

GESTIÓN DE RESIDUOS EN CURTIEMBRES DE LA PROVINCIA DE SALTA

W.A. Tejerina¹, V.I. Liberal¹, M.A. Iribarnegaray² y L. Seghezzeo³

Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO, UNSa – CONICET),
Av. Bolivia 5150, A4400FVY, Salta, Argentina
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta (UNSa). Avda. Bolivia 5150, A4408FVY Salta, Argentina. Tel. +54-387-4255516; E-mail: w_tejerina@hotmail.com

Recibido: 14/9/13; Aceptado: 22/09/2013.

RESUMEN.- La existencia de residuos y contaminación puede ser considerada como un indicador de ineficiencia de un proceso, que se traduce en pérdidas de recursos, pérdidas económicas, peores condiciones de trabajo y daño al entorno. El objetivo de este trabajo es identificar y cuantificar los residuos sólidos y líquidos de curtiembres de la provincia de Salta. Para la caracterización se recopilieron los datos y registros obtenidos en dos industrias. Se registraron las entradas y salidas para los procesos de Curtido vegetal y Curtido mineral. El consumo de productos químicos para curtido vegetal fue de 725,9 kg/tn_{phs} (tonelada de piel húmeda salada) y de 723,7 kg/tn_{phs}, mientras que el consumo de reactivos para curtido al Cromo fue de 540 kg/tn_{phs}. Por cada tonelada de piel se requieren entre 30 y 35 m³ de agua. El volumen de efluentes registrado para el proceso de curtido vegetal fue de 25,7 m³/tn_{phs} y la cantidad de residuos sólidos se estimaron en 579,7 kg/tn_{phs}.

Palabras claves: curtiembre, residuos sólidos, efluentes, consumo de agua

TANNERYWASTE AND WASTEWATER MANAGEMENT IN SALTA PROVINCE, ARGENTINA

ABSTRACT.- The production of wastes and pollution can be seen as an indicator of process inefficiency. This inefficiency generates losses, deteriorates working conditions, and damages the environment. The objective of this work was to identify and quantify solid wastes and wastewater produced in tanneries located in the province of Salta, Argentina. We gathered information about the production process in two tanneries. We monitored inputs and outputs for both vegetable and mineral tanning processes. Consumption of chemical products was 725.9 and 723.7 kg/ton of wet (and salty) hides for vegetable and mineral tanning, respectively. Additionally, mineral tanning consumed about 540 kg/ton of hides of other chemical reagents. Around 30 to 35 m³ of water were required per ton of wet hides in both processes. Wastewater generated during vegetable tanning was 25.7 m³/ton of wet hides, while solid wastes amounted to 579.7 kg/ton of wet hides.

Keywords: tanning, solid waste, wastewater, water consumption

1. INTRODUCCIÓN

Los problemas que tiene en la actualidad la industria de curtiembres son muy variados, siendo imprescindible para su viabilidad no sólo la optimización de los procesos y tecnologías de fabricación, sino también un adecuado control de sus impactos ambientales (Vidal y Méndez, 2007). La exigencia para que las empresas contribuyan a la protección ambiental, ha pasado de ser una obligación regulatoria a un requisito de acceso a los mercados, provocando que las industrias, comercios y organizaciones de servicios, busquen alternativas para mejorar su desempeño y mantener su competitividad.

La prevención de la contaminación constituye el pilar fundamental del concepto de Gestión Integrada de Residuos.

La existencia de residuos y contaminación puede ser considerada como un indicador de ineficiencia de un proceso, que se traduce en pérdidas de recursos, pérdidas económicas, peores condiciones de trabajo y daño al entorno.

Uno de los principales motivos para implementar un concepto de prevención en una empresa son los beneficios económicos que se pueden obtener (Lorber, 2007). En general, un contaminante no es más que un recurso fuera de lugar. Las industrias que lo generan son forzosamente menos eficaces, ya que emplean procesos o tecnologías que producen emisiones o residuos, es decir, que ocupan más recursos y energía, resultando en costos adicionales que disminuyen su productividad o competitividad. (Fernández, 2001). Así, el objetivo de cualquier industria con perspectiva de futuro debe ser: obtener productos de máxima calidad a un costo razonable, produciendo la mínima contaminación posible, con mínimo consumo de agua y, recuperando y reciclando todos los subproductos o residuos posibles.

¹ Prof. Adj. Fac. de Ingeniería (UNSa),

² Becario Postdoctoral (CONICET),

³ Investigador Adjunto CONICET

Existen diversas estrategias o metodologías que persiguen materializar este propósito. Un enfoque de gestión ambiental se presenta mediante la Producción Más Limpia (PML), que busca evitar 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.

El curtido es el proceso de transformación de la piel del animal (un recurso natural) en cuero (un material de mercado utilizado en la fabricación de una amplia gama de productos). El objetivo del proceso de curtido es estabilizar el colágeno de la piel mediante agentes curtientes minerales o vegetales. Las distintas propiedades físicas y químicas de las proteínas que constituyen la piel, utilizadas en forma apropiada, hacen que ésta se transforme en cuero. Las operaciones necesarias para llegar a obtener cueros aptos para sus usos corrientes consisten básicamente en tres etapas: **ribera, curtido y terminación**. Existen algunas variaciones según sea el tipo de piel, la tecnología disponible y las características finales a conseguir en el cuero.

En la figura 1 se esquematizan las diferentes etapas de la industria de curtiembre, mediante las cuales las pieles de los diferentes animales son convertidas en cuero. Cada etapa cumple sus objetivos para el grado de procesamiento de la piel, necesitando materias primas (agua, reactivos químicos, energía, etc.) y generando residuos con un elevado número de contaminantes, en cantidades variables, dependiendo esencialmente de la materia prima, proceso de manufactura y producto final buscado. Los desechos se pueden generar en estado gaseoso, líquido o sólido. Todos ellos requieren algún tipo de tratamiento para disminuir el impacto que puedan generar al medio ambiente y cumplir con la legislación ambiental vigente en los lugares de emplazamiento de cada industria.

Las curtiembres que operan en la provincia de Salta realizan fundamentalmente curtido vegetal y al cromo de bovinos, ovinos y caprinos, estimándose que más del 80% de la producción corresponde a pieles de vacuno. En cuanto a las curtiembres locales evaluadas, una presenta la particularidad de manufacturar el 70 % de su producción, incluyendo la elaboración de productos de talabartería y marroquinería tradicional, forros para calzado (taninos) y productos para vestimenta y calzado (cromo). La otra curtiembre destina la totalidad de su producción de cueros curtidos al tanino al mercado externo de calzado.

1.1 Antecedentes del sector.

El proceso de transformación de las pieles en cuero se caracteriza por su excesivo consumo de agua. En función del tipo de proceso y de las medidas de ahorro de agua implementadas, se consumen entre 20 y 100 m³ de agua por tonelada de piel bruta salada procesada. De acuerdo a lo reportado por Lorber *et al.* (2007) los mayores consumos se presentan en los países en vía de desarrollo. En base a un balance de materia aplicado al proceso de fabricación de cuero, Konrad *et al.* (2002) indican que por cada tonelada de piel húmeda salada, se utilizan alrededor de 496 kg de compuestos químicos y unos 62 m³ de agua, obteniéndose alrededor de 385 kg de producto y generando 734 kg de residuos sólidos y 57 m³ de agua residual. La diferencia de agua entre la entrada y salida se debe a la evaporación durante las etapas de secado. El agua residual presenta alto contenido de materia orgánica, hasta 5000 mg/l de DQO

(Demanda Química de Oxígeno), altas concentraciones de nitrógeno y sales inorgánicas como cloruros, cromo y sulfuros.

Muchos autores han realizado una caracterización profunda de las diferentes corrientes de efluentes de curtiembres (Tunayet *al.*, 1995; Orhonet *al.*, 1999; Rivelaet *al.*, 2002; Farfán, 2007). Durante el tratamiento fisicoquímico de las aguas residuales, se produce la eliminación de parte de la materia orgánica presente, siendo el proceso de lodos activados, el tratamiento más utilizado para este tipo de aguas.

El proceso de curtido se caracteriza además por la generación de una importante cantidad de residuos sólidos. Se estima que cerca del 60% del peso de las pieles que ingresa a la curtiembre son eliminadas como residuo, ya sea en las aguas residuales o con los residuos sólidos. Cerca del 15% del peso total de la piel se descarga en las aguas residuales principalmente en la forma de grasas, pelo degradado y fibras. Estos últimos son los responsables del lodo generado en las empresas que poseen planta de tratamiento de residuos líquidos (Cueronet, 2012).

1.2. Objetivos.

El objetivo de este trabajo es identificar y cuantificar los residuos sólidos y líquidos de curtiembres de la provincia de Salta, Argentina, mediante el estudio de los procesos de curtido que se llevan a cabo y el análisis de los distintos flujos contaminantes originados con el propósito de formular alternativas eficientes para su reciclado, minimización ó eliminación segura.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para abordar la caracterización del proceso de curtido, se recopilaron los datos y registros obtenidos en dos plantas industriales, para definir en forma genérica los flujos de materia para dos tipologías de proceso de curtido: Curtido vegetal con taninos y Curtido mineral con sales de cromo. Se elaboraron diagramas de flujo genéricos del proceso, y se registraron las entradas y salidas (consumos de agua, consumos de productos químicos, generación de aguas residuales e inventarios de residuos sólidos). A fines de describir genéricamente el proceso de curtido y resguardar la identidad de las empresas, se empleó como nomenclatura para diferenciar las curtiembres analizadas las letras A y B.

Todos los datos fueron referidos al procesamiento de una tonelada de piel bruta, húmeda y salada ($t_{n_{pbs}}$). Esta base de cálculo tiene la ventaja de que permite la comparación de todas las corrientes, sobre la base de las pieles que se procesan diariamente. Los consumos específicos de agua, materias primas, etc. se cuantificaron sobre la base del diagrama de flujo, identificando las corrientes de recirculación y corrientes residuales generadas. En general, los consumos de agua, de reactivos y los residuos generados fueron recogidos mediante el seguimiento de varios lotes (al menos 3 operaciones unitarias o batch), y posteriormente se calcularon los valores medios. En casos en que los datos no se ajustaban a la media, se procedía a su revisión con el apoyo del personal del sector bajo análisis. Así, los datos genéricos de entrada/salida se obtuvieron eliminando aquellos datos que no se consideraban representativos (demasiado elevados, demasiado bajos o que no se correspondían con el balance de materia).

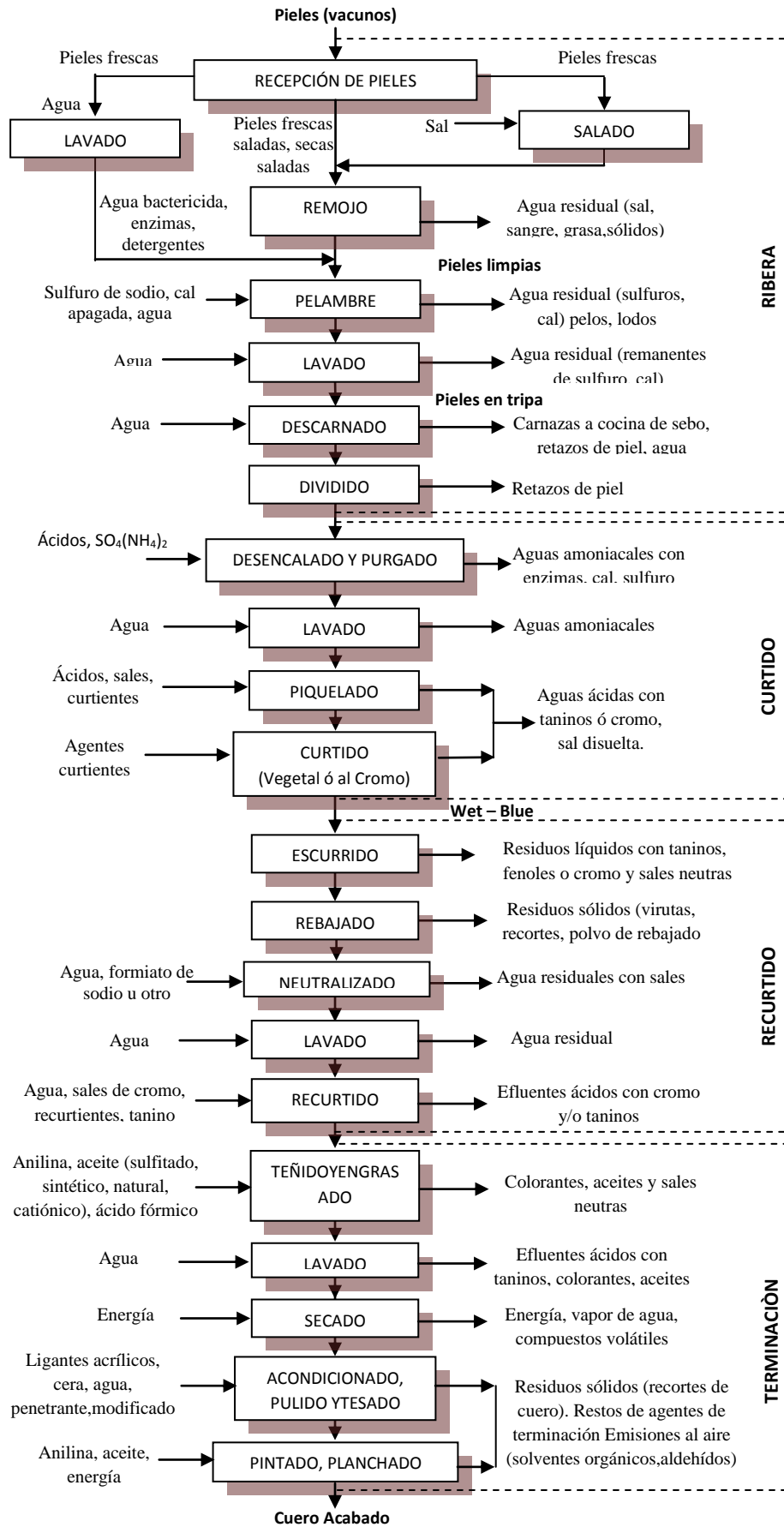


Fig.1: Esquema del Proceso de Curtido. Fuente: CNPMLTA (2004). Adaptado a las condiciones de las curtiembres evaluadas.

Se debe resaltar que la sistematización de los flujos de materia en las plantas de curtido, no es una tarea sencilla de abordar debido a que, aún para el mismo tipo de curtido, existen variaciones importantes de las corrientes en función del tipo de artículo buscado y del corte de cuero procesado.

El consumo de agua se determinó en las etapas donde se encuentran los mayores consumos, utilizando los porcentajes peso de agua/peso de piel reportados en las formulaciones de proceso y mediciones existentes.

La cuantificación del consumo de productos químicos se efectuó por etapa de producción (ribera, curtido, recurtido y terminación) y fueron expresados en kg/tn_{phs}, sin precisar tipo de producto, marcas o efectos ejercido en la piel o cuero. Para el cálculo se utilizaron los consumos mensuales registrados, contrastando los valores generales con el tipo de piel procesada por lote y calculando el peso de productos químicos necesarios para cada etapa de acuerdo a la formulación empleada para dicho lote.

Para el cálculo de la cantidad de residuos sólidos generados se realizó un inventario de residuos sólidos, identificando el destino que se da a cada tipo de residuos con el fin de catalogar los subproductos y residuos propiamente dichos. La cuantificación de residuos sólidos se realizó identificando las etapas de mayor generación. Siempre que fue posible, los datos fueron recogidos mediante el seguimiento de al menos 3 cueros por proceso y posteriormente se calcularon valores medios que se extrapolaron a la unidad de procesamiento vinculada.

Para la comparación de los datos procedentes de las dos plantas, el proceso de transformación de la piel en cuero dividió en tres secciones: Ribera, Curtido (Curtido/Recurtido) y Terminación. Se añadió una sección adicional de "otros" que agrupa todos los consumos que no pudieron ser atribuidos directamente a estas secciones (por ejemplo, operaciones de limpieza, efluentes domésticos, mantenimiento).

Para analizar o identificar la importancia de algunas entradas o salidas, las secciones se subdividieron en las operaciones unitarias que las conforman. Así, en la sección de ribera se analizaron las operaciones de: remojo, pelambre, descarnar y dividido.

Los valores obtenidos por tonelada de piel húmeda salada fueron comparados con valores de referencia existentes en la bibliografía para definir el rendimiento actual de la industria, identificar las oportunidades de mejora y apreciar el impacto de los cambios propuestos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Consumo de productos químicos.

A lo largo del proceso de curtido se emplea una gran variedad de productos químicos. Todos ellos son añadidos en relaciones de peso respecto al peso de piel procesado en cada lote. Bactericidas, surfactantes, humectantes y soda solvay son aditivos característicos de la etapa de ribera. El sulfuro de sodio y la cal son los compuestos principales en el proceso de eliminación de pelo. La cal residual se elimina con sulfato de amonio en la etapa de descalcado. Los agentes curtientes (taninos y sales de cromo) se añaden en la

etapa de curtido. Finalmente en la etapa de terminación se utilizan engrasantes, solventes y tintas.

El consumo de reactivos químicos de la Curtiembre A se calculó, considerando los requerimientos estándar de cada reactivo químico según la fórmula de procesamiento empleada para cada lote y se corroboraron con los informes de consumo mensual de reactivos o control de stock para reposición que efectúa la empresa.

Como se puede observar en la figura 2, en la Curtiembre A, el consumo total es de 725,9 kg de reactivos químicos por tonelada de piel procesada, siendo las etapas de la sección Curtido las que mayor cantidad de reactivos requieren durante el procesamiento. En dicho sector, la operación de Descalcado emplea en promedio unos 188,5 kg/tn_{phs}, mientras que el proceso de Curtido propiamente dicho presenta un consumo medio de 361,5 kg/tn_{phs}.

En la Curtiembre B, los consumos totales de reactivos ascienden a 540 kg/tn_{phs} para el proceso de curtido al Cromo y a 723,7 kg/tn_{phs} para el curtido vegetal.

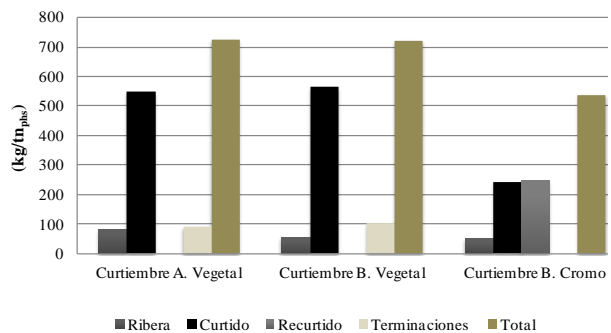


Fig.2: Kg reactivos empleados por tonelada de piel procesada.

Los resultados de curtido mineral son similares a los reportados por Lorber (2007) quien indica en base a la evaluación de cinco curtiembres chilenas que efectúan curtido al Cromo, que el consumo medio de productos químicos del proceso es de aproximadamente 442 kg/tn_{phs}, de los cuales: 55 kg/tn_{phs} se consumen en la sección Ribera, 187 kg/tn_{phs} corresponden al consumo medio de la sección curtido, en la sección Recurtido el consumo está en torno a los 149 kg/tn_{phs}, y 51 kg/tn_{phs} corresponden a la sección Terminaciones. También indica que los valores reportados para las secciones de terminaciones, recurtido y curtido deben ser considerados sólo como referencia, puesto que mostraron grandes desviaciones.

Por otro lado, Konrad *et al.* (2002) en base a la evaluación de 2 curtiembres chilenas reportan un consumo medio de reactivos químicos de 391 kg/tn_{phs} para procesos de curtido al Cromo.

Los consumos de reactivos para el curtido vegetal fueron superiores a los escasos datos existentes en la bibliografía. El único reporte que contempla el curtido vegetal y mineral de cueros vacunos es la Guía de mejores técnicas disponibles en España del sector de curtidos (2003), la cual indica un consumo promedio de 400 a 600 kg/tn_{phs} pero no otorga mayores detalles.

Los resultados obtenidos en las curtiembres locales ponen en evidencia que los consumos de reactivos en el proceso de curtido vegetal son sustancialmente mayores a los empleados para el proceso de curtido mineral. La diferencia en el consumo de la Curtiembre B (723,7 kg) con respecto a la Curtiembre A (725,9 kg) no se considera significativa.

Una situación diferente se evidencia cuando se comparan los resultados de curtido mineral de la Curtiembre B con los valores reportados en bibliografía, ya que a nivel global, se observa un consumo entre el 9 y 22% superior. El análisis de los consumos por sector pone de manifiesto que el exceso de insumos se presenta en el sector Curtido, el área más crítica por la peligrosidad de los reactivos.

3.2. Consumo de agua.

Las curtiembres analizadas en el presente trabajo no cuentan con caudalímetros que permitan contabilizar los consumos individuales de cada etapa. Los únicos registros disponibles corresponden a los totalizadores de consumo de las bombas.

Para el cálculo de los volúmenes de agua empleados por etapa en la Curtiembre A, se consideraron los porcentajes peso agua/peso de piel indicados en las formulaciones de proceso para cada lote de piel, en cada etapa del proceso. En base a esto, se determinó que en dicha unidad operativa, el consumo de agua para proceso es de 22,8 y 24,0 m^3/t_{phs} según la fórmula empleada. Dado que la diferencia es pequeña, se asume que los consumos oscilaran entre estos valores en función de la fórmula que predomine durante la operación. En la **Fig.** se presentan los consumos obtenidos por etapa del proceso. Queda en evidencia que independientemente de la fórmula empleada, el consumo de agua en la etapa de desencalado (sector curtido) es la más significativa de todas.

En la Curtiembre B no fue posible la estimación del consumo de agua en base a porcentajes de masa de piel debido a que no fueron confiadas las fórmulas empleadas. No obstante, los responsables de proceso estiman un consumo global inferior a 30 y 35 m^3/t_{phs} según se procesan pieles mediante curtido vegetal o mineral.

Conflero (1984) mediante el análisis de los procesos de transformación de la piel con curtido mineral en una curtiembre italiana, reporta un consumo total del proceso es de 31,5 m^3/t_{phs} , siendo la etapa de desencalado la de mayor significación en cuanto al consumo. Esto es coincidente con los datos obtenidos para curtido vegetal; sin embargo, los consumos en las etapas de remojo y pelambre presentan un uso más extensivo.

Lorber (2007) en base al análisis de cinco plantas de curtido mineral, reporta consumos generales de agua de proceso de 24 m^3/t_{phs} , 18,7 m^3/t_{phs} , 12,5 m^3/t_{phs} , 14,7 m^3/t_{phs} y 11,6 m^3/t_{phs} . Asimismo, indica un consumo medio de agua de 13 m^3/t_{phs} para la tecnología de fulón en la etapa de Ribera. En la sección de Curtido el consumo medio es de 7 m^3/t_{phs} para tecnología de fulón, en la etapa de recurtido estima un consumo de 5 m^3/t_{phs} y en la etapa de terminaciones cuantifica un consumo de 0,3 m^3/t_{phs} .

Se debe resaltar que Lorber considera otras fuentes de consumo en el proceso de curtido que las engloba bajo la denominación genérica de "Otros". Estas fuentes son el agua de alimentación a caldera, agua de lavado de planta y el

agua de la maquinaria. En dicha bibliografía se referencian consumos de 10-15 m^3/t_{phs} para agua de limpieza y un consumo de agua para la maquinaria del proceso con un amplio rango en función de la tecnología, reportándose datos que varían entre 5 y 22 m^3/t_{phs} , pudiéndose considerarse representativo un valor de 15 m^3/t_{phs} . En la figura 3 se presentan gráficamente los datos obtenidos y reportados.

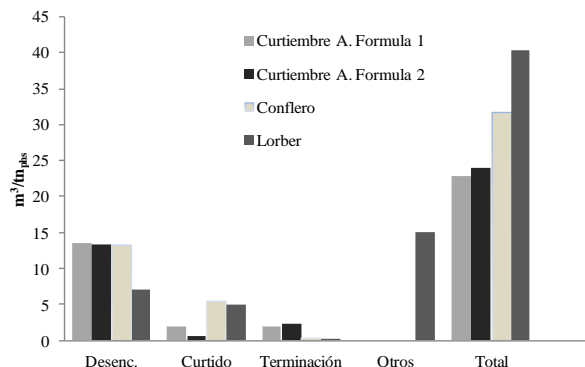


Fig.3: Resumen de datos obtenidos y reportados de consumos de agua.

Es evidente que existe un amplio rango de variación en el consumo de agua de diferentes plantas, ligado al tipo de tecnología y a las condiciones trabajo. No obstante, los valores totales de consumo reportados en bibliografía presentan similitudes con datos obtenidos en las plantas bajo análisis, aún cuando los consumos por etapas presentan diferencias.

Se debe tener presente que en las curtiembres locales, las descargas de los fulones en la etapa de Ribera se realizan directamente sobre el piso para que estas fluyan por gravedad hacia las canaletas de desagüe. Así, las descargas de los lavados de las pieles en el interior de los fulones, cumplen la función de lavado de instalaciones que en otras plantas se efectúa con agua nueva o fresca. Es decir, gran parte de los 10 - 15 m^3 reportados por Lorber como agua de limpieza, están repartidos y contabilizadas en las diferentes etapas. Si bien, Conflero no aclara esta situación, por las cantidades reportadas se asume que cada etapa incorpora el agua de lavado necesaria para limpieza de instalaciones y equipos.

El menor consumo de agua en la etapa de curtido, podría atribuirse a que la empresa analizada realiza curtido vegetal en piletas, cuyos líquidos son reutilizados parcialmente y no descartados como en la tecnología de fulón empleada en el curtido mineral. Además, en el curtido mineral el cuero debe ser sometido a un proceso de recurtición mas intensivo que en el curtido vegetal. El consumo superior en la etapa de terminaciones de la Curtiembre A obedecería a que el proceso de curtido vegetal realiza la etapa de blanqueo mediante un proceso húmedo, el cual no es necesario en el curtido mineral.

Konrad *et al.* (2002) señalan un consumo de agua asociado directamente en el proceso de 25.85 m^3/t_{phs} , cantidad similar a la obtenida en la Curtiembre A. Este valor también entra en el rango de 21.4 - 29.7 m^3/t_{phs} señalado por Tunayet *et al.* (1999).

Es muy importante tener en cuenta que el agua empleada en las distintas etapas de lavado de la piel, representa más del

57 % del consumo requerido en el proceso, por lo que la optimización de los lavados constituirá un aspecto a considerar en las medidas de prevención y reducción de la contaminación.

3.3. Generación de aguas residuales.

En la Curtiembre A el volumen promedio de agua residual fue calculado en base a los caudales diarios que efectivamente ingresan al tanque de equalización, registrados durante un mes y a la producción de ese periodo, obteniéndose un valor medio de $25,7 \text{ m}^3/\text{tn}_{\text{phs}}$.

En la figura 4 se ilustran los caudales diarios de aguas residuales generados por tonelada de piel, calculados considerando que se procesa todos los días la misma cantidad promedio de cueros. Si bien, esto no se cumple en la realidad, ya que la cantidad de pieles que ingresan al proceso por día y el tipo de fórmula empleada, se realiza en función de la demanda o acuerdos de entrega existentes, se representan de esta manera para ilustrar la variabilidad existente en la producción. Cabe mencionar que los domingos no existe procesamiento y el caudal que ingresa al sistema de tratamiento corresponde a los líquidos remanentes del proceso del día anterior y agua de lavado de maquinaria e instalaciones.

Se debe tener presente que los valores indicados corresponden al caudalímetro de ingreso al homogeneizador, por lo que existen pérdidas previas importantes como en la desulfuración de la corriente de pelambre y en la recuperación de taninos de la corriente de curtido.

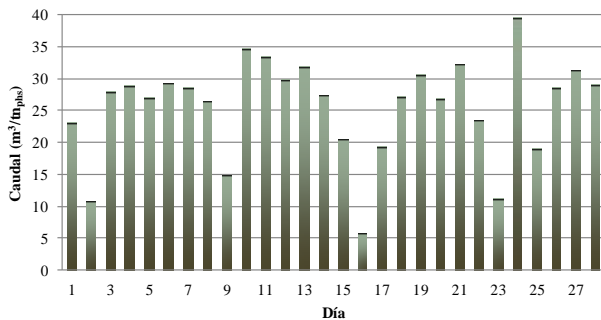


Fig.4: Caudales diarios de aguas residuales registrados en el ingreso al sistema de tratamiento de la Curtiembre A.

Dado que los datos de consumo de agua pueden emplearse para estimar la generación de agua residual, se estimaron las corrientes de las etapas en base a los consumos, contemplando que la mayor parte del agua consumida en la etapa de terminación abandona el proceso en forma de vapor. Además se asumió que el consumo "Otros" se distribuye proporcionalmente entre las distintas etapas.

De esta forma, se calcula una generación de $9,8 \text{ m}^3/\text{tn}_{\text{phs}}$ en la etapa de Ribera, $18,1 \text{ m}^3/\text{tn}_{\text{phs}}$ en Curtido y $5,5 \text{ m}^3/\text{tn}_{\text{phs}}$ en Terminación. Asumiendo la evaporación de la mayor parte del agua utilizada en la etapa de terminación (60 %), se computa una generación total de agua residual de $30,1 \text{ m}^3/\text{tn}_{\text{phs}}$, siendo este valor superior a los $25,7 \text{ m}^3/\text{tn}_{\text{phs}}$ medidos en el ingreso del sistema de tratamiento. No obstante, se considera que los valores desagregados por etapa son válidos, ya que como se mencionó anteriormente existen reducciones del caudal de efluentes en los procesos

previos de recuperación de taninos, tanque de desulfuración, cocina de sebo y operación de desbaste.

Los valores medidos y calculados fueron inferiores a los reportados por Lorber *et al.* (2007) que indican que en el proceso global se generan en torno a $50 - 58 \text{ m}^3/\text{tn}_{\text{phs}}$, quienes mencionan además que los procesos de Ribera generan un 25 - 35 % del efluente total, lo cual sí se verifica.

En la Curtiembre B no fue posible la cuantificación de los volúmenes enviados a tratamiento ni la caracterización de los mismos por tipo de curtido ya que las etapas de ambos procesos se llevan a cabo en forma simultánea en función de los requerimientos de entrega y son descargados a canaletas comunes que dificultan la evaluación de cada corriente. A partir de los consumos de agua y las relaciones obtenidas en la Curtiembre A, la cantidad de efluentes generados se estima en $29,3 \text{ m}^3/\text{tn}_{\text{phs}}$.

3.4. Generación de residuos sólidos.

La cuantificación de los residuos sólidos en las curtiembres analizadas, resultó difícil de generalizar, ya que las características y cantidad de cueros de cada lote varían en función de la demanda y las operaciones varían en función del artículo a producir. Según el tipo de artículo cobra mayor relevancia el peso o la superficie del cuero obtenido.

A continuación se detallan las cantidades estimadas de residuos generados por cuero en etapas individuales, sin distinguir el procesamiento previo ni el artículo a producir. También se describen las características de cada uno, ya que son de gran importancia para escoger el tratamiento, disposición final o aprovechamiento económico de los mismos.

En la Curtiembre A, se efectúa un orillado en el sector de barraca para emparejar los cueros eliminando sectores sin utilidad. El material obtenido ronda los $0,7 \text{ kg/piel}$, los cuales son enviados a otra empresa para obtención de gelatina. La sal apartada cuando se sacuden las pieles se estimó en $1,4 \text{ kg/piel}$, la cual es recogida por barrido y enviada para disposición final.

En la etapa de descarte se extraen en promedio $14,2 \text{ kg/piel}$, parte de las cuales son enviadas a la cocina de sebo mientras que la carnaza es enviada junto con la de barraca para obtención de gelatina. En esta etapa se efectúan escasos recortes, el material cuantificado se origina fundamentalmente por la uniformización de espesor de las pieles.

Los residuos curtidos se acumulan en tambores junto a las máquinas de corte, raspado y lijado y son retirados periódicamente para su envío a disposición final o comercialización. La cantidad generada de recortes y virutas es cercana a $0,3 \text{ kg/cuero}$.

Los residuos sólidos obtenidos en la planta de tratamiento de efluentes se calcularon en base a la cantidad de acoplados cargados para envío a tratamiento en $300 \text{ kg/tn}_{\text{phs}}$. En la tabla 1 se presentan los residuos generados por tonelada de piel.

Como se detalló anteriormente, muchos de los residuos mencionados son productos que se comercializan a otras industrias. Así, los únicos residuos de esta curtiembre son

los lodos de la planta de tratamiento, una fracción de la carnaza y residuos de la cocina de sebo.

Tabla 1: Residuos sólidos generados en la Curtiembre A.

Residuo	Cantidad generada (kg/tn _{phs})*
Recortes en barraca	28,9
Sal	56
Residuos de descarte	512
Sebo	56
Recortes curtido	11,7
Lodo de planta de tratamiento de efluentes	300

* Calculada con un peso de piel de 25 kg.

En la Curtiembre B, no existe aprovechamiento de los residuos y sólo se separan los residuos con cromo los cuales se gestionan como residuos peligrosos mediante un operador habilitado como se muestra en la Tabla 2. El resto de residuos del proceso se almacenan en contenedores para su envío a disposición final.

Tabla 2: Residuos sólidos generados en la Curtiembre B.

Residuo	Cantidad generada (kg/tn _{phs})*
Residuos libres de Cromo	533
Residuos con Cromo	133

* Calculada en base a los contenedores cargados.

Se debe mencionar que los valores presentados deben ser considerados solamente como referencia, ya que en la cuantificación no se contempló la clasificación de la piel procesada, tipo de artículo o producto, ni diferencias en el contenido de humedad de los mismos.

Lorber (2007) reporta en base al análisis de 5 industrias pequeñas y medianas de curtido al cromo una cantidad de 50 kg de sal por tonelada de piel procesada. Asimismo, detalla que en tres curtiembres que realizan dividido en la etapa de curtido los residuos promedio generados ascienden a 477 kg, de los cuales: 380 kg de residuos corresponden a la etapa de Ribera (260 kg de descarte y 120 de residuos de pelo), 45 kg/tn_{phs} se generan en la etapa de Curtido y 2 kg en la etapa de Terminación; mientras que el promedio de la generación para curtiembres que realizan el dividido en la etapa de ribera es 694 kg/tn_{phs} correspondiendo 495 kg a Ribera, 149 kg a Curtido, 50 kg a Terminaciones y sal. También indica que las diferencias parecen residir en tipo de equipos usados y el tipo de producto deseado.

En la tabla 3 se presentan otros datos bibliográficos de cantidades de residuos sólidos generados en curtiembres que realizan curtido mineral.

Como se puede observar, los residuos generados en la planta de tratamiento de efluentes y el material de descarte son los más relevantes de todo el procesamiento del cuero.

La Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del sector de curtidos (2003) en base a la industria del país reporta para fabricas de curtido convencional de piel vacuna generaciones aproximadas de: 120 kg de recortes no curtidos, 170-350 kg de carnazas no curtidas, 225 kg de recortes curtidos y 32 kg de polvo y recortes acabados.

Tabla 3: Cantidad de residuos sólidos del procesamiento del cuero mediante curtido mineral. Fuente: Springer (1985).

Residuos	Cantidad (kg/ton de piel salada)	% H ₂ O
Sal	60	30-35
Recortes de piel	120	60-75
Carnaza	70-230	80
Recortes curtidos al cromo	115	40
Virutas de Rebajadora	99	40
Restos de pulido	2	15
Recorte de cuero acabado	32	14
Lodo de planta de tratamiento de efluentes	300-400	60-70

Un análisis cualitativo de la importancia de los residuos en cuanto a volúmenes de la Curtiembre A, revela que la principal fuente generadora es la estación de tratamiento de efluentes líquidos.

La comparación de los resultados de residuos de proceso con los reportados en bibliografía pone en evidencia que en las curtiembres analizadas existe mayor generación de residuos en la etapa de Ribera, mientras que los residuos generados en la etapa de Curtido y Terminación fueron notablemente menores. Debe destacarse que para la comparación se consideraron todos los residuos o productos generados (sebo y carnaza), los cuales en la Curtiembre A son comercializados y por lo tanto no son residuos propiamente dichos, evidenciando esta empresa una importante valorización de los residuos sólidos. La Curtiembre B muestra valores muy similares a los reportados por Lorber y Springer. Cabe indicar que en Ribera se consideraron todos los residuos libres de cromo, a raíz de que esta curtiembre no efectúa segregación de residuos por tipo y no discrimina la sal, y en Curtido se incluyen todos los residuos con cromo generados.

3.5. Análisis global del proceso.

Se evidencia que en función del tipo de curtido y la tecnología empleada, se requieren diferentes cantidades de insumos y se generan diferentes cantidades de efluentes y residuos sólidos, cuya composición también varía significativamente. Así, en las etapas de curtido de la Curtiembre A se generan aguas residuales con alto contenido de materia orgánica, mientras que en la Curtiembre B el contaminante de mayor problema es el Cromo, estableciéndose diferencias en la gestión de los residuos para optimizar su posterior tratamiento.

En ambas curtiembres se puede observar que los mayores consumos de agua y reactivos químicos se presentan en la etapa de Curtido. Mientras que la mayor cantidad de residuos sólidos se genera en la etapa de Ribera. Los requerimientos de reactivos químicos en la etapa de terminación para el curtido mineral, están asociados mayoritariamente al proceso de recurtición.

La cantidad de reactivos usados en la Curtiembre A evidentemente está vinculada al tipo de curtido. Comparativamente la Curtiembre B presenta un consumo levemente superior de reactivos, sobre todo en las cantidades empleadas para el curtido mineral, originado quizá en la falta de optimización de las dosis, producción a baja escala que conduce a descartar soluciones que no fueron agotadas,

o necesidad de desocupar los equipos para dar lugar a la producción de otros artículos o formulas solicitadas.

En base a los resultados obtenidos, los puntos clave en los que debería actuar la Curtiembre B son el uso adecuado de ciertos productos químicos y la mejora en la gestión de residuos líquidos y sólidos. Se admite que la revalorización de residuos sólidos en esta empresa puede no ser rentable para el volumen de producción, no obstante, debe ser un aspecto a considerar.

4. CONCLUSIONES

- Se realizó un análisis exhaustivo de dos plantas de curtido que operan en la provincia de Salta, registrando el consumo de agua y productos químicos, así como la generación de aguas residuales y residuos sólidos. Un problema inherente a las industrias analizadas es la variación de los datos, aun dentro de cada planta, en función de los procesos empleados, tipo de materia prima y artículo producido. Por lo que los resultados son estimaciones al momento de evaluación.
- El consumo de productos químicos para curtido vegetal fue de 725,9 kg por tonelada de piel en la Curtiembre A y de 723,7 kg en la Curtiembre B, mientras que el consumo total de reactivos para el proceso de curtido al Cromo fue de 540 kg/tn_{phs}. Además, se determinó que la sección Curtido es la que mayor cantidad de reactivos requiere durante el procesamiento.
- Por cada tonelada de piel se requieren entre 30 y 35 m³ de agua, siendo la unidad operativa de desencalado de pieles la actividad que mayor consumo presenta.
- El volumen de efluentes registrado en la Curtiembre A fue de 25,7 m³/tn_{phs} mientras que para la Curtiembre B se estimaron en 29,3 m³/tn_{phs}. La diferencia radica en que la primer empresa efectúa recuperación de taninos y sebo de sus efluentes mediante procesos térmicos.
- La cantidad de residuos sólidos asociados al proceso de curtido vegetal se estimaron en 579,7 kg/tn_{phs} correspondiendo la gran mayoría a los generados en la etapa de descarte. Asimismo se generan 84,9 kg por tonelada de piel de subproductos.
- En las curtiembres evaluadas los mayores consumos de agua y reactivos químicos se presentan en la etapa de Curtido. Mientras que la mayor cantidad de residuos sólidos se genera en la etapa de Ribera. Los requerimientos de reactivos químicos en la etapa de terminación para el curtido mineral, están asociados mayoritariamente al proceso de recurtición.
- En base a los resultados obtenidos, los puntos clave en los que debería actuar la Curtiembre A son la evaluación y análisis periódico de los consumos (agua, reactivos, energía). La Curtiembre B debe asumir como tarea prioritaria la evaluación del contenido de cromo de las soluciones de proceso y de descarte, y la segregación de las corrientes de residuos líquidos y sólidos.

REFERENCIAS

CNPMLTA. (2004). Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales. Proyecto Gestión Ambiental en la Industria de Curtiembre. Manual Ambiental. Sectorial. Colombia.

Farfán, Rosario (2007). Toxicidad e Inhibición por Amoniac, Sulfuros y Taninos de los efluentes de Curtiembre sobre lodo cloacal anaeróbico. Tesis de grado. Universidad Nacional de Salta.

Fernández, Francisco A. (2001). Gestión Ambiental Rentable. Proyecto de Gestión Ambiental y Competitividad Industrial. (Canacindra-GTZ).

Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del sector de curtidors. (2003). Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Medio Ambiente@, I.S.B.N.: 84-8320-255-7.

<http://www.cica.org.ar>

http://www.cueronet.com/tecnica/medio_ambiente_y_terminacion1.htm

Konrad C. Bichler B., Lorber K y Marquez F. (1999). Input/output analysis an Chilean tannery. *Journal of the Society of leather technolysist and chemist*. **84**, 223-226.

Konrad C., Lorber K.E., Méndez R., López J., Muñoz M., Hidalgo D. Bornhardt C., Torres M., Rivela B. (2002) System analysis of material fluxes at tanneries – an international comparision. *J SocLeathTech Ch* **86**: 18-25.

Lorber K.E. (2007). Gestión de residuos en la industria de curtido. Servicio de Publicacións e Intercambio Científico. Universidade de Santiago de Compostela.

Lorber K.E., Konrad C., Márquez, F., Muñoz M., Bornhardt C., Méndez R. y Rivela B. (2007). Análisis de los flujos de material en las industrias de curtido. Servicio de Publicacións e Intercambio Científico. Universidade de Santiago de Compostela.

Orhon, D., Ates, E. and UbayÇokgör, E. (1999). Characterization and modeling of activated sludge for tannery wastewater. *Wat.Env. Res.*, **71**(1), 50–63.

Rivela, B., Vidal, G., Bolhardt, C. and Mendez, R. (2002). Towards a cleaner production: A case study in a Chilean tannery. *Waste Management and Research*.

Springer, Hugo. (1985). Aproveitamento económico de residuos sólidos da industria de peles e cuoros. SENAI/RS.

Tunay O, Kabdasli Y, Orhon D, Cansever G. (1999). Use and minimization of water in leather tanning processes. *Water Science and Technology*, **40**, 273-244.

Tünay, O., Kabdasli, I., Orhon, D. and Ates, E. (1995). Characterization and pollution profile of leather tanning industry in Turkey. *Wat. Sci. Tech.*, **32**(12), 1–9.

Vidal G. y Méndez R. (2007). La industria del curtido: Estado actual y tendencias futuras. Servicio de Publicacións e Intercambio Científico. Universidade de Santiago de Compostela.