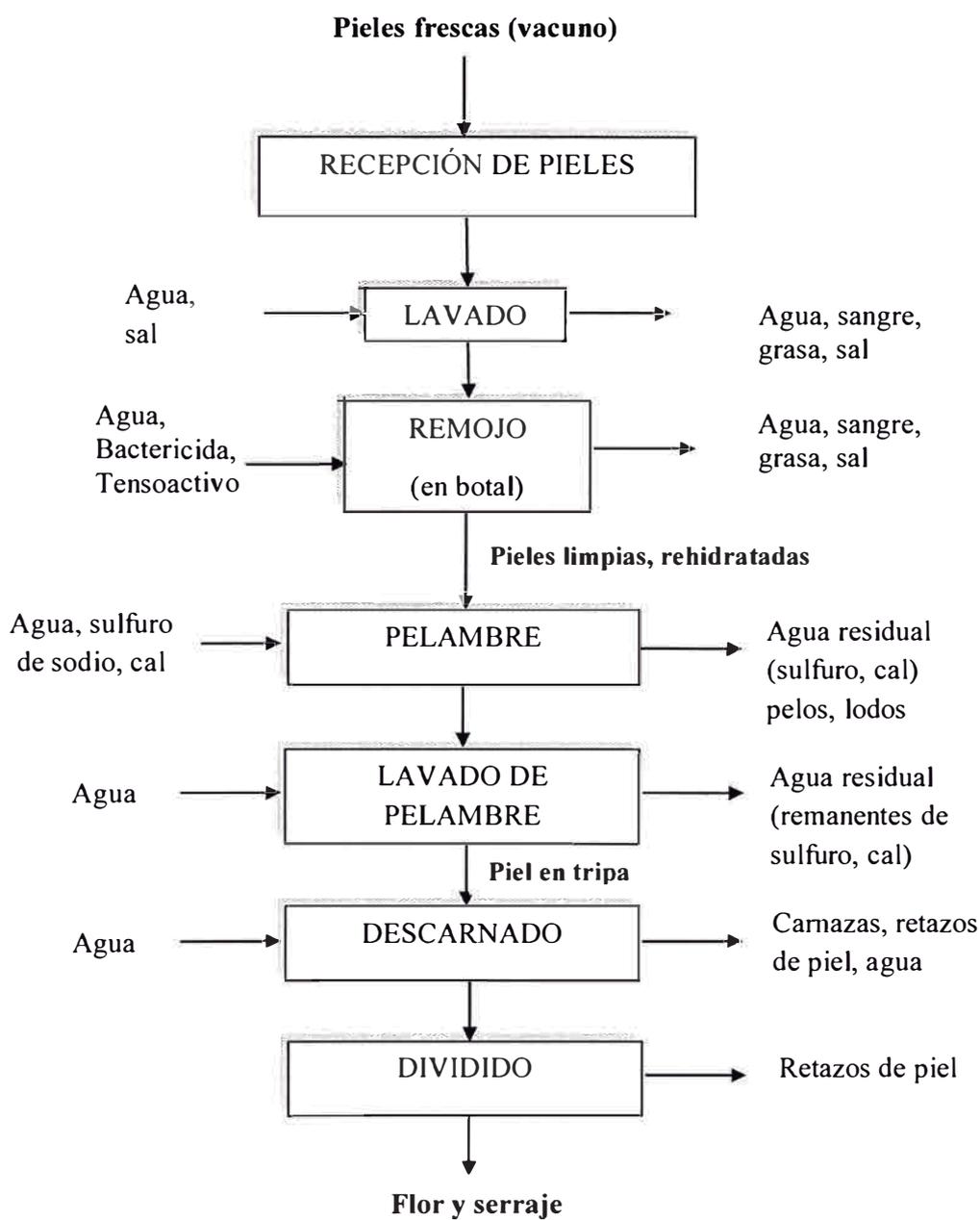


Fig. 3.20: Diagrama de flujo del proceso de ribera, Curtiembre Vanú

El objetivo del desencalado es remover el calcio de la piel, detener el hinchamiento alcalino y remover el sulfuro remanente, mediante lavados con agua y la adición de reactivos químicos. Curtiembre Vanú utiliza para estos fines sulfato de amonio y bisulfito de sodio.

El purgado tiene como objetivo eliminar las proteínas no colágenas a fin de mejorar la textura del cuero. En esta curtiembre, el purgado se realiza con enzimas pancreáticas después del desencalado.

▣ **Desengrasado**

El desengrasado tiene como objetivo remover las grasas remanentes de la piel, debido a que estas reaccionan con el cromo para formar jabones insolubles, indeseables en el curtido. En Curtiembre Vanú se emplea solventes orgánicos (mezclas con querosene) como desengrasante junto con la purga enzimática.

▣ **Piquelado**

El piquelado tiene como objetivo llevar las pieles al pH requerido para el curtido (pH final entre 2,8 y 3,5) y al mismo tiempo detener cualquier tendencia al hinchamiento ácido. Curtiembre Vanú utiliza ácido sulfúrico y ácido fórmico para obtener el pH de las pieles después del piquelado en 2,8. La inhibición del hinchamiento ácido se logra con una concentración de sal común de 7,0%.

Tabla 3.26: Formulación de desencalado y purgado de pieles vacunas en tripa Curtiembre Vanú

Dosificación y controles	Tiempo de giro (minutos)
200% Agua 0,30% Sulfato de Amonio	20
50% Agua 1,70% Sulfato de Amonio 0,20% Bisulfito de Sodio 0,10% Solvente	60
Control de pH(8.0 - 8.5) y corte incoloro con fenolftaleína	
0.04% Purga enzimática	40
Lavado profundo	

Observaciones e Identificación de Contaminación:

- Luego de la purga se realiza un exhaustivo lavado con agua a temperatura ambiente, esta agua tiene elevada carga de nitrógeno amoniacal, grasa y solvente de petróleo.
- **Curtido**

El curtido tiene el objetivo de convertir las pieles en material no putrescible. Los agentes curtientes se fijan en las fibras de colágeno, estabilizándolas a través de

uniones cruzadas, es decir, uniones químicas entre fibras. Curtiembre Vanú utiliza sales de cromo como agente curtiente.

- **Basificado**

El basificado tiene como objetivo neutralizar los ácidos del piquelado durante el curtido para obtener una óptima fijación del cromo en el colágeno, empleando para ello un agente basificante. En condiciones convencionales, la cantidad de cromo fijada en el colágeno es de 60 a 80% respecto a la cantidad inicial de cromo ofertado. Curtiembre Vanú emplea como agente basificante 0,40% de óxido de magnesio (sobre el peso de las pieles en tripa), este basificante reacciona lentamente con los ácidos debido a su baja solubilidad, esta cantidad de óxido de magnesio permite incrementar gradualmente el pH del baño desde 2,8 hasta 3,8.

Observaciones e Identificación de Contaminación:

- Se realiza controles de concentración de sal y pH en el baño de piquel.
- En el curtido emplean fungicida para evitar el crecimiento de hongos ya que los cueros en wet blue (WB) pueden estar almacenados hasta por un mes.
- Una vez cumplida las nueve horas de basificación continua y de verificar los parámetros de control (pH de la piel y temperatura del baño) se descargan los cueros junto con el baño de curtido que contiene altas concentraciones de cromo y sal y elevada acidez (pH= 3,8).

Curtiembre Vanú no realiza ningún tratamiento a las aguas residuales de curtido.

Tabla 3.27: Formulación de piquelado, curtido y basificado de pieles vacunas en tripa, Curtiembre Vanú

Dosificación y controles	Tiempo de giro (minutos)
<p>Píquel:</p> <p>80% Agua</p> <p>7,00% Sal</p> <p>Control de °Bé = 6,5</p> <p>0,60% Ácido Fórmico</p> <p>1,10% Ácido Sulfúrico</p> <p>Control de pH= 2.8</p>	<p>10</p> <p>30</p> <p>60</p>
<p>Curtido:</p> <p>7.00% Cromo</p> <p>0.10% Busan 116SC</p>	<p>120</p>
<p>Basificación:</p> <p>0.40% Butan 7840</p> <p>Control de pH= 3.8, T°= 45°C</p>	<p>9Hrs.</p>

Proceso de Post Curtido

El post curtido comprende las operaciones que se efectúan después del curtido como: exprimido, rebajado, neutralizado, recurtido, teñido, engrasado y secado. Existen grandes diferencias en cada una de estas operaciones, según el tipo de producto que se desee obtener.

- Ecurrido

El exprimido es la eliminación del agua del wet blue mediante acción mecánica por presión. El volumen del efluente líquido generado no es importante pero el potencial contaminante sí lo es, debido a que este contiene cromo en solución ácida.

Curtiembre Vanú cuenta con una máquina escurridora con las siguientes características:

Máquina Ecurridora:

Marca: Strojovit

Modelo: 35293

Procedencia: República Checa

Dimensiones (mm): 3 200 x 1 400, alt.=1 600

Entrada de Energía Total (kW): 16

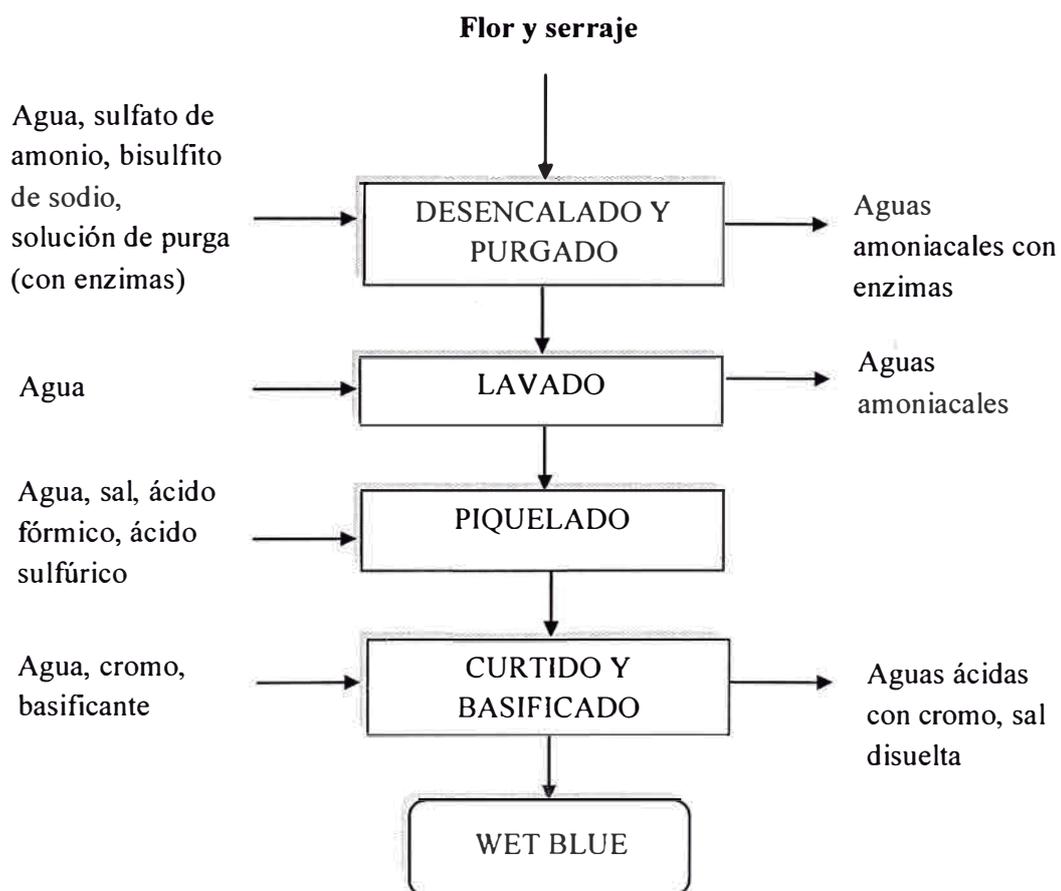


Fig. 3.21: Diagrama de flujo del proceso de curtido, Curtiembre Vanú



Fig. 3.22: Máquina de Ecurrir, Curtiembre Vanú

- **Rebajado**

En esta operación se da el espesor adecuado al cuero según las necesidades de los clientes. Esta operación genera elevada cantidad de residuos sólidos con elevada cantidad de cromo, llamados virutas de cromo.

Curtiembre Vanú cuenta con una máquina de rebajado con las siguientes características:

Máquina de Rebajado:

Marca: Strojovít

Modelo: 35070

Procedencia: República Checa

Dimensiones (mm): 2 800 x 1 500 x altura=1 600

Entrada de Energía Total (kW): 26



Fig. 3.23: Máquina de Rebajado, Curtiembre Vanú



Fig. 3.24: Residuos de virutas de cromo, Curtiembre Vanú

- **Neutralización**

Es una operación en húmedo para eliminar del cuero las sales neutras, las sales de cromo sin fijar, parte de su acidez y modificar su carga. Esto evita posibles problemas de corrosión con metales, de irritación en la piel del consumidor, irregularidades de tintura, etc. y favorece la penetración de los productos aniónicos empleados en la recurtición, tintura y engrase. Para este fin se utilizan sales como el formiato de sodio o bicarbonato de sodio.

Observaciones e Identificación de Contaminación:

- El neutralizado produce aguas residuales más o menos abundantes, según las características de lavado aplicadas, con una carga contaminante relativamente baja. Son aguas ligeramente ácidas, pH 5 – 6 con contenidos variables de sales neutras y sales de cromo.

- **Recurtido**

Consiste en tratar el cuero con uno o más productos, en determinadas fases de la curtiembre, para obtener determinadas cualidades en el cuero terminado.

Al recurtir se pretende conseguir o modificar diversas propiedades tales como:

- Mejorar la soltura de flor.
- Obtener otro tacto.
- Mejorar la plenitud o compacidad del cuero.
- Modificar el aspecto de la flor.
- Mejorar las resistencias físicas.
- Mejorar la igualación de tintura o disminuir o aumentar su intensidad.
- Mejorar la resistencia al lavado en seco o en húmedo.

Los principales productos que se utilizan son: sales de cromo, extractos vegetales, sintéticos, resinas aniónicas, aceites curtientes y rellenantes de varios tipos.

- **Teñido**

La tintura del cuero comprende el conjunto de operaciones cuyo objeto es conferir a la piel curtida una coloración determinada, sea superficial, parcial o totalmente atravesada. Generalmente se realiza en el mismo baño del recurtido con agentes químicos como las anilinas y empleando amoniaco como agente penetrante.

- **Engrasado**

Al secar el cuero, las fibras se juntan debido a la deshidratación y podría quedar duro, el engrase permite mantener dichas fibras separadas y lubricadas para que puedan deslizarse unas en relación con las otras y así obtener un cuero flexible, se usan aceites naturales y sintéticos.



Fig. 3.25: Agua residual post curtido, Curtiembre Vanú

Observaciones e Identificación de Contaminación:

Estos vertidos (recurtición-teñido-engrase) son los más difíciles de caracterizar debido a las divergencias de la tecnología aplicada para cada artículo procesado. Por lo general son aguas débilmente ácidas, pH 4 – 5 que contienen algo de grasas emulsionadas, colorantes, sales neutras y recurtientes. Es frecuente encontrar en ellas restos de curtientes vegetales, sintéticos, cromo y resinas.

- Los volúmenes de aguas residuales son muy variables según el artículo a procesar.

- **Secado**

El secado consiste en evaporar gran parte del agua que contienen los cueros hasta reducir su contenido al 14% aproximadamente. El secado es realizado en dos etapas, al vacío y luego al aire libre. El secado al aire si bien no consume energía está sujeto a condiciones climáticas variables, como temperatura y humedad, el secado forzado es más versátil pero se requiere de un uso intensivo de energía.

Curtiembre Vanú cuenta con una máquina de secado al vacío con las siguientes características técnicas:

Máquina de Secado al Vacío

Marca: Finvac

Modelo: 0601524

Procedencia: Finlandia

Dimensiones (mm): 3500 x 2700, Entrada de Energía Total (kW): 16,4

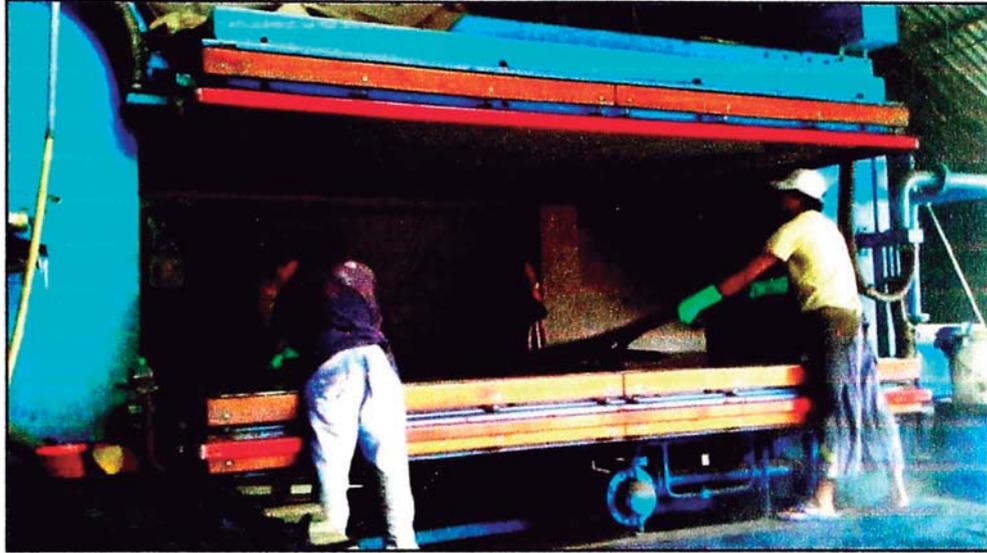


Fig. 3.26: Secado al vacío de pieles, Curtiembre Vanú



Fig. 3.27: Secado de pieles, Curtiembre Vanú

Proceso de Acabado

Las operaciones de acabado le otorgan al cuero mayor brillo, color, resistencia a la luz, mejorando la calidad del mismo mediante la incorporación de ciertos aditivos como pigmentos, ligantes acrílicos, ceras, penetrantes, etc. Las formulaciones para el acabado varían ampliamente dependiendo del tipo de cuero que se desee.

- Acondicionado

En esta operación se rehidrata la piel de modo que las fibras estén en condiciones para ser sometidas a las siguientes operaciones mecánicas.

- Ablandado

El ablandado consiste en romper mecánicamente la adhesión entre fibras que se produce a consecuencia del secado y así lograr un cuero más flexible.

En Curtiembre Vanú se utiliza una máquina vibratoria tipo Mollisa, en las cuales, con ayuda de unas cintas de goma, se pasan las pieles a través de unas placas con unos pivotes que al vibrar doblan la piel y la ablandan. Las características técnicas de esta máquina tipo Mollisa son:

Máquina Ablandadora (Mollisa)

Marca: Enko

Modelo: ACO - 1600

Procedencia: Brasil

Dimensiones (mm): 1 980 x 1 300

Entrada de Energía Total (kW): 16

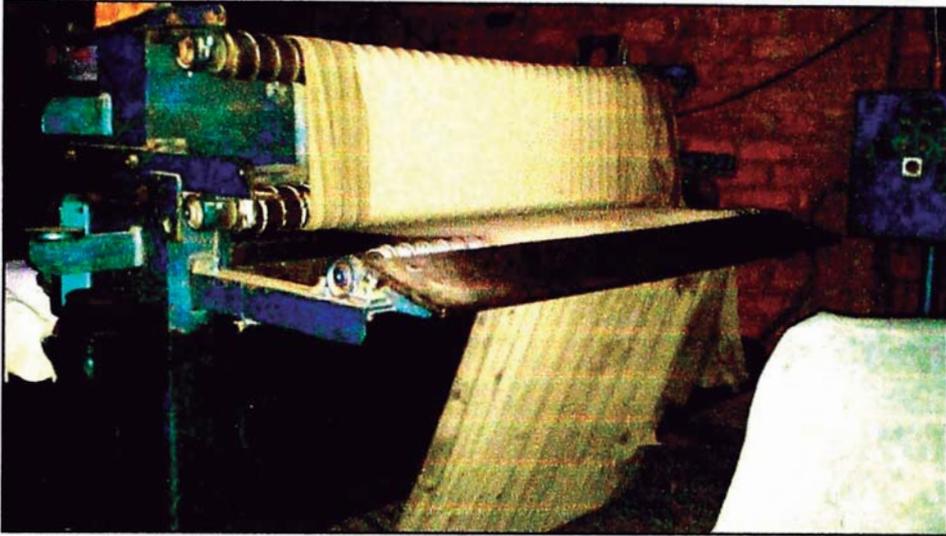


Fig. 3.28: Máquina tipo Mollisa, Curtiembre Vanú

- **Batanado**

Consiste en hacer rodar las pieles en un botal seco, la piel se deforma multidireccionalmente, siendo doblada, estirada y comprimida durante la operación. Como consecuencia, se reduce el área de la piel y la flor se vuelve áspera con el grano subido.

- **Tesado**

Mediante esta operación el cuero se estira para alisar la superficie del cuero. El tiempo de tesado depende mucho de la humedad y de la calidad del producto requerido.

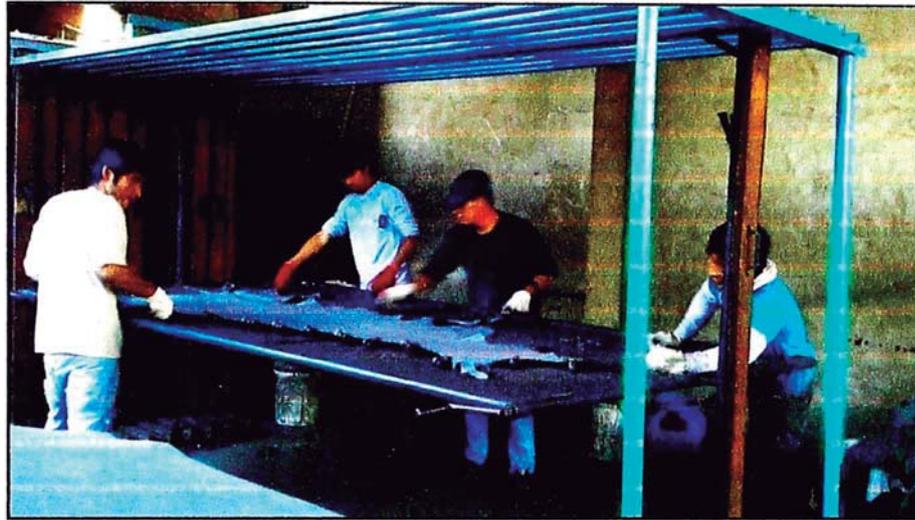


Fig. 3.29: Tesado de pieles, Curtiembre Vanú

- **Pintado**

Se realizan con sistemas de pinturas en spray, a mano y con una máquina de rodillo.



Fig. 3.30: Pintado de pieles, Curtiembre Vanú

- Planchado

En esta operación se aplica calor a través de una superficie metálica, donde se alisa el cuero y uniformiza la superficie. Adicionalmente también sirve para imprimir grabados según el tipo de plancha o rodillo que se use. El calor es suministrado por el vapor de la caldera.

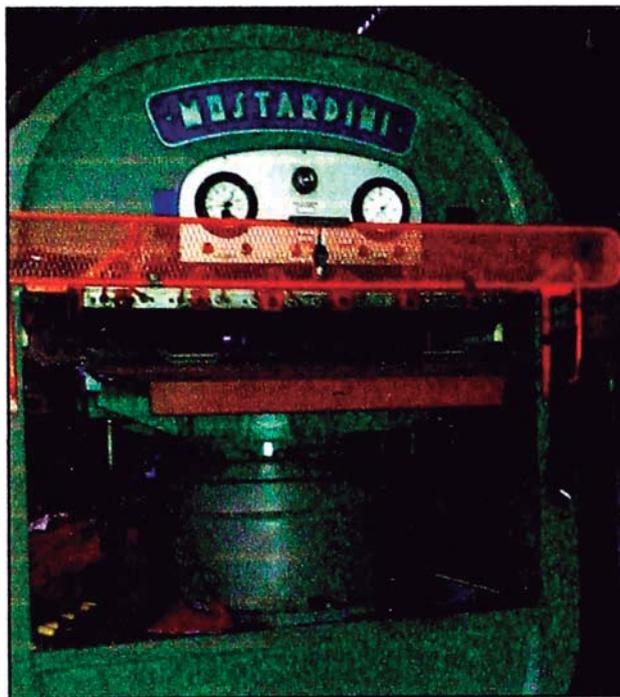


Fig. 3.31: Planchado de pieles, Curtiembre Vanú

4. Lista de compras de materia prima

Materia Prima	Peso Promedio (kg)	$\frac{Nro. Pielles}{mes}$	$\frac{Nro. Pielles}{año}$	$\frac{kg}{año}$	Costo $\left(\frac{\\$/}{kg}\right)$	Costo $\left(\frac{\\$/}{año}\right)$
Pielles vacunas frescas	37	1 600	19 200	710 400	5,00	3 552 000

5. Lista de compras de productos químicos e insumos en general

Producto Químico	Descripción	Etapas de Proceso
Cloruro de sodio	Impide el crecimiento de bacterias, pieles venosas e hinchamiento ácido de la piel	Conservación de pieles, remojo y píquiel
Busan 1444	Microbicida para el control del crecimiento de bacterias	Remojo
Humectante	Tensoactivo a base nonil fenol etoxilado	Remojo y Pelambre
Soda cáustica	Rompe los puentes de hidrógeno que existen entre moléculas de colágeno para favorecer la hidratación de las pieles	Remojo
Cal	Provoca por su baja solubilidad (1,4 gr/l) un efecto tampón de pH 11,5-12 Zona adecuada para el depilado, limita el hinchamiento que otros productos producen en la piel.	Pelambre
Sulfuro de sodio	Debido a su acción reductora ataca fuertemente el pelo y lea epidermis	Pelambre

Lista de compras de productos químicos e insumos en general:

Producto Químico	Descripción	Etapa de Proceso
Quimanmol	Emulsionante de grasas	Remojo, Pelambre y Desencalado
Sulfato de Amonio	Agente desencalante con efecto tamponante	Desencalado
Bisulfito de Sodio	Forma compuestos solubles con los álcalis.	Desencalado
Enzima de purga	Proteasa pancreática	Purgado
Desengrasante	Base solvente	Purgado
Ácido Fórmico	Acidifica la piel, bloqueando las carboxilas y permitiendo la penetración del cromo.	Piquelado
Ácido Sulfúrico		Piquelado
Sulfato de Cromo	Estabiliza La proteína de la piel	Curtido
Busan 30L	Fungicida para evitar crecimiento de hongos	Curtido
Butan 7840	Óxido de Magnesio	Basificado

Lista de compras de productos químicos e insumos en general:

Producto Químico	Descripción	Etapas de Proceso
Formiato de sodio	Brinda suave efecto de desacidulación a bajo valor de pH	Neutralizado
Bicarbonato de sodio	Tiene buena acción de desacidulación	Neutralizado
Curtientes de cromo	Brinda aptitud para la tintura, flor, estabilidad al calor	Recurtido
Curtientes de resinas	Selectivo relleno, flor resistencia	Recurtido
Grasas, aceites sulfitados o aceites de alcoholes	Productos aniónicos con elevada estabilidad a los electrolitos. Es posible una buena penetración del engrase	Engrase

6. Detalle de los servicios públicos

- Consumo de Agua

FUENTE DE AGUA	CONSUMO DE AGUA $\left(\frac{m^3}{año}\right)$	COSTO $\left(\frac{S/.}{año}\right)$
De pozo	9 120	43 200

- **Consumo de Energía**

Eléctrica (Red):

Energía consumida (total): 63,6 MWh/año

Costo Total anual: S/. 91 860

Combustibles:

Diesel: 1 248 galones/año

Costo anual: S/. 22 080

Carbón: 48 000 kg/año

Costo anual: S/. 36 000

- **Descargas Sólidas**

Origen / Descripción	Cantidad $\left(\frac{t}{año}\right)$	Servicio / Destino	Costo / Ingreso $\left(\frac{S/.}{año}\right)$
Recepción de pieles frescas / recortes de cachetes	35,66	Empresa de Comidas / Consumo humano	(+) 17 830
Recepción de pieles frescas / orejas	96,00	Empresa de Aseo Urbano / Relleno Sanitario	(-) 12 960
Descarne / carnaza			
Wet blue / recortes de wet blue			
Pieles en tripa / recortes de piel en tripa, serraje	69,60	Fabricantes de artículos para mascotas / Juguetes caninos	(+) 45 240
Rebajado / Virutas de cromo	36 m ³	Empresa de Aseo Urbano/Relleno Sanitario	(-) 4 200

Fuente: Curtiembre Vanú S.A.C.

7. Descripción del calendario de la curtiembre

- Cantidad de días trabajados durante los últimos 12 meses: 307 días
- Cantidad de turnos por día: 1 Turno
- Cantidad de días por semana: 6 días laborables por semana
- Cantidad de horas por día: 9 horas
- Cantidad de días que se para la planta a fin de año por las fiestas: 2 días
- Cantidad de días que se para la planta por mantenimiento preventivo: ningún día, sólo realizan mantenimiento correctivo.

8. Cuestionario

- ¿Tiene quejas de vecinos?: SI
 - ¿Ha recibido o espera recibir inspecciones de instituciones del Estado?: SI, HAN RECIBIDO INSPECCIONES DEL ESTADO
 - ¿La construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales está incluido dentro de los planes de la empresa?: SI, PERO A LARGO PLAZO.
 - ¿La empresa cuenta con un plan destinado al ahorro de energía?: NO
 - ¿El personal de la empresa ha recibido algún tipo de entrenamiento en relación con la eficiencia energética?: NO
- **3ra. y 4ta. Etapa: Implementación y Seguimiento de las oportunidades de Producción Más Limpia**

Implementación de Medidas de Producción Más Limpia en Curtiembre Vanú

La semana del 22 de abril del presente año se inició trabajos de implementación en los procesos de ribera y curtido con el apoyo de todo el personal de la curtiembre.

1. Medida de PML implementada: **Pre-Descarnado de Pieles Frescas**

Esta medida ha sido implementada en Curtiembre Vanú, en vista de los buenos resultados obtenidos en las pieles en tripa y de los ahorros en el empleo de productos químicos.

Dos personas realizan el recorte de retazos de piel no aptos para el curtido, además, otras dos personas se encargan del descarnado de pieles frescas.

El recorte y pre-descarnado de pieles frescas reduce el peso de las pieles frescas de 37 kg/piel a 31 kg/piel, es decir una reducción aproximada del 16%. Específicamente, el pre-descarnado reduce el peso de las pieles frescas en 2 kg/piel, es decir una reducción de 6% aproximadamente.

Beneficios técnicos, ambientales y económicos:

Las ventajas del pre-descarnado según Curtiembre Vanú son:

- Mejora la penetración de los reactivos químicos durante el remojo y pelambre, debido principalmente a que se reduce la grasa en la piel, además facilita las demás operaciones del curtido.
- Reduce el consumo de reactivos químicos.
- Reduce el contenido de sulfuro, grasa y materia orgánica en el efluente.
- Los residuos del descarnado (2kg por piel) no contienen químicos por lo que se puede vender o regalar como alimento para animales.

A continuación se muestra los ahorros obtenidos por la reducción del peso de las pieles con pre-descarnado:

Tabla 3.28: Reducción de costos con pre-descarnado de pieles frescas, Curtiembre Vanú

Operaciones e insumos usados	Costo por insumo	Dosificación (% sobre el peso de piel)	Reducción para pieles frescas (por cada 1 000 kg de piel fresca se reduce 60 kg de piel)	
			Insumos $\left(\frac{kg}{t\text{ piel}}\right)$	Costos $\left(\frac{S/.}{t\text{ piel}}\right)$
Lavado				
Agua para lavado	S/. 4,74 / m ³	200	120	0,57
sal	S/. 0,19 / kg	2	1,20	0,23
Agua para lavado (1)(2), 2 veces	S/. 4,74 / m ³	400	240	1,14
Remojo				
Agua	S/. 4,74 / m ³	200	120	0,57
Emulsionante	S/. 7,16 / kg	0,35	0,21	1,50
Tensoactivo	S/. 7,00 / kg	0,15	0,09	0,63
Soda cáustica	S/. 2,03 / kg	0,18	0,11	0,22
Bactericida	S/. 10,40 / kg	0,10	0,06	0,62
Pelambre				
Agua (2)(3)	S/. 4,74 / m ³	80	48	0,23
Tensoactivo	S/. 7,00 / kg	0,10	0,06	0,42
Sulfuro	S/. 2,30 / kg	1,90	1,14	2,62
Cal	S/. 0,68 / kg	3,30	1,98	1,35
Agua(1)(2), 2 veces	S/. 4,74 / m ³	200	120	0,57
Total				10,67

Fuente: Curtiembre Vanú S.A.C.

- (1) El consumo de agua está calculado a partir de las recetas de Curtiembre Vanú, ya que este consumo no se mide. Los lavados son a botal con puerta abierta y se ha estimado que un lavado de 10 a 15 minutos corresponde a 200% de agua sobre el peso de las pieles.
- (2) El costo de agua de pozo se ha estimado en S/. 4,74 / m³ en base a las boletas de compra de agua de pozo por cisternas.
- (3) El volumen de agua se expresa en litros.

2. Medida de PML implementada: **Pelambre Enzimático de Pieles Frescas**

Curtiembre Vanú procesa sólo pieles frescas y el tiempo de remojo convencional es muy largo para este tipo de materia prima. Teóricamente, un remojo convencional (proceso sólo con tensoactivos) dura aproximadamente de 1 - 2 horas, pero en la práctica, este tiempo con productos convencionales no es suficiente. Se visitó a varias curtiembres del país que procesan pieles frescas y el tiempo de remojo convencional es de 4 horas, ya que, este tiempo garantiza buena humectación y limpieza de la piel para poder continuar con el siguiente proceso. El proceso de pelambre convencional (sulfuro y cal) toma de 5 – 6 horas, es decir, todo el proceso de remojo y pelambre suman aproximadamente 10 horas, sin tomar en cuenta los tiempos que se emplean en el pesado de productos químicos, controles operativos, lavados, etc.

El horario de trabajo en Curtiembre Vanú es de 8:00am a 5:30pm, es decir, son sólo 9 horas laborables al día. Las pieles frescas llegan a la curtiembre a las 8:00am y están listas para ser lavadas y remojadas a partir del mediodía, luego del pre-descarne. Es por este motivo, principalmente, que no se redujo el tiempo de remojo.

Curtiembre Vanú practicaba el pelambre convencional con sulfuro y cal. Ahora, éste ha sido sustituido por pelambre enzimático debido a que se obtiene una mejor limpieza y abertura de las pieles en tripa, disminuyen el uso del sulfuro de sodio y como los pelos no se destruyen totalmente, es más fácil separarlos de las aguas residuales.

Beneficios técnicos, ambientales y económicos:

- Mejora la calidad de las pieles, brinda mayor limpieza y abertura.
- Reduce el consumo y emisión del sulfuro de sodio y con ello la emisión de malos olores.
- Reduce los sólidos en el efluente.
- Resuelve problemas de resistencia.
- Reduce el costo total del proceso de pelambre, reducción del 30% comparado con el costo del pelambre tradicional.

En la Tabla 3.29 el procedimiento para un pelambre tradicional y un pelambre enzimático para 1 000 kg de pieles vacunas remojadas.

Tabla 3.29: Comparación de formulaciones del proceso de pelambre de pieles frescas vacunas

PELAMBRE TRADICIONAL	PELAMBRE ENZIMÁTICO
80% Agua	60% Agua
0,50% Nonilfenol 6 moles	0,05% Soda cáustica
0,90% Sulfuro de sodio.....60'	0,50% Cal
1,00% Cal.....50'	0,15% Tensoactivo ecológico.....30'
1,00% Sulfuro de sodio.....60'	0,50% Cal
1,00% Cal.....40'	0,07% Proteasa.....40'
1,50% Cal	0,50% Sulfuro de sodio.....90'
0,50% Nonilfenol 6 moles.....60'	0,50% Cal
200% Agua.....20'	0,40% Sulfuro de sodio.....60'
	20% Agua
	1,00% Cal
	0,03% Proteasa.....60'
	150% Agua
	1,00% Cal
	0,10% Tensoactivo ecológico...60'
Automático 5'/h x 10horas	Automático 5'/h x 10horas

Fuente: Curtiembre Vanú S.A.C.

Tabla 3.30: Reducción de costos con pelambre enzimático de pieles frescas vacunas pre descarnadas

PRODUCTO QUÍMICO	Precio ($\frac{S/.}{kg}$)	PELAMBRE TRADICIONAL		PELAMBRE ENZIMÁTICO	
		Dosis (%)	Costo (S/.)	Dosis (%)	Costo (S/.)
Agua	0,005	280	14,00	210	10,50
Cal	0,675	3,50	23,63	3,50	23,63
Soda	2,025	-	-	0,05	1,01
Sulfuro	2,295	1,90	43,61	0,90	20,66
Proteasa (*)	14,094	-	-	1,00	14,09
Nonilfenol	7,155	1,0	71,55	-	-
Tensoactivo (**)	14,607	-	-	0,25	36,52
TOTAL			152,79		106,41

Fuente: Curtiembre Vanú S.A.C.

(*) La proteasa es un agente enzimático, actúa sobre la capa basal, las queratinas débiles de la epidermis y la base del pelo, reduciendo fuertemente la necesidad de sulfuro. Hidroliza los proteoglicanos, ayudando en la apertura de la estructura fibrosa del colágeno.

(**) El tensoactivo empleado en el pelambre tradicional es el nonilfenol etoxilado de 6 moles y el empleado en el pelambre enzimático es un tensoactivo no iónico, libre de nonilfenol etoxilado y rápidamente biodegradable, es decir, ocasiona bajo impacto ambiental en sistemas de tratamiento de efluente.



Fig. 3.32: Comparación física de pieles en tripa con pelambre enzimático (lado izquierdo) y pelambre tradicional (lado derecho), Curtiembre Vanú



Fig. 3.33: Pelo recuperado de los baños de pelambre enzimático, Curtiembre Vanú

3. Medida de PML implementada: **Sustitución de Productos Químicos Contaminantes - Desencalado con Ácidos Orgánicos, Piquelado sin Ácido Sulfúrico y Agotamiento De Cromo**

Curtiembre Vanú realiza la operación de divido después del pelambre de las pieles, en este punto, a las pieles se les denomina Pieles en Tripa.

Según el diagnóstico obtenido en la etapa de curtido, se emplearon productos químicos menos contaminantes para esta etapa.

En la Tabla 3.31, se muestra el procedimiento para un curtido tradicional y un curtido ecológico para 1 000 kg de pieles en tripa.

Beneficios técnicos, ambientales y económicos:

- El empleo del auxiliar de desencalado favorece en la reducción del consumo de sulfato de amonio, por ende, en el efluente habrá menos nitrógeno, menos contaminante.
- El proceso de píquel realizado con ácidos orgánicos complejantes de cromo permite el atravesamiento del cromo en fajas de pH (baño y cuero) significativamente más elevadas que procesos tradicionales. Una de las ventajas relacionadas a esta característica es la reducción del consumo de sal, se logra reducir de 7 a 5% la dosis de sal debido a que el piquelado se realiza con mezclas de ácidos orgánicos, es decir, un ácido más suave que el ácido sulfúrico y fórmico que tienen alto efecto de hinchamiento en las pieles. Esta reducción de sal es importante ya que origina menor impacto ambiental en las aguas de efluentes.
- El empleo del auxiliar de píquel permite también reducir el tiempo de píquel, ya que no es necesario reducir tanto el pH de la tripa como en píquel tradicional.

Tabla 3.31: Comparación de formulaciones del proceso de curtido de pieles vacunas divididas en tripa.

CURTIDO TRADICIONAL	CURTIDO ECOLÓGICO
<p>Lavado: 200% Agua 0,30% Sulfato de Amonio.....20'</p> <p>Desencalado: 50% Agua (sobrante del lavado) 1,70% Sulfato de Amonio 0,20% Bisulfito de Sodio 0,10% Solvente.....60' Purga enzimática.....40' Lavado profundo</p> <p>Píquel: 80% Agua 7,00% Sal.....10' Control °Bé= 6,5</p> <p>0,60% Ácido Fórmico.....30' 1,10%Ácido Sulfúrico.....60' Corte pH= 2,8</p> <p>Curtido: 7,00% Cromo.....2hr.</p> <p>Basificación: 0,40% Óxido de Magnesio...10 hrs. 0,10% Fungicida.....60'</p>	<p>Lavado: 200% Agua 0,20% Sulfato de Amonio.....20'</p> <p>Desencalado: 30% Agua (sobrante del lavado) 0,90% Sulfato de Amonio 0,50% Auxiliar de desencalado 0,10% Tensoactivo ecológico..45' Purga enzimática.....40' Lavado profundo</p> <p>Píquel especial: 50% Agua 5,00% Sal.....10' Control °Bé= 5,5</p> <p>0,90% Ácido Fórmico.....30' 0,80% Auxiliar para píquel.....30' Corte pH= 3,5</p> <p>Curtido: 6,00% Cromo.....90'</p> <p>Basificación: 0,25% Óxido de Magnesio.....8 hrs. 0,10% Fungicida.....60'</p>

Fuente: Curtiembre Vanú S.A.C.

Tabla 3.32: Comparación de costos del curtido tradicional y ecológico.

PRODUCTO QUÍMICO	Precio ($\frac{S/.}{kg}$)	CURTIDO TRADICIONAL		CURTIDO ECOLÓGICO	
		Dosis (%)	Costo (S/.)	Dosis (%)	Costo (S/.)
Agua ^(a)	0,005	600	30,00	600	30,00
Sulfato de Amonio	1,890	2,00	37,80	1,10	20,79
Bisulfito de Sodio	1,944	0,20	3,89	-	-
Aux. Desencalado ^(b)	8,640	-	-	0,50	43,20
Solvente ^(c)	5,400	0,10	5,40	-	-
Tensoactivo	14,850	-	-	0,10	14,85
Purga	7,290	0,04	2,92	0,04	2,92
Sal	0,189	7,00	13,23	5,00	9,45
Ácido Fórmico	3,240	0,60	19,44	0,90	29,16
Ácido Sulfúrico	1,188	1,10	13,07	-	-
Auxiliar Píquel ^(d)	-	-	-	0,80	69,12
Cromo	4,563	7,00	319,41	6,00	273,78
Fungicida ^(e)	24,570	0,10	24,57	0,10	24,57
Óxido de Magnesio	5,157	0,40	20,63	0,25	12,89
TOTAL			490,36		530,73

Fuente: Curtiembre Vanú S.A.C.

- (a) Se considera 2 lavados de 200% cada uno en los lavados profundos después de la etapa de purgado.
- (b) El auxiliar de descalcado es un agente descalcante libre de nitrógeno, recomendado para todo tipo de pieles, el descalcante reacciona con el calcio libre y calcio ligado a la piel formando sales altamente solubles en el agua, aumentando la eficiencia del descalcado y reduciendo el riesgo de la formación de sales de calcio insolubles en las etapas posteriores.
- (c) El desengrasante utilizado en el curtido convencional es base solvente de petróleo, principalmente querosene.
- (d) El auxiliar de píquel es un producto líquido a base de ácidos orgánicos complejantes de cromo.

- Reducción del tiempo de curtido, la capacidad complejante de cromo del auxiliar de píquel contribuye para una mejor distribución del metal a lo largo del espesor del cuero.
- Reducción del empleo de basificante y tiempo del basificado.

Como se puede observar en la Tabla N° 3.32, el costo del curtido ecológico es mayor que el costo del curtido tradicional, pero, también se debe tomar en cuenta los siguientes beneficios que se atribuyen al curtido ecológico:

- ✓ Aumento de productividad, se reduce el tiempo total de curtimiento.
- ✓ Menor riesgo de pérdida de resistencia de los cueros ya que se elimina el empleo del ácido sulfúrico.
- ✓ Mayor seguridad operacional, causada por eliminación del ácido sulfúrico.
- ✓ Menor impacto ambiental, reducción del consumo de cloruro de sodio.
- ✓ Mayor facilidad de gerenciamiento técnico del proceso, no es necesario controlar atravesamiento de píquel.
- ✓ Mejor fijación del cromo, por ende, baños más agotados (Ver Tabla 3.33).
- ✓ Wet Blue con tonalidades más azuladas y uniformes.

- ✓ Menor riesgo de manchas causadas por basificación, reducción del consumo de basificantes.
- ✓ Mejor distribución / fijación de colorantes en recurtimiento, debido a mejor distribución del cromo a lo largo de la espesor del cuero.

Se tomaron 4 muestras de wet blue de diferentes lotes realizados con curtidos tradicionales y ecológicos y se realizaron los siguientes análisis en el laboratorio de Buckman:

Tabla 3.33: Análisis fisicoquímico de muestras de wet blue, Curtiembre Vanú

Análisis	Unidad	CURTIDO TRADICIONAL	CURTIDO ECOLÓGICO
Calcio	% CaO	0,95	0,29
Cromo	% Cr ₂ O ₃	3,50	4,12
Solubles en diclorometano	%	0,55	0,62
pH	---	3,80	3,86

Fuente: Buckman Laboratories

- Seguimiento de la Implementación de PML: Mejoras en el Desempeño de la Curtiembre Vanú según Indicadores antes y después de Implementar las recomendaciones de PML

Los resultados son medidos a través de indicadores como la reducción en la cantidad de desechos o de contaminación generada, la reducción en el consumo específico de materias primas, energía y agua, la reducción de costos de producción y el incremento de las utilidades. Una vez medida la implementación se debe volver a identificar las oportunidades de mejora y formular las recomendaciones.

Tabla 3.34: Indicadores de desempeño y porcentaje de reducción, Curtiembre Vanú

Indicador de desempeño	Antes	Después	Reducción	% Reducción
Consumo de agua (m ³ /tonelada piel fresca)	2,80	2,10	0,70	25,00
Consumo de sulfuro de sodio (kg/tonelada piel fresca)	19,00	9,00	10,00	52,63
Consumo de nonilfenol (kg/tonelada piel fresca)	10,00	0,00	10,00	100,00
Consumo de sulfato de amonio (kg/tonelada piel fresca)	20,00	11,00	9,00	45,00
Consumo de solvente (kg/tonelada piel fresca)	1,00	0,00	1,00	100,00
Consumo de sal (kg/tonelada piel fresca)	70,00	50,00	20,00	28,57
Consumo de sales de cromo (kg/tonelada piel fresca)	70,00	60,00	10,00	14,29

❖ **Identificación de nuevas oportunidades de mejoras y recomendaciones a Curtiembre Vanú:**

1. Cambio de Procedimiento: **Determinación correcta del peso de las pieles en todo el proceso**

- Reduce el consumo de agua.
- Reduce la generación de aguas residuales.
- Reduce el consumo de productos químicos.
- Reduce los productos químicos en los efluentes.

2. Cambio de Procedimiento: **Eliminación de sulfuros en los efluentes**

- Reduce malos olores.
- Cumplimiento con las leyes ambientales.

3. Buenas prácticas:

- Limpieza periódica de las instalaciones para controlar problemas de olores.
- Programas de mantenimiento preventivo a los equipos y máquinas de la curtiembre.

IV. CONCLUSIONES

- ☒ Las curtiembres, desde un enfoque ambiental, es una industria de subproductos, que en términos globales es una industria descontaminante, ya que su función es preservar de la putrefacción y dar un uso, socialmente importante, a los cueros de animales cuando estos son beneficiados para obtener su producto principal, la carne.
- ☒ Para empezar a mejorar ambientalmente las operaciones del proceso de curtido se debe concientizar al personal y debe existir un compromiso de la gerencia de la curtiembre.
- ☒ Realizar el pre descarte de pieles frescas o remojadas es una buena técnica de producción más limpia ya que mejora la penetración de los reactivos químicos durante el remojo y pelambre, debido principalmente a que se reduce la grasa en la piel, además facilita las siguientes operaciones del curtido.
- ☒ La etapa de pelambre constituye sin duda la mayor aportación a la contaminación neta de las curtiembres, hasta el momento, la mejor operación limpia es realizar esta etapa conservando el pelo o lana, es decir, utilizar lo menos posible de sulfuro de sodio en esta etapa.
- ☒ Recircular los baños de pelambre, previo tratamiento, es una excelente opción de operación más limpia, pero, se necesita de una inversión económica y controles correspondientes durante esta operación
- ☒ Con respecto al desencalado, la operación económicamente viable es el empleo de ácidos orgánicos libres de nitrógeno.

- En la curtición, agotar el cromo en los baños es la mejor alternativa económicamente viable. El agotamiento del cromo se logra con un buen control de temperatura y pH en la etapa de basificado y si es posible con el empleo de productos complejantes de cromo.
- Generalmente, la adopción de medidas de producción más limpia pueden tener un costo inicial debido al precio de los equipos involucrados y a la probable baja de productividad, asociada a un período de pruebas y entrenamiento al personal. Sin embargo, a la larga, no tan sólo se logra disminuir la carga contaminante, sino que en la mayoría de los casos se consiguen efectos positivos en la productividad y por ende, en la rentabilidad de la producción.
- La mala condición económica de la industria curtidora peruana, debe enfrentar la contaminación de sus residuos industriales, y de acuerdo a los valores máximos admisibles de los parámetros fisicoquímicos y biológicos de los residuos líquidos, esta industria tiene la gran necesidad de incorporar muchas de las técnicas de producción más limpia para prevenir o disminuir la contaminación, a pesar de ser indispensable un intensivo uso de tecnologías de tratamientos “al final del proceso”.
- Tener presente que por lo general, las tecnologías asociadas a la prevención de la contaminación en curtiembres son de bajo costo de implementación y aplicación, además, produce ahorros en costos de producción y mejoras en la calidad del producto final. Llama la atención que con estas características, este tipo de tecnologías tenga a la fecha una bajísima difusión al interior de las curtiembres peruanas, no siendo una excepción los casos en que el empresario está dispuesto a hacer mayores inversiones “al final del proceso” a condición de no tocar el proceso productivo. Esto se debe generalmente a

que se teme la posibilidad de que la calidad del producto final pueda verse afectada.

- En cuanto a las técnicas “al final del proceso”, se sabe que por su alto costo de implementación y ante la baja rentabilidad del mercado de cueros, en la mayoría de los casos se está esperando el último momento para cumplir con los requisitos impuestos por la normativa, no siendo inexistentes las empresas que se plantean cerrar sus actividades en ese momento. Esto último, no deja de tener importancia considerando que el rubro del cuero es altamente intensivo en mano de obra, tanto en las curtiembres, como en los mataderos y talleres de fabricación de calzado.

V. RECOMENDACIONES

- Optimizar el uso de productos químicos en el proceso de curtido para reducir la contaminación en las aguas residuales de las curtiembres. Baños cortos permiten la reducción del uso de productos químicos.
- Difundir el tema de producción más limpia para motivar a la industria curtidora a la aplicación del principio de minimización dentro de su proceso productivo. Para ello, es necesario una intensa y permanente actividad de divulgación de información por parte de los centros competentes.
- Los altos costos de tratamiento vía “al final del proceso” serían mucho mejor si existiera la posibilidad de hacer tratamientos conjuntos, lo que por factor de economías de escala, resulta mucho más adecuado. Esto presupone, o bien una proximidad física de un número de curtiembres, o bien el traslado a una planta común de las secciones ribera y curtido, lugares donde se concentra la mayor contaminación. Esta última posibilidad implica una abierta forma de asociatividad, por ello, ya existen parques industriales en Arequipa y Trujillo donde están ubicadas las curtiembres pero aún no realizan tratamiento a sus efluentes. Realizar prácticas de producción más limpia en cada curtiembre ayudará a reducir la contaminación de sus aguas residuales, por ende, reducirán los costos por tratamiento de dichas aguas residuales.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aloy, M. et al, (1976), “Tannerie et Pollution”, Centre Technique du Cuir, Lyon, Francia.
- Bacardit, A y Ll. Ollé. (2002), “Maquinaria de curtidos”, Ed. EUETII-UPC. Igualada 279 pp.
- CITEccal (2007), “Pelambre y Curtido al Cromo con Tecnologías Limpias”.
- De Torso Jost P., (1990) “Tratamiento de Efluente de Curtiembre”. Confederación Nacional de la Industria, Río de Janeiro, Brasil.
- Duffy, Noel; Mc Carthy, Colman; Zmarkoehrer, Matthias. (1993) “Environmental Benchmarking for IPC Industries”.
- J.M. Adzet, (1985), “Química Técnica de Tenería”, Igualada – España.
- Morera I Prat, Josep, “Química Técnica de Curtición”. Universidad Técnica de Catalunya.
- Salmerón, J. (1995). “Generación y tratamiento de residuos en la industria del curtido de Valencia”.
- Thorstensen, Thomas C. (1997). “Fundamentals of Pollution Control for the Leather Industry”.
- Veleva, V., Ellenbecker, M. (2001) “Indicators of sustainable production: framework and methodology”
- www.digesa.sld.pe/publicaciones/descargas/MANUAL%20TECNICO%20RESIDUOS.pdf

VII. APÉNDICE

ANEXO N° 1:

Parámetros sobre los cuales, se hará el pago adicional por exceso de concentración de los parámetros fijados en el Anexo N° 1 del DS N° 021 – 2009 – VIVIENDA, según metodología aprobada por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS).

Tabla 7.1: Anexo N° 1, VMA para descargas al sistema de alcantarillado.

PARÁMETRO	VMA	UNIDAD
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	500	mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	1000	mg/l
Sólidos Suspendidos Totales (S.S.T)	500	mg/l
Aceites y Grasas (A y G)	100	mg/l

Fuente: D.S. 021 – 2009 – VIVIENDA

ANEXO N° 2:

En caso de ser sobrepasados estos parámetros, SE SUSPENDERÁ EL SERVICIO DE ALCANTARILLADO SANITARIO DEL USUARIOS NO DOMÉSTICO.

Tabla 7.2: Anexo N° 2, VMA (1) para descargas al sistema de alcantarillado.

PARÁMETRO	VMA	UNIDAD
ALUMINIO	10,00	mg/l
ARSÉNICO	0,50	mg/l
BORO	4,00	mg/l
CADMIO	0,20	mg/l
CIANURO	1,00	mg/l
COBRE	3,00	mg/l
CROMO HEXAVALENTE	0,50	mg/l
CROMO TOTAL	10,00	mg/l
MANGANESO	4,00	mg/l
MERCURIO	0,02	mg/l
NÍQUEL	4,00	mg/l

PLOMO	0,50	mg/l
SULFATOS	500,00	mg/l
SULFUROS	5,00	mg/l
ZINC	10,00	mg/l
NITRÓGENO AMONICAL	80,00	mg/l
pH	6 - 9	
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	8,50	mg/l
TEMPERATURA	< 35	°C

Fuente: D.S. 021 – 2009 – VIVIENDA

- (1) La aplicación de estos parámetros a cada actividad económica por procesos productivos, será precisada en el reglamento de la presente norma tomando como referencia el código CIU.

La Clasificación Internacional Industrial Uniforme (CIU), referida a las actividades económicas productivas, para establecer los parámetros debe ser monitoreados en las descargas de los usuarios no domésticos.

En la CIU 1911, Curtido y Adobo de Cueros y Adobo y teñido de pieles, los parámetros a monitorear son:

Demanda Biológica de Oxígeno, DBO₅

Demanda Química de Oxígeno, DQO

- Sólidos Suspendidos, SS
- Aceites y Grasas, A y G
- pH
- Temperatura
- Sólidos Disueltos, SD
- Cromo Total, Cr
- Cromo Hexavalente, Cr⁺⁶
- Amonio, NH⁺⁴
- Sulfato, SO⁺⁴
- Sulfuro, S⁻²