



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LOS PARÁMETROS
FÍSICO-QUÍMICOS SANITARIOS, DE LOS EFLUENTES DE DOS
PROCESOS DE DEPILADO (UNO CON TECNOLOGÍA MÁS LIMPIA
Y OTRO CON TECNOLOGÍA CONVENCIONAL),
EN UNA INDUSTRIA TENERA**

Christian Edy Gustavo Villegas Custodio

Asesorado por: Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales

Guatemala, octubre de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LOS PARÁMETROS
FÍSICO-QUÍMICOS SANITARIOS, DE LOS EFLUENTES DE DOS
PROCESOS DE DEPILADO (UNO CON TECNOLOGÍA MÁS LIMPIA
Y OTRO CON TECNOLOGÍA CONVENCIONAL),
EN UNA INDUSTRIA TENERA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CHRISTIAN EDY GUSTAVO VILLEGAS CUSTODIO

ASESORADO POR: INGA. QCA. TELMA MARICELA CANO MORALES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADORA	Inga. Teresa Lisely de León Arana
EXAMINADOR	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS SANITARIOS, DE LOS EFLUENTES DE DOS PROCESOS DE DEPILADO (UNO CON TECNOLOGÍA MÁS LIMPIA Y OTRO CON TECNOLOGÍA CONVENCIONAL), EN UNA INDUSTRIA TENERA,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química,
el 29 de mayo de 2006

Christian Edy Gustavo Villegas Custodio

AGRADECIMIENTOS A:

DIOS	Por ser el sustentador de mi vida.
MIS PADRES	Por el sacrificio y apoyo incondicional realizado durante todo el tiempo.
MI ESPOSA	Por ser la ayuda idónea.
INGA. LOURDES RODRÍGUEZ	Por su asesoría, apoyo y ayuda incondicional, para realizar este trabajo de graduación.
INGA. TELMA CANO	Por su asesoría y apoyo durante la realización de este trabajo de graduación.
INGA. LISELY DE LEÓN	Por su apoyo y colaboración.
EL ING. WILLIAMS ÁLVAREZ	Por su ayuda y comprensión.

ACTO QUE DEDICO A:

- DIOS** Por ser el guía espiritual de mi vida, a quien deseo honrar en todo tiempo.
- MIS PADRES** Edy Villegas y Enriqueta de Villegas, por apoyarme siempre y sobre todo, por el gran amor que siempre me demostraron.
- MI ESPOSA** Ana Lucía, por ser quien me apoya en todo tiempo y por darme su amor sin condiciones.
- MIS HIJOS** Luis Diego y Christian Andrés, que son la inspiración de mi vida.
- MI HERMANO** Herbert, con mucho cariño.
- MIS ABUELOS** Rafael Villegas y Raquel de Villegas, por sus sabios consejos y apoyo.
- MI FAMILIA** Por demostrarme siempre su apoyo y brindarme su cariño. En especial, a mi tío Jeffry, porque nunca dudó en brindarme su apoyo.
- MIS AMIGOS** Por la ayuda que me brindaron en las buenas y en las malas.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
HIPÓTESIS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1 Procesos de una industria tenera	1
1.1.1 Conservación de la piel	3
1.1.2 Procesos de ribera	3
1.2.1.1 Remojo	3
1.2.1.2 Depilado	4
1.2.1.3 Descarnado	5
1.2.1.4 Desencalado	6
1.2.1.5 Rendido	6
1.2.4.6 Piquelado	7
1.1.3 Curtido	7
1.2 Depilado	9
1.2.1 Método sin recuperación de pelo (tecnología convencional)	9
1.2.1.1 Método con cal	9
1.2.1.2 Método de encalado	10
1.2.1.2.1 Método cal-sulfuro	10

1.2.2	Método con recuperación de pelo o guardapelo (tecnología más limpia)	11
1.2.2.1	Degradación de la queratina	12
1.2.2.2	Principios de la inmunización del pelo, y de las tecnologías limpias en el depilado	14
1.2.2.3	Método cal-sulfuro, utilizando una tecnología más limpia para depilar	15
1.3	Caracterización de los efluentes de tenería	17
1.3.1	Efluente o agua residual de tenería	17
1.3.2	Parámetros de contaminación	17
1.3.2.1	Sólidos suspendidos	18
1.3.2.1.1	Sólidos sedimentables	18
1.3.2.1.2	Sólidos semicoloidales	19
1.3.2.2	Demanda de oxígeno	19
1.3.2.2.1	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	19
1.3.2.2.2	Demanda química de oxígeno (DQO)	20
1.3.2.3	Nitrógeno	20
1.3.2.4	Potencial de hidrógeno (pH)	21
1.3.2.5	Temperatura	21
2.	METODOLOGÍA	23
2.1	Localización	23
2.2	Recursos	23
2.2.1	Humanos	23
2.2.2	Físicos	23
2.3	Metodología experimental	24
2.3.1	Método de depilación con destrucción de pelo	24

2.3.2	Método de depilación con recuperación de pelo, utilizando tecnología más limpia	25
2.3.3	Métodos de análisis	26
2.3.3.1	Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO)	26
2.3.3.2	Determinación de sólidos sedimentables	27
2.3.3.3	Determinación de sólidos en suspensión (no filtrables)	27
2.3.3.4	Determinación de sólidos filtrables	28
2.3.3.5	Determinación de sólidos totales	29
3.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	31
3.1	Diseño experimental	31
3.2	Análisis de variancia	31
4.	RESULTADOS	35
4.1	Parámetros físico-químicos sanitarios generados en el proceso de depilado, con destrucción de pelo o quema-pelo	35
4.2	Parámetros físico-químicos sanitarios generados en el proceso de depilado, con recuperación de pelo	36
4.3	Diferencia en los parámetros físico-químicos sanitarios	37
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	39
	CONCLUSIONES	41
	RECOMENDACIONES	43
	BIBLIOGRAFÍA	45
	APÉNDICE	47

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama de flujo del proceso de curtido del cuero	2
2.	Bombo	4
3.	Máquina de descarnar	5
4.	Rodillo para descarnar	6
5.	Estructura de la queratina	12
6.	Estructura química de la cistina	13
7.	Estructura química de la cisteína	13
8.	Parámetros físico-químicos sanitarios promedio, generados en el proceso de depilado con destrucción de pelo	35
9.	Parámetros físico-químicos sanitarios promedio, generados en el proceso de depilado con recuperación de pelo	36
10.	Gráfica comparativa entre los parámetros físico-químicos sanitarios, generados en ambos procesos	37
11.	Diagrama de flujo del proceso de depilado a quema-pelo o con destrucción de pelo (tecnología convencional)	53
12.	Diagrama de flujo del proceso de depilado con recuperación de pelo (tecnología más limpia)	55

TABLAS

I.	Diseño para un experimento en una dirección, con dos tratamientos y tres repeticiones	31
II.	Variables para el análisis de variancia en una dirección	32
III.	Parámetros físico-químicos sanitarios generados en el proceso de depilado, con destrucción de pelo o quema pelo	35
IV.	Parámetros físico-químicos sanitarios generados en el proceso de depilado, con recuperación de pelo	36
V.	Diferencia en los parámetros físico-químicos sanitarios	37
VI.	Análisis de variancia para sólidos totales	49
VII.	Análisis de variancia para sólidos sedimentables	49
VIII.	Análisis de variancia para sólidos disueltos	49
IX.	Análisis de variancia para sólidos no filtrables	50
X.	Análisis de variancia para DQO	50
XI.	Análisis de variancia para pH	50
XII.	Análisis de variancia para temperatura	51
XIII	Límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores	51
XIV	Límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores	52

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
$^{\circ}\text{Be}$	grados Baumé
$^{\circ}\text{C}$	grados Celsius
DBO	demanda bioquímica de oxígeno
DQO	demanda química de oxígeno
g	gramos
Ho	hipótesis nula
Hi	hipótesis alterna
lb	libras
mg	miligramos
mg / L	miligramos por litro
ml	mililitros
rpm	revoluciones por minuto
%	porcentaje
μ	promedio para la población

GLOSARIO

Agua residual	Es el líquido resultante de la incorporación de desechos al agua.
Bombo	Recipiente cilíndrico, que gira alrededor de un eje, el cual es el equipo propio de una tenería en donde se llevan a cabo los procesos húmedos.
Colágeno	Proteína que compone la dermis, se compone de moléculas polipépticas entretrejidas.
Cuero en tripa	Piel después de haber pasado todos los procesos de ribera.
Curtir	Transformación de cualquier piel en cuero, cuya característica principal es ser imputrescible.
Cistina	Aminoácido que contiene azufre, que se encuentra en muchas proteínas, especialmente en el pelo, lana y piel.
Cisteina	Aminoácido degradado por medio alcalino.

Desuello	Quitar la piel, o parte de ella, a un animal.
Efluente	Río que recibe aportes suplementarios de agua.
Filtrado	Operación que consiste en separar partículas sólidas de un líquido, por medios mecánicos.
Inmunizar	Resistencia natural o adquirida. Se refiere a proteger el pelo durante el proceso de depilado, evitando que éste se degrade.
Lantionina	Forma insoluble de la queratina.
Turgencia	Abultamiento o hinchazón.

RESUMEN

En la actualidad, debido a la exigencia del mercado nacional e internacional, la industria guatemalteca se ha visto obligada a hacer cambios en sus procesos que le permitan ser más productiva y competitiva, así como reducir sus niveles de contaminación, hasta los límites máximos permisibles establecidos por la ley.

La industria curtidora de cuero no es la excepción, y para lograr una reducción de los niveles de contaminación, en la actualidad se están haciendo modificaciones en los procesos de producción.

Uno de los procesos que genera altos niveles de contaminación es el depilado. Por tal motivo, los estudios generalmente se centran en mejorar o modificar dicho proceso. Recientemente se descubrió un proceso que utiliza una tecnología más limpia para depilar, denominado *depilado con recuperación de pelo*.

En el presente estudio de tesis se determinó la diferencia en los parámetros físico-químicos sanitarios que se genera por el cambio del depilado a *quema-pelo o con destrucción de pelo*, actualmente utilizado en la mayoría de las industrias curtidoras del país, por el nuevo proceso de depilado con recuperación de pelo, utilizando las mismas condiciones de trabajo y equipamiento.

Se analizaron, mediante métodos de laboratorio aprobados, los parámetros físico-químicos sanitarios en los efluentes generados en los dos procesos, tomando tres muestras de cada efluente, para verificar si existe diferencia significativa en los niveles de contaminación entre los dos procesos, y determinar si la implementación del proceso es conveniente ecológicamente o no lo es.

A partir de los resultados obtenidos y mediante un análisis de variancia en una dirección, se determinó, con un nivel de significancia del 95%, que los niveles de contaminación en el efluente se reducen significativamente cuando se emplea un proceso de depilado con recuperación de pelo.

OBJETIVOS

General

- Comparar los niveles de contaminación de los efluentes en una industria tenera, utilizando dos métodos diferentes para depilar: el proceso de depilado normal o con destrucción de pelo, y el proceso guardapelo que utiliza una tecnología más limpia.

Específicos

1. Definir los parámetros físico-químicos sanitarios que se modifican con el cambio del proceso de depilación.
2. Cuantificar los niveles de los parámetros físico-químicos sanitarios, definidos previamente en ambos procesos de depilado.
3. Utilizar métodos de laboratorio, con metodología aprobada que permitan analizar los parámetros de contaminación.

HIPÓTESIS

Los niveles de contaminación de los efluentes en la industria tenera, son menores cuando se emplea un método de tecnología más limpia en el proceso de depilado con recuperación de pelo.

Hipótesis Estadística

Ho: No existe diferencia significativa en los niveles de contaminación de los efluentes, cuando se utilizan dos métodos distintos para depilar (método común o con destrucción de pelo y método con recuperación de pelo)

$$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = 0$$

Hi: Existe diferencia significativa en los niveles de contaminación de los efluentes, cuando se utilizan dos métodos distintos para depilar (método común o con destrucción de pelo y método con recuperación de pelo)

$$\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq 0$$

INTRODUCCIÓN

En mercados competitivos nacionales e internacionales se hace necesario que las industrias adopten un sistema de producción más limpia, cuyo objetivo primordial sea el de fabricar productos que cumplan con los requisitos de calidad, sin descuidar los requisitos medioambientales con que se producen, sobre todo en industrias dedicadas a la curtición de cuero, que se han caracterizado por producir cargas contaminantes superiores a las que generan otras industrias locales.

La industria curtidora de cuero, por su misma naturaleza, genera grandes volúmenes de agua en sus procesos de manufactura, que en su mayoría se convierte en agua residual con altos niveles de contaminación, lo que es motivo de una constante preocupación por mantener estos niveles lo más bajo posible, tanto para la reducción de costos de tratamiento como por cumplimiento de los requisitos medioambientales.

La contaminación generada en esta industria se da en todos los procesos involucrados para obtener el producto terminado, pero, de acuerdo a estudios realizados, los procesos denominados de ribera son los que provocan más del 80% de esta contaminación.

Aproximadamente el 70% de dicha contaminación, proviene de un proceso de ribera denominado depilado, cuyo objetivo principal es remover el pelo de la piel.

En el presente trabajo, se determinó la diferencia de los parámetros físico-químicos sanitarios que se generan en los dos procesos de depilación: el proceso actual de depilado y un proceso innovador denominado de recuperación de pelo. Con ésto se obtuvo lo siguiente:

- Definición de los parámetros físico-químicos que se modifican con el cambio del proceso de depilación.
- Cuantificación de los niveles de contaminación definidos previamente, generados con el proceso actual de depilado.
- Cuantificación de los niveles de contaminación definidos previamente, generados con el proceso en donde se utiliza una tecnología más limpia denominado de recuperación de pelo.
- Diferencia en los niveles de contaminación, generados en los dos procesos de depilación.

Para que sirva como base para la implementación total de estos nuevos métodos de producción más limpia, y conocer la diferencia en los parámetros físico-químicos que se produce al hacer esta modificación de proceso.

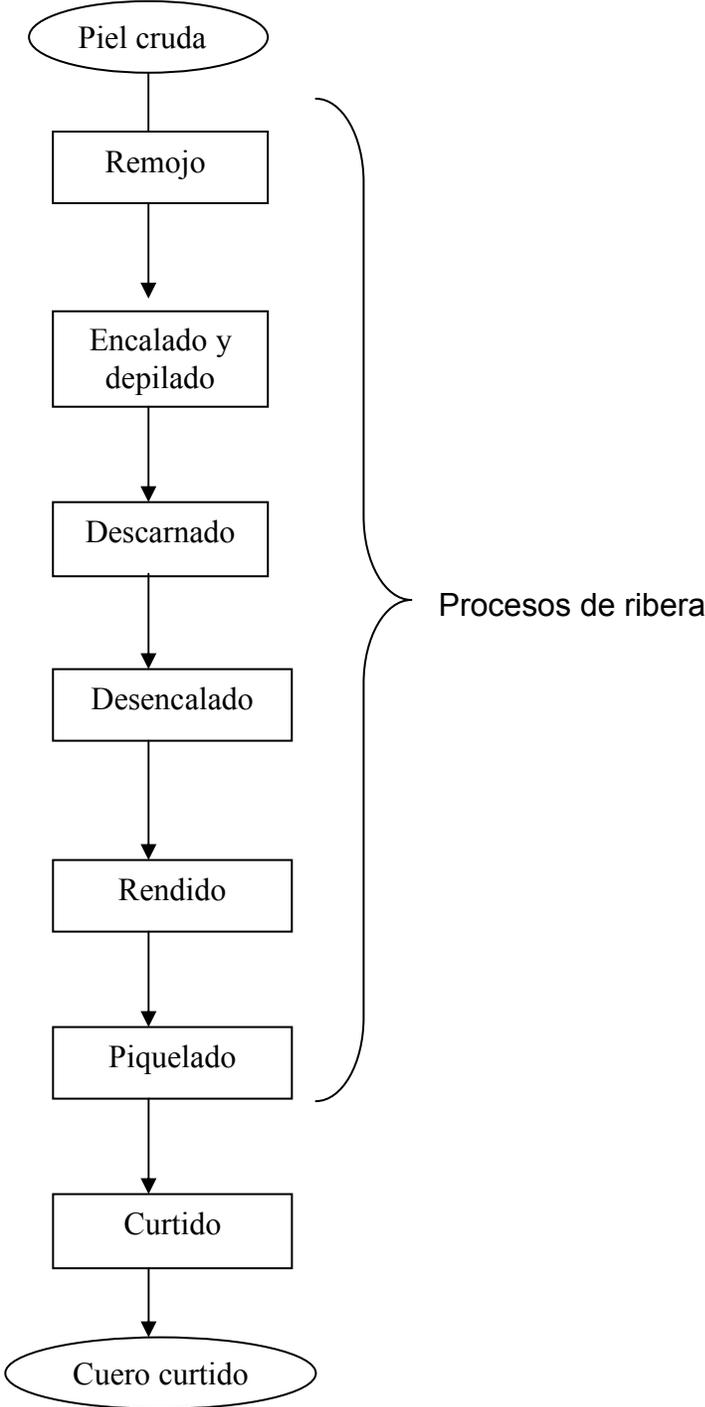
1. MARCO TEÓRICO

1.1 Proceso de una industria tenera

La curtición es por definición una transformación de cualquier piel en cuero. Esta transformación está dada por una estabilización de la proteína de la piel (colágeno) por el tratamiento de la misma con un agente curtiente, el cual a través de reacciones químicas, produce una formación de enlaces transversales, en los que participa el agente curtiente dando lugar a una reticulación de la estructura. Esto genera un aumento de la temperatura de retracción, una mayor estabilidad de la piel frente al tratamiento enzimático, un secado de la misma sin que presente rigidez y estable a la acción del agua caliente. Esa modificación de la piel para dar un producto que reúna esas propiedades se llama “curtición”, y al producto logrado se le llama “cuero”.

En el proceso, previo a la curtición, se llevan a cabo procesos químicos, físico-químicos, enzimáticos y transcurren un conjunto de operaciones mecánicas, cuyo objetivo es quitar de la piel todos los componentes no adecuados para la correcta elaboración de un cuero, entre ellos, la capa de epidermis con sus productos de formación (tejidos glandulares, tejido conjuntivo subcutáneo, tejidos grasos, sangre, linfa, proteínas no estructuradas solubles en agua y sales neutras). Preparando así la compleja estructura fibrosa del colágeno para la siguiente fase de curtición.

Figura 1 Diagrama de flujo del proceso de curtido del cuero



1.1.1 Conservación de la piel

El objetivo primordial de esta etapa, es detener la descomposición normal que ocurre a la piel después del desuello, que ocurre debido a la proliferación de microorganismos en esta.

Existen varios procesos de conservación de la piel, pero el más utilizado es el “salado”, el cual consiste en esparcirle sal (NaCl) a la piel previamente descarnada y extendida con el lado carne hacia arriba, con cierto tamaño de grano, y aproximadamente con un 40-45% de sal sobre el peso de la piel.

1.1.2 Procesos de ribera

Los trabajos de ribera se caracterizan por emplearse en ellos grandes cantidades de agua, de lo cual deriva su nombre, además, éstos procesos son los causantes de un 80% aproximadamente de la contaminación en la industria tenera. Entre ellos está el remojo, depilado, desencalado, rendido y piquelado.

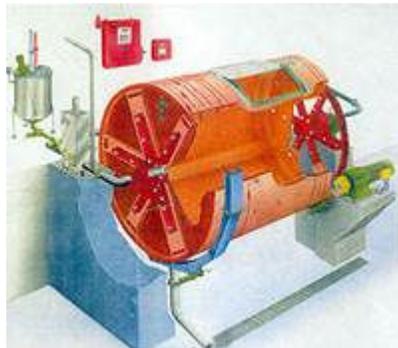
1.1.2.1 Remojo

Este es el primer trabajo de ribera y su objetivo es devolver a la piel su estado de hinchamiento natural y eliminar la suciedad (barro, sangre, estiércol, microorganismos, etc.) así como sustancias proteicas solubles y agentes de conservación. Normalmente este proceso se realiza poniendo la piel en un recipiente cilíndrico llamado “bombo” que gira alrededor de un eje, el cual contiene agua y algunos otros productos auxiliares como tensoactivos, enzimas, biocidas entre otros que ayudan a optimizar el proceso.

1.1.2.2 Depilado

Luego de la operación de remojo, las pieles suficientemente hidratadas, limpias, con algunas proteínas eliminadas de su estructura, pasan a las operaciones de depilado o pelambre, donde fundamentalmente se pretende, por un lado eliminar de la piel la epidermis junto con el pelo, y por otro aflojar las fibras del colágeno con el fin de prepararlas apropiadamente para los procesos de curtido. El depilado, normalmente se realiza deshaciendo el pelo, lo cual ocasiona mucha contaminación, especialmente sólidos en suspensión. Actualmente existen técnicas para hacer el depilado de una forma más limpia, recuperando el pelo en lugar de deshacerlo. Este proceso se lleva a cabo en un bombo, al igual que el remojo, en donde se le agregan productos alcalinos y depilantes en un orden diferente, con lo que se logra el objetivo.

Figura 2 Bombo



Fuente: www.cueronet.com

1.1.2.3 Descarnado

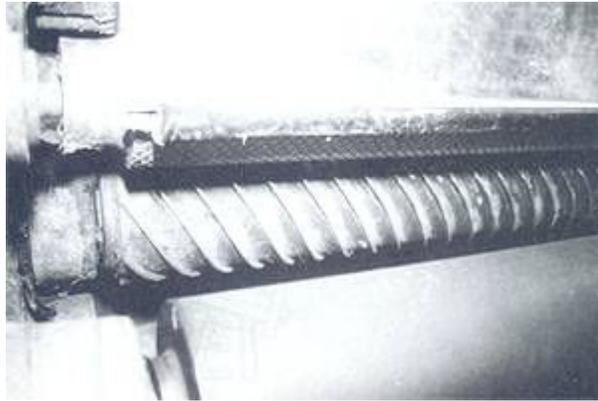
Este es un proceso mediante el cual se eliminan restos de carne y grasa para evitar entre otras consecuencias, el desarrollo de bacterias sobre la piel. Con ello se elimina el tejido subcutáneo. El proceso consiste en pasar la piel por medio de un cilindro neumático de garra y otro de cuchillas helicoidales muy filosas. La piel circula en sentido contrario a este último cilindro, el cual esta ajustado de tal forma que presiona la piel, lo suficiente, como para asegurar el corte o eliminar definitivamente solo el tejido subcutáneo (grasa o carne) adherido a ella.

Figura 3 Máquina de descarnar



Fuente: www.cueronet.com

Figura 4 Rodillo para descarnar



Fuente: www.cueronet.com

1.1.2.4 Desencalado

El desencalado sirve para la eliminación de la cal (unida químicamente, absorbida en los capilares o almacenada mecánicamente) lo cual se logra por el lavado con agua y luego por medio de ácidos débiles, o sales amoniacaes (sulfato de amonio o cloruro de amonio) o de sales ácidas (bisulfito de sodio), para el deshinchamiento de las pieles y conseguir la reducción del pH, que será útil en el siguiente proceso.

Esta eliminación se produce debido a que los agentes químicos de desencalado producen sales ácidas solubles de fácil eliminación con agua y no deben producir efectos de hinchamiento sobre el colágeno.

1.1.2.5 Rendido

Este es un proceso de limpieza y suavizado del cuero que se lleva a cabo mediante la aplicación de enzimas pancreáticas que tienen una actividad a pH de 8 y a una temperatura entre 30⁰C y 37⁰C.

En esta etapa se promueve el aflojamiento de las fibras de colágeno, deshinchamiento de las pieles, aflojamiento del repelo (raíz de pelo anclada aún en folículo piloso) y una considerable disociación y degradación de grasas naturales por la presencia de lipasas. Cuanto más suelto, caído y suave deba ser el cuero, más intenso deberá ser el rendido.

1.1.2.6 Piquelado

El piquelado consiste en una neutralización de la piel y este se puede considerar como una extensión del desencalado. Otra función principal de este es acondicionar la piel para que no reaccione inmediatamente con los agentes curtientes del cromo (Cr^{3+}), esto se logra protonando las cadenas proteínicas del colágeno en la forma siguiente:

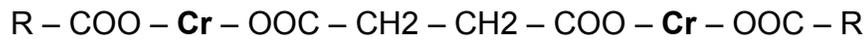


En estas condiciones cualquier adición de agente curtiente de cromo (Cr^{3+}), tiene la oportunidad de difundir al interior de la piel antes de ligarse a estas especies proteínicas. Este proceso se realiza mediante un baño de la piel en un bombo con agentes ácidos, tales como el ácido sulfúrico, ácido fórmico y algunas sales de sodio y calcio.

1.1.3 Curtido

Es un proceso químico en el que la piel reacciona con agentes curtientes y forma la sustancia llamada cuero. En el curtido al cromo, se usan sales de cromo, normalmente sulfato de cromo (III), como el sulfato de cromo básico $\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4$, que puede formar enlaces cruzados y estabilizar las moléculas de colágeno en las fibrillas.

Cuando se agrega polvo de cromo al cuero en tripa acidificado, se establecen reacciones entre el cromo, el ácido y el cuero en tripa. Las moléculas de colágeno se reticulan vía la sal de cromo, ya sea mediante la reacción de un complejo de cromo grande con dos grupos carboxilos de colágeno o con dos complejos de cromo enlazados que reaccionan juntos.



1.2 Depilado

Este proceso también es llamado pelambre y su función principal, consiste en eliminar el pelo, la epidermis, los componentes interfibrilares residuales (particularmente sulfato de dermatán) y abrir la fibra estructural. Existen dos métodos principales para depilar, en uno de ellos el pelo no se recupera o se deshace y es llamado depilado sin recuperación de pelo; el otro es un método en donde el pelo se recupera, y se llama método con recuperación de pelo o método guardapelo, habiendo en este último método una menor producción de contaminación en los efluentes.

1.2.1 Método sin recuperación de pelo (tecnología convencional)

Consiste en poner en contacto las pieles remojadas con productos químicos depilantes en un bombo, que a través de la acción mecánica se ayuda a eliminar el pelo y la epidermis de la piel, aunque generalmente no se logra la recuperación del pelo, lo que causa serios problemas de contaminación a los efluentes.

1.2.1.1 Método con cal

Se utiliza únicamente hidróxido de calcio Ca(OH)_2 o cal, como agente depilante. Este método se utilizó antiguamente y tiene muchas desventajas, entre las cuales está la velocidad de reacción, ya que generalmente las pieles deben permanecer en contacto con los baños de cal alrededor de un mes; tiempo durante el cual la piel tiende a descomponerse produciendo grandes cantidades de aminas y amoníaco.

1.2.1.2 Método de encalado

En este método se sumerge el cuero o piel en un licor depilador alcalino de manera que la queratina del pelo y la epidermis pueda ser degradada por el álcali de la superficie de la carne y flor de la piel.

La piel se hincha bajo condiciones alcalinas con lo que la fibra estructural se abre. Este proceso puede manipularse o modificarse alterando la elección, concentración y orden de los químicos empleados en el licor depilador, así como modificando las condiciones del proceso, particularmente la duración del proceso y el tipo de acción mecánica.

Existe una variedad de métodos utilizados en el encalado, pero los más empleados industrialmente son aquellos que emplean sulfuro de sodio, hidrosulfuro de sodio e hidróxido de calcio (cal). También existen métodos a base de aminas y enzimas, que aunque no se están usando ampliamente en la actualidad ofrecen grandes perspectivas ya que las aguas residuales producen menos contaminación que los métodos a base de sulfuros, con el gran inconveniente de ser demasiado caros.

1.2.1.2.1 Método cal-sulfuro

En el proceso de encalado, el método más utilizado es el método en donde se mezclan sulfuro, hidrosulfuro de sodio y cal, llamado por eso método cal-sulfuro. Este normalmente se realiza en un bombo y algunas veces se utilizan productos auxiliares, tales como tensoactivos, biocidas, aminas y enzimas entre otros, con el propósito de optimizar el proceso.

En algunos casos se puede sustituir parcialmente el sulfuro de sodio por hidrosulfuro de sodio, con ello se consigue un mejor depilado y no se produce mucho hinchamiento, además se logra una flor y un cuero más planos. Lo más frecuente es sustituir de 0,5% a 1,5% del sulfuro de sodio por hidrosulfuro de sodio.

La combinación más empleada es la siguiente:

Porcentaje en peso sobre piel en fresco	Químico
150% – 300%	agua
0,8 % - 1,0%	amina
0,1 % - 0,2 %	tensoactivo
0,5 % - 0,6 %	hidrosulfuro de sodio
0,9 % – 1,1 %	sulfuro de sodio
3,5 %	cal

Hay que hacer notar que en el proceso previo a este, el remojo, se utiliza carbonato sódico para aumentar el pH aproximadamente hasta 9,5, y seguido a esto todos los productos arriba descritos, se mezclan en una sola etapa.

1.2.2 Método con recuperación de pelo o guardapelo (tecnología más limpia)

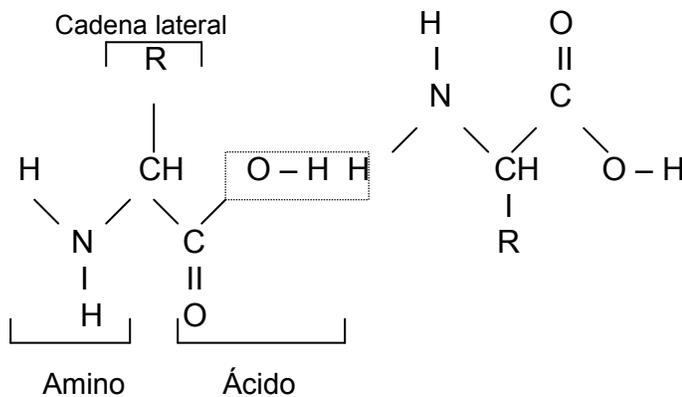
Uno de los primeros métodos que se utilizó, fue el método de “pintar”, el cual consiste en aplicar manualmente o asperjado un licor depilador llamado “pintura”, a la superficie de la carne de la piel. La pintura penetra en la piel hasta los folículos y se degradan las raíces del pelo, de manera que se puede retirar el pelo de un jalón. Este método es muy lento y obsoleto, y en la actualidad ya no se practica con tanta frecuencia.

Modificando el método de depilado cal-sulfuro el pelo se puede recuperar, evitando que este se deshaga y reduciendo así los índices de contaminación tanto de la demanda de oxígeno como los sólidos suspendidos y disueltos. Dichas modificaciones se fundamentan en la inmunización del pelo y para ello es necesario cambiar el orden y la cantidad de los productos químicos que se adicionan al baño de depilado.

1.2.2.1 Degradación de la queratina

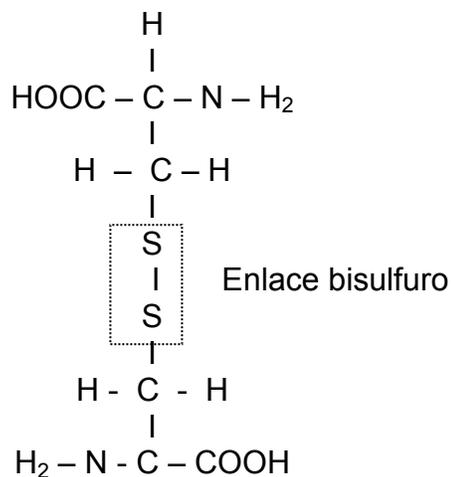
La queratina es una proteína que consiste en varias cadenas polipéptidas entrelazadas, las cuales se componen de aminoácidos como la cistina.

Figura 5 Estructura de la queratina



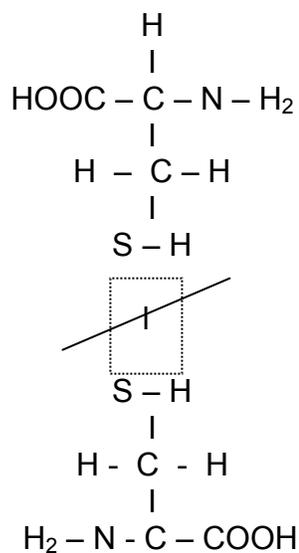
Un enlace de bisulfuro (S-S) en la cistina aminoácida básica, liga a dos cadenas polipéptidas distintas e influye sobre la estructura tridimensional de la proteína. Su presencia es semejante a un agente curtiente natural, ya que influye sobre la solubilidad y dureza de la queratina.

Figura 6 Estructura química de la cistina

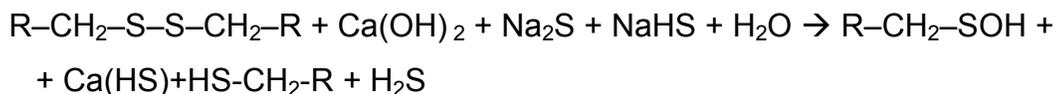


La degradación del pelo por el álcali implica un ataque químico sobre el enlace bisulfuro de la cistina, convirtiéndola a cisteína. Esta degradación depende de la temperatura, de la acción mecánica y del pH que debe ser lo suficientemente alto para romper el enlace bisulfuro e hinchar la queratina.

Figura 7 Estructura química de la cisteína



La reacción es la siguiente:



El mecanismo para degradar la queratina ocurre en dos etapas:

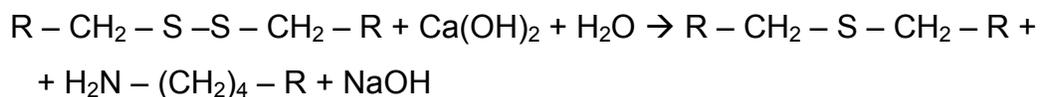
a) Primera etapa: Ruptura del enlace bisulfuro (S - S), del aminoácido cistina, para reducir la estabilidad de la queratina, lo que provoca que el proceso de degradación natural continúe, esto se consigue por el efecto del álcali. En algunos casos la cistina hidrolizada forma un grupo sulfónico que puede convertirse en cisteína (que es la forma soluble de la queratina), en presencia de químicos como el sulfuro o hidrosulfuro de sodio, o en lantionina (que es la forma insoluble de la queratina), en ausencia de ellos.

b) Segunda etapa: Evitar formación de lantionina, lo que se logra agregando hidrosulfuro y sulfuro de sodio, a enlaces bisulfuro rotos (producto de la degradación natural o efectos de álcalis, en etapas previas), para producir iones hidrosulfuros (HS⁻) en solución, que evitan la formación de lantionina.

1.2.2.2 Principios de la inmunización y de las tecnologías limpias en el depilado

La inmunización del pelo se debe a la transformación de la cistina, mediante la adición de álcali, en lantionina que se produce en la ausencia de un grupo hidrosulfuro (HS⁻).

La lantionina se forma cuando los productos siguen reaccionando para formar un enlace cruzado de azufre -S- único, dando lugar a otra forma insoluble de queratina. La lantionina resiste la descomposición con álcali, por tanto el pelo queda inmunizado. La reacción es la siguiente:



Ya que la queratina está presente en la raíz del pelo y en la epidermis, el efecto de la inmunización varía según el número de enlaces bisulfuros presentes en esta. La raíz inmadura del pelo tiene menos enlaces bisulfuros y por lo tanto está menos reticulada que la del pelo visible. Al manipular las condiciones del depilado es más fácil solubilizar la raíz del pelo dejando intacto el pelo visible que, puede recuperarse en etapas posteriores.

1.2.2.3 Método cal-sulfuro utilizando una tecnología más limpia para depilar

El proceso empieza desde el remojo, en donde se aumenta el pH hasta 9,5, utilizando para ello carbonato sódico. Luego en esta primera etapa se agrega hidrosulfuro de sodio en el mismo baño, pero a un bajo porcentaje para que se inicie el proceso de depilación y para que el pH siga en aumento; además se agrega una amina que por su efecto de mejorar el ataque al pelo minimiza la cantidad de sulfuro que se utilizará posteriormente para solubilizar la raíz del pelo, evitando o reduciendo así la turgencia del cuero.

Seguidamente se agrega hidróxido de calcio y se deja actuar un tiempo considerable (alrededor de 45 minutos) para lograr romper los enlaces bisulfuro de la cistina, que en ausencia de iones HS⁻ forman lantionina, que una vez formada no puede convertirse en cisteína aún en presencia de iones HS⁻, inmunizando de esta manera el pelo.

Con el pelo ya inmunizado, se procede a la segunda etapa, en donde se agregan los productos depilantes como el sulfuro de sodio e hidrosulfuro de sodio, los cuales degradan la epidermis y la raíz del pelo, siendo el pelo arrancado casi entero por la acción mecánica del bombo, en donde se realiza todo el proceso.

En la tercera etapa y para finalizar el proceso se añade al bombo hidróxido de calcio, sulfuro de sodio (que asegura un buen depilado) y un tensoactivo para acelerar la penetración de los productos en la piel y como un emulsionante de la grasa.

La combinación en la primera etapa es la siguiente:

Porcentaje en peso sobre la piel en fresco	Químico
0,8 % 1,0 %	amina
0,2 %	hidrosulfuro de sodio
1,5 %	hidróxido de calcio

Combinación para la segunda etapa

Porcentaje en peso sobre la piel en fresco	Químico
0,4 % - 0,5 %	sulfuro de sodio
0,6%	hidrosulfuro de sodio

Combinación para la tercera etapa

Porcentaje en peso sobre la piel en fresco	Químico
1,5 %	hidróxido de calcio
0,2 % - 0,3 %	sulfuro de sodio
0,1 %	tensoactivo

1.3 Caracterización de los efluentes de tenería

1.3.1 Efluente o agua residual de tenería

Cuando un producto de desecho como productos químicos, residuos industriales y de otros tipos se incorporan al agua, el líquido resultante recibe el nombre de agua residual.

El efluente de una tenería tiene características similares a las del drenaje doméstico, aunque con un mayor grado de contaminación. Es por esto que los parámetros que se utilizan para analizarlos son los mismos.

Debido a la composición de las aguas residuales de tenería, estas se analizan con diversas mediciones físicas, químicas y biológicas. Las mediciones más comunes incluyen la determinación del contenido de sólidos, la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno y el pH entre otros.

1.3.2 Parámetros de contaminación

Los parámetros más importantes que se usan para indicar las características de la contaminación para los efluentes de tenería son:

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos, sólidos totales, cromo, sulfuro, nitrógeno, flujo volumétrico, pH y alcalinidad.

1.3.2.1 Sólidos suspendidos (SS)

Los sólidos suspendidos del efluente consisten en la cantidad de materia insoluble contenida en el agua residual. Estos materiales insolubles provocan diversos problemas cuando se descargan, el lodo es un ejemplo de esto el cual da serios problemas, ya que puede obstruir con facilidad el paso del agua a través de la tubería que los transporta. Estos normalmente se expresan en mg / L.

Esencialmente se componen de sólidos con dos características diferentes: sólidos sedimentables y sólidos semicoloidales.

1.3.2.1.1 Sólidos sedimentables

Son sólidos que pueden verse, ya sea en suspensión cuando se toma una muestra del efluente, o asentados cuando se deja reposar dicha muestra.

Estos sólidos se producen en todas las áreas de la elaboración de la piel, pero una cantidad importante se genera en los procesos de ribera. Se expresan en mg / L.

Cuando se descargan este tipo de efluentes a aguas superficiales los sedimentos pueden formar un manto que interrumpe la oxigenación de esa área y con esto muere la vida acuática y vegetal creando condiciones fétidas.

1.3.2.1.2 Sólidos semicoloidales

Se trata de sólidos muy finos que para efectos prácticos no se asientan aún después de un reposo considerable. La mayoría de estos sólidos son residuos de proteína de las operaciones de ribera, principalmente en el proceso de encalado. Estos sólidos no causan problemas de lodo, pero si pueden descomponerse en el largo plazo. Se expresan en mg / L.

1.3.2.2 Demanda de oxígeno

La acción bacteriana descompone muchos elementos de los efluentes en componentes más sencillos. Tanto la supervivencia de este tipo de bacteria como la descomposición de los elementos requieren oxígeno. Cuando el efluente crea una demanda alta de oxígeno y se descarga directamente en agua superficial, el oxígeno desaparece del agua provocando la muerte de las plantas, bacterias y peces, los cuales dependen de oxígeno. De esta manera se establece un ambiente para una bacteria que no depende de oxígeno y se crean condiciones tóxicas en la corriente.

Para valorar el impacto del efluente debe determinarse la demanda de oxígeno, lo cual se consigue de dos maneras distintas.

1.3.2.2.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La DBO se define como la cantidad de oxígeno necesario que requieren las bacterias para estabilizar la materia orgánica, bajo condiciones aeróbicas en un intervalo de tiempo específico, normalmente dentro de 5 días y a 20⁰C de temperatura, por estas condiciones se le denomina a esta (DBO₅).

Mientras más sea la cantidad de materia orgánica introducida a un cuerpo de agua, mayor será la cantidad de oxígeno para su descomposición, por lo que habrá mayor consumo de oxígeno disuelto en el agua.

La DBO mide usualmente el contenido de materia carbonosa y nitrogenada oxidable en el agua . Se expresa en mg / L.

1.3.2.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La DQO es la cantidad de oxígeno, expresada en mg / L, que se requiere para la oxidación de la materia orgánica e inorgánica biodegradable o no, presente en el efluente. Juntamente con la DBO, indica el nivel de contaminación de un desecho y la presencia de sustancias resistentes a la biodegradación. Frecuentemente se prefiere este método ya que proporciona resultados rápidos (horas en lugar de días)

1.3.2.3 Nitrógeno

Muchos componentes del efluente de tenería contienen nitrógeno, algunos como parte de su estructura química. Los químicos más comunes son el amoníaco de los materiales descalcantes y el contenido de nitrógeno de los materiales con proteína que resultan del encalado y depilado. Los problemas que se presentan cuando los efluentes están contaminados con nitrógeno son: el excesivo crecimiento de las plantas y algas acuáticas que obstruyen las corrientes de agua y la gran cantidad de oxígeno que se requiere para la biodegradación. Normalmente se expresa en porcentaje de nitrógeno por unidad de volumen.

1.3.2.4 Potencial de hidrógeno

El potencial de hidrógeno (pH) de una solución se define como la actividad de iones de hidrógeno y es expresado como el logaritmo del recíproco de la actividad del ion hidrógeno en moles por litro a una temperatura dada. En la práctica la escala de pH se extiende de 0, muy ácido a 14, muy alcalino, mientras que el 7 corresponde al punto neutro.

Es común en la práctica ajustar el pH de los efluentes, a un rango alcalino para proteger las tuberías de descarga, porque en este rango se reduce el efecto corrosivo sobre el concreto.

1.3.2.5 Temperatura

La temperatura es una propiedad de los cuerpos que se define como el grado de agitación de las moléculas que los conforman. Esta propiedad se mide utilizando equipos denominados termómetros, los cuales vienen calibrados en diferentes escalas, siendo la utilizada por el sistema internacional la escala Celsius ($^{\circ}\text{C}$). La importancia de tener control en la temperatura de los efluentes de descarga radica en las condiciones de vida acuática, ya que elevar la temperatura unos pocos grados celsius al agua, puede ser letal para la mayoría de especies que viven en los cuerpos receptores.

2. METODOLOGÍA

2.1 Localización

La investigación se llevó a cabo en una planta curtidora de cuero en Quetzaltenango. Los análisis fisicoquímicos de las muestras se realizaron en el Laboratorio de tecnología del cuero del INTECAP, Quetzaltenango.

2.2 Recursos

2.2.1 Humanos

- Investigador: Christian Edy G. Villegas Custodio
- Asesor: Inga. Telma Maricela Cano Morales

2.2.2 Físicos

- Planta Curtidora de cuero o tenería
- Laboratorio de análisis de efluentes
- Reactivos para el procesamiento del cuero
- Reactivos para análisis de laboratorio.

2.3 Metodología experimental

2.3.1 Método de depilación con destrucción de pelo

- a. Colocar 100 lb de piel limpia, 200 lb de agua a una temperatura de 27 °C y 0,2 lb de una enzima para remojo en un bombo de curtición que gira a 2 rpm. El bombo rota por 60 minutos y al finalizar descargar el agua.
- b. Al bombo previamente drenado agregar 150 lb de agua a 28 °C de temperatura, 1 lb de enzima para remojo, 0,3 lb de carbonato sódico, 0,3 lb de bactericida y 0,5 lb de tensoactivo. El bombo rota por 180 minutos y dejar que repose durante un periodo de 30 minutos.
- c. Rotar el bombo 30 minutos dos veces y medir el pH de la solución contenida en el bombo. El pH debe de ser 9,5, si es inferior agregar más carbonato sódico hasta alcanzar este valor. Si es mayor agregar agua.
- d. Medir la densidad de la solución del bombo en grados Baumé y esta no debe de ser mayor a 1,5 °Be, en caso contrario hay que vaciar el bombo y continuar el proceso con un nuevo baño de 80 lb de agua a 27 °C.
- e. Agregar al bombo 1 lb de amina, y girar el bombo 20 minutos.
- f. Agregar 0,2 lb de tensoactivo y girar el bombo 10 minutos.
- g. Agregar 0,6 lb de hidrosulfuro de sodio, 0,5 lb de sulfuro de sodio, 1 lb de hidróxido de calcio y girar el bombo 60 minutos.
- h. Agregar 0,6 lb de sulfuro de sodio y girar el bombo 30 minutos
- i. Agregar agua a 25 °C hasta cubrir la piel, 2,5 lb de hidróxido de calcio y girar el bombo 15 minutos.
- j. Girar el bombo 5 minutos cada hora durante 12 horas y vaciar el bombo.

2.3.2 Método de depilación con recuperación de pelo, utilizando tecnología más limpia

- a. Colocar 100 lb de piel limpia, 200 lb de agua a una temperatura de 28 °C y 0,1 lb de enzima para remojo en un bombo de curtición que gira a 2 rpm. Rotar el bombo 60 minutos y al finalizar descargar el agua.
- b. Al bombo previamente drenado agregar 150 lb de agua a una temperatura de 28 °C, 1 lb de enzima para remojo, 0,5 lb de carbonato sódico, 0,3 lb de bactericida, 0,5 lb de tensoactivo. Rotar el bombo 180 minutos y dejar reposando por un periodo de 30 minutos.
- c. Rotar el bombo 30 minutos dos veces y medir el pH de la solución contenida en el bombo. El pH debe de ser 9,5, si es inferior agregar más carbonato sódico hasta alcanzar este valor, y si es mayor agregar agua.
- d. Medir la densidad de la solución del bombo en grados Baumé y esta no debe de ser mayor a 1,5 °Be, en caso contrario hay que vaciar el bombo y continuar el proceso con un nuevo baño de 80 lb de agua a 27 °C.
- e. Agregar al bombo 1 lb de amina, 0,2 lb de hidrosulfuro de sodio y rotar el bombo 45 minutos.
- f. Agregar 1,5 lb de hidróxido de calcio y rotar el bombo 45 minutos.
- g. Agregar 0,5 lb de sulfuro de sodio, 0,6 lb de hidrosulfuro de sodio y rotar el bombo 30 minutos, al finalizar este procedimiento se pone en reposo por 20 minutos.
- h. Rotar el bombo 30 minutos y luego reposar 20 minutos.

- i. Agregar 60 lb de agua a 28 °C, vaciar el líquido filtrando el pelo.
- j. Agregar 1,5 lb de hidróxido de calcio, 0,3 lb de sulfuro de sodio, 0,1 lb de tensoactivo y rotar el bombo 30 minutos.
- k. Girar el bombo 5 minutos cada hora durante 12 horas y vaciar el bombo.

2.3.3 Métodos de análisis

2.3.3.1 Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Procedimiento:

1. Tomar una alícuota de 5 ml de muestra con la pipeta y colocarlos en el matraz de fondo plano.
2. Adicionar 10 ml de dicromato de potasio 0.250N y diluir con 15 ml de agua destilada.
3. Añadir las perlas de vidrio, enfriar el matraz usando un baño de hielo.
4. Añadir 0,4 g de sulfato mercúrico y 30 ml de la solución de ácido sulfúrico-sulfato de plata muy lentamente, mezclar hasta disolver el sulfato mercúrico.
5. Enfriar mientras se está mezclando y evitar en lo posible pérdida de material volátil de la muestra.
6. Mezclar fuertemente.
7. Conectar el sistema de enfriamiento y calentar aproximadamente 2 horas o menos.
8. Enfriar la muestra a temperatura ambiente.
9. Diluir la muestra obtenida al doble de su volumen con agua destilada.

10. Titular con sulfato ferroso amoniacal, usando 2 o 3 gotas de ferroína como indicador.
11. El punto final de la titulación es el viraje de color de azul-verdoso a café-rojizo, aunque el color azul-verde reaparezca a los pocos minutos.

2.3.3.2 Determinación de sólidos sedimentables

Procedimiento

1. Llenar el cono de Imhoff hasta la marca de 1 litro con la muestra perfectamente mezclada y a 20°C
2. Dejar en reposo durante 45 minutos, agitando suavemente los lados del cono con la varilla, dejar en reposo 15 minutos más
3. Leer el volumen de la materia sedimentable en el cono como ml/L.

2.3.3.3 Determinación de sólidos en suspensión (no filtrables)

Procedimiento

Etapa I “Preparación del filtro”

- 1 Colocar el filtro en el crisol Gooch de 25 ml.
- 2 Colocar el crisol en el aparato de filtración.
- 3 Aplicar el vacío y lavar el filtro con volúmenes de 20 ml de agua destilada 3 veces.
- 4 Continuar la succión hasta remover las trazas de agua del filtro y descartar el agua de lavado.
- 5 Remover el crisol del aparato de vacío y secarlo en una estufa a 103°C – 105°C durante 1 hora.

- 6 Enfriar, pesar y guardar el crisol dentro del desecador, hasta ser utilizado.

Etapa II “Análisis de la muestra”

- 1 Tomar una muestra que no proporcione más de 200 mg de residuo no filtrable aproximadamente 100 ml.
- 2 A vacío filtrar la muestra.
- 3 Remover el crisol Gooch del aparato de vacío.
- 4 Secar en la estufa a 103°C – 105°C durante 1 hora por lo menos.
- 5 Enfriar en un desecador y pesar.
- 6 Repetir el secado hasta obtener un peso constante o hasta que la diferencia de pesos sea menor de 0,5 mg.

2.3.3.4 Determinación de sólidos filtrables

Procedimiento

Etapa I “Preparación del filtro”

- 1 Colocar el filtro en el crisol Gooch de 25 ml.
- 2 Colocar el crisol en el aparato de filtración.
- 3 Aplicar el vacío y lavar el filtro con volúmenes de 20 ml de agua destilada 3 veces.
- 4 Continuar la succión hasta remover las trazas de agua del filtro y descartar el agua de lavado.

Etapa II “Preparación del recipiente para evaporación”

- 1 Colocar el recipiente en una mufla a $550 \pm 50^{\circ}\text{C}$ durante 1 hora y enfriar en el desecador hasta utilizarlo.

Etapa III Análisis de la muestra

- 1 Tomar una muestra que dé, no más de 200 mg del residuo filtrable, aproximadamente 100 ml.
- 2 Filtrar la muestra a través del filtro y continuar la succión durante 3 minutos después de la filtración.
- 3 Tomar 100 ml del filtrado y colocarlos en el recipiente para evaporación y evaporar hasta sequedad a baño maría, cuidando que no exista ebullición violenta.
- 4 Secar la muestra evaporada al menos 1 hora en una estufa a $103^{\circ}\text{C} - 105^{\circ}\text{C}$.
- 5 Enfriar en un desecador y repetir el secado hasta que la diferencia de pesos sea menor a 0,5 mg.

2.3.3.5 Determinación de sólidos totales

Procedimiento

- 1 Colocar el recipiente para evaporación en la mufla durante 1 hora.
- 2 Enfriar y dejar dentro del desecador hasta ser utilizado.
- 3 Seleccionar un volumen de muestra de manera que el residuo sea de 25-250mg.
- 4 Evaporar la muestra completamente a baño maría o en una estufa de secado, evitando que hierva, para no perder muestra.
- 5 Secar el residuo a $103^{\circ}\text{C} - 105^{\circ}\text{C}$ por lo menos 1 hora.
- 6 Enfriar el recipiente en un desecador y pesar.
Repetir el secado a $103^{\circ}\text{C} - 105^{\circ}\text{C}$ y enfriar hasta que el peso sea constante o que varíe en 0,5 mg del peso anterior.

3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.1 Diseño experimental

Se realizó un análisis de variancia en una sola dirección, ya que se analizó un factor con dos tratamientos.

Para cada uno de los tratamientos se llevaron a cabo tres repeticiones para la determinación del nivel de contaminación, por lo tanto en total se realizaron seis corridas.

Tabla I Diseño para un experimento en una dirección, con dos tratamientos y tres repeticiones.

Tratamientos	No. de observaciones			Total	Promedio
1	$Y_{1,1}$	$Y_{1,2}$	$Y_{1,3}$	Y_1	μ_1
2	$Y_{2,1}$	$Y_{2,2}$	$Y_{2,3}$	Y_2	μ_2
				Y_i	μ_3

Donde

Y_i = es el total de las observaciones bajo i-ésimo tratamiento

μ_i = es el promedio de las observaciones bajo i-ésimo tratamiento, similarmente sea Y la suma de todas las observaciones y μ la media general de las observaciones.

3.2 Análisis de variancia

En la tabla II se presentan las fórmulas generales para realizar los cálculos correspondientes para el análisis de variancia en una dirección.

Tabla II Variables para el análisis de variancia en una dirección

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	f Calculada
Tratamiento	SSA	K-1	$S_1^2 = \frac{SSA}{K-1}$	$\frac{S_1^2}{S^2}$
Error	SSE	K(n-1)	$S^2 = \frac{SSE}{K(n-1)}$	
Total	SST	nk-1		

Donde

SST = se calcula de la siguiente manera

$$\sum Y^2 - Y_t/n = SST$$

SSA = se calcula de la siguiente manera

$$\sum Y^2 / K - Y_t/n = SSA$$

SSE = se calcula de la siguiente forma

$$SST - SSA = SSE$$

Este análisis presenta el siguiente modelo: $y_{ij} = \mu + T_i + \Sigma_{ij}$

Donde: y_{ij} = son las repeticiones de las corridas a evaluar

μ = es una constante

T_i = es el comportamiento de el nivel de contaminación a tratar

Σ_{ij} = es un término aleatorio

Se utilizó un nivel de significancia del 95% de exactitud para comprobar la hipótesis planteada. Con este nivel de significancia se rechaza la hipótesis nula (H_0) cuando:

$$f > f_{0.05} [k - 1, k(n - 1)]$$

Al rechazar la hipótesis nula automáticamente es aceptada la hipótesis alterna (H_1).

4. RESULTADOS

Tabla III Parámetros físico-químicos sanitarios generados en el proceso de depilado con destrucción de pelo.

Parámetro	Unidades	No. de corrida			Media
		1	2	3	
Físico-químico					
Sólidos Totales	mg / L	54,028	53,250	49,668	52,315.33
Sólidos Sedimentables	mg / L	18,009	19,200	18,175	18,461.33
Sólidos disueltos	mg / L	5,200	5,600	5,400	5,400.00
Sólidos no filtrables	mg / L	48,828	47,650	44,268	46,915.33
DQO	mg / L	26,400	28,800	24,800	26,666.67
PH		13.50	13.50	14.00	13.67
Temperatura	°C	18.50	20.00	19.00	19.17

Figura 8. Parámetros físico-químicos sanitarios promedio, generados en el proceso de depilado con destrucción de pelo.

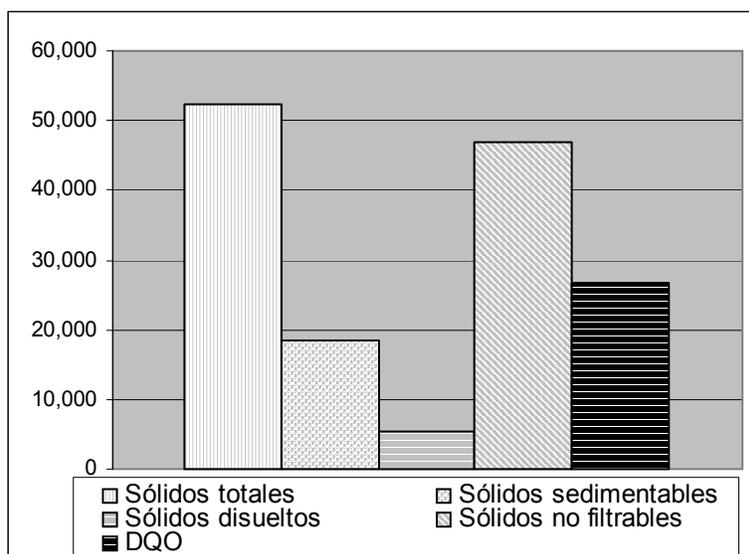


Tabla IV Parámetros físico-químicos sanitarios generados en el proceso de depilado con recuperación de pelo.

Parámetro	Unidades	No. de corrida			Media
		1	2	3	
Físico-químico					
Sólidos Totales	mg / L	27,174	27,346	27,180	27,233.33
Sólidos Sedimentables	mg / L	11,706	12,096	11,996	11,932.67
Sólidos disueltos	mg / L	3,172	3,433	3,348	3,317.67
Sólidos no filtrables	mg / L	24,002	23,913	23,832	23,915.67
DQO	mg / L	19,200	20,800	18,560	19,520.00
PH		14	14	14	14.00
Temperatura	°C	18.00	18.50	18.00	18.17

Figura 9 Parámetros físico-químicos sanitarios promedio, generados en el proceso de depilado con recuperación de pelo.

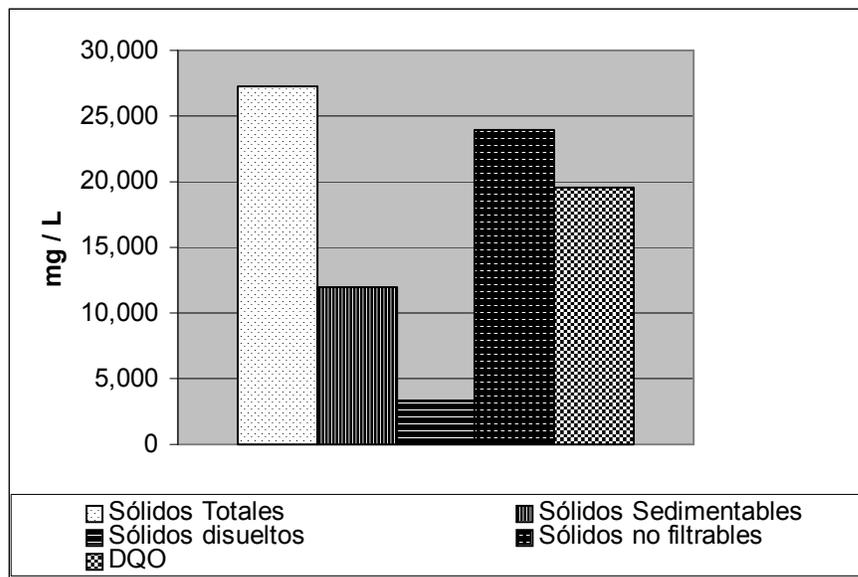
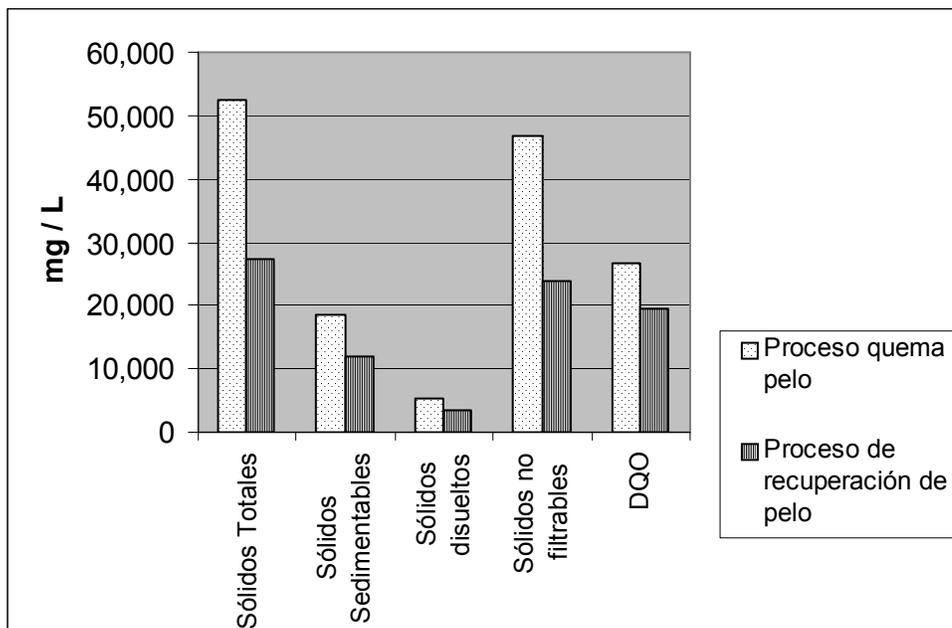


Tabla V Diferencia en los parámetros físico-químicos sanitarios.

Parámetro	Unidades	Proceso	Proceso con	Diferencia
Físico-químico		quema pelo	recuperación de pelo	(%)
Sólidos Totales	mg / L	52,315	27,233	47,94
Sólidos Sedimentables	mg / L	18,461	11,933	35,36
Sólidos disueltos	mg / L	5,400	3,318	38,56
Sólidos no filtrables	mg / L	46,915	23,916	49,02
DQO	mg / L	26,667	19,520	26,80
pH		13.67	14.00	----
Temperatura	°C	19.17	18.17	----

Figura 10 Gráfica comparativa entre los parámetros físico-químicos sanitarios generados en ambos procesos.



4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente trabajo de graduación se evaluaron los parámetros físico-químicos en los efluentes de una industria tenera, generados en dos procesos diferentes para depilar.

Mediante un análisis de variancia en una sola dirección, con dos tratamientos y tres repeticiones de cada uno de ellos, se evaluó la hipótesis planteada y se llegó a establecer a un nivel de significancia del 95% .

El propósito principal del proceso que se implementó (*depilado con recuperación de pelo*) es recuperar el pelo entero, con lo cual se espera una disminución significativa en los sólidos contenidos en el efluente, debido a que el pelo se remueve completamente del licor depilante, evitando la solubilización de este que se genera con el proceso actual de depilado.

Según el análisis de variancia se determinó que existe diferencia significativa en la concentración de sólidos (totales, sedimentables, disueltos y no filtrables) debido a que el valor F calculado para cada parámetro de contaminación es mayor que el F crítico (7,71), ver tablas (VI a IX) con lo cual se acepta la hipótesis alterna, que indica que las concentraciones de los parámetros de contaminación son menores cuando se utiliza el depilado con recuperación de pelo.

Utilizando el depilado con recuperación de pelo, los sólidos totales se reducen en un 47,94 % respecto al proceso actual de depilado.

Mediante el análisis de variancia también se pudo comprobar que en la demanda química de oxígeno (DQO), existe diferencia significativa al utilizar dos procesos para depilar diferentes, por lo que también se acepta la hipótesis alterna. La disminución que sufrió este parámetro de contaminación, que es del 26,80% (ver tabla V) fue debido a que el pelo se removió casi en su totalidad, habiendo menos materia orgánica oxidable, lo que incidió en dicha disminución.

En los resultados de pH y temperatura no existe una diferencia significativa entre los dos procesos de depilado, debido a que la temperatura del agua y las concentraciones de los compuestos químicos utilizados para depilar no se modificaron en la implementación del proceso de depilado con recuperación de pelo, por lo que estos resultados eran de esperarse.

Se llegó a determinar que existe diferencia significativa en los niveles de contaminación de los efluentes de tenería cuando se utilizan dos procesos distintos para depilar, reduciéndose dichos niveles entre 26,8% a 49,02% cuando se utiliza el proceso con tecnología más limpia para depilar, denominado proceso de depilado con recuperación de pelo, quedando así comprobada la hipótesis planteada en el trabajo.

CONCLUSIONES

1. Los niveles de contaminación en los efluentes de una industria tenera, se reducen al utilizar el método de depilado *con recuperación de pelo o guardapelo*.
2. Los sólidos (totales, sedimentables, disueltos y no filtrables) contenidos en las descargas del proceso de depilado se reducen significativamente cuando se utiliza el método de depilado con recuperación de pelo o guardapelo.
3. La disminución de los sólidos totales en el efluente del proceso de depilado es de 47.94% cuando se utiliza el método de depilado con recuperación de pelo, que utiliza tecnología más limpia
4. Cuando se utiliza el método de depilado con recuperación de pelo o guardapelo se logra reducir en un 26,80% la demanda química de oxígeno (DQO), en el efluente del proceso de depilado.
5. La temperatura y el pH de los efluentes de la industria tenera no sufren alteraciones cuando se utilizan los dos métodos de depilado evaluados en el estudio.

RECOMENDACIONES

1. Implementar el proceso de depilado con recuperación de pelo o guardapelo, en la industria tenera, para reducir los niveles de contaminación en los efluentes.
2. Realizar estudios posteriores acerca de la reducción de los compuestos químicos utilizados en el depilado, para evaluar la disminución no sólo en los niveles de contaminación sino en el costo de operación.
3. Promover, en la industria tenera, procesos de tecnología limpia, que no requieran de inversiones muy elevadas, sino que se hagan replanteamientos al proceso.

BIBLIOGRAFÍA

1. B.L.C. Training courses, Leather Technology Center. **Impacto ambiental, legislación y manejo**. s.e. Estados Unidos. s.a. pp. 25-102.
2. DEL VALLE De León, Carlos Arturo. Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de los cueros en un proceso de curtición utilizando tanino de encino (*Quercus ssp*), especie forestal de Guatemala y un tanino importado. Tesis Ing. Químico. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2004. pp. 1-5.
3. HERRERA, A., Pedro. **Introducción a la Tecnología del Cuero**. Costa Rica: Editorial Guayacán, 1989. pp. 23-55.
4. LOPEZ Gómez, Lidia y Juan Hernández. **Manual de métodos de análisis para el químico curtidor**. Editorial Artes Gráficas Potosinas. 1986. pp. 571-622
5. MORERA i Prat, Joseph María. **Química técnica de curtición**. s.e. España: Editorial Artympres, S.A. s.a. pp. 55-165.
6. PERRY, Robert y otros. **Manual del ingeniero químico**. 6ª ed. (volumen 2) México: Editorial McGraw-Hill, 1997. pp. 3-121
7. ULRICH, G. **Procesos de Ingeniería Química**. 2ª ed. México: Editorial McGraw Hill, 1991.

8. WALPOLE, Ronald, **Probabilidad y estadística**. 4ª ed. México: Editorial Mc-Graw Hill, 1992. pp. 485-495.

Referencia electrónica

9. www.cueronet.com Junio de 2005.
10. www.drcalderonlabs.com Junio de 2005.

APÉNDICE

A	Fórmulas para calcular los parámetros de contaminación	47
B	Datos del análisis de variancia	49
C	Límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores	51
D	Diagrama de flujo del proceso de depilado a quema-pelo o con destrucción de pelo (tecnología convencional)	53
E	Diagrama de flujo del proceso de depilado con recuperación de pelo (tecnología más limpia)	55
F	Análisis de Costo/Beneficio	57

APÉNDICE A. Fórmulas para calcular los parámetros de contaminación.

1. Sólidos totales

$$\text{Concentración de sólidos totales en (mg/L)} = \frac{(A-B) * (1000)}{C}$$

Donde:

A = peso de la muestra + peso del recipiente (todo en mg)

B = peso del recipiente en (mg)

C = volumen de muestra en (ml)

2. Sólidos disueltos

$$\text{Concentración de sólidos filtrables en (mg/L)} = \frac{(A-B) * (1000)}{C}$$

Donde:

A = peso del residuo seco + peso del recipiente (todo en mg)

B = peso del recipiente en (mg)

C = volumen de muestra en (ml)

3. Sólidos no filtrables

$$\text{Concentración de sólidos no filtrables (mg/L)} = \frac{(A-B) * (1000)}{C}$$

Donde:

A = peso del crisol Gooch con el filtro + peso del residuo (todo en mg)

B = peso del Crisol con el filtro(mg)

C = volumen de muestra en (ml)

4. Sólidos sedimentables

$$\text{Concentración de sólidos sedimentables en (mg/L)} = A * B * 1000$$

Donde:

A = ml medidos en el cono de Imhoff

B = densidad de los sólidos sedimentables

5. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

$$\text{Concentración de DQO en (mg/L)} = \frac{(A-B) * C * E * (1000)}{D}$$

Donde:

A = ml de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ gastados en el blanco

B = ml de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ gastados en la muestra

C = normalidad del $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$

D = ml de muestra

E = peso equivalente del oxígeno = 8

APÉNDICE B. Datos del análisis de variancia.

Tabla VI. Análisis de variancia para sólidos totales.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	f Crítico	f Calculada
Parámetro de contaminación	604608816.7	1	604608817	7.71	105.72
Error	22876723.33	4	5719180.8		
Total	627485540	5			

Tabla VII. Análisis de variancia para sólidos sedimentables.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	f Crítico	f Calculada
Parámetro de contaminación	63935232.6	1	63935233	7.71	279.71
Error	914287.3	4	228571.8		
Total	64849520	5			

Tabla VIII. Análisis de variancia para sólidos disueltos.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	f Crítico	f Calculada
Parámetro de contaminación	6504168.167	1	6504168.2	7.71	225.37
Error	115440.6667	4	28860.167		
Total	6619608.833	5			

Tabla IX. Análisis de variancia para sólidos no filtrables.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	f Crítico	f Calculada
Parámetro de contaminación	485694048.2	1	485694048	7.71	82.45
Error	23562714.67	4	5890678.7		
Total	509256762.8	5			

Tabla X. Análisis de variancia para DQO.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	f Crítico	f Calculada
Parámetro de contaminación	76612266.67	1	76612267	7.71	28.46
Error	10769066.67	4	2692266.7		
Total	87381333.33	5			

Tabla XI. Análisis de variancia para pH.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	f Crítico	f Calculada
Parámetro de contaminación	0.167	1	0.167	7.71	4
Error	0.167	4	0.0417		
Total	0.333	5			

Tabla XII. Análisis de variancia para temperatura.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	f Crítico	f Calculada
Parámetro de contaminación	1.5	1	1.5	7.71	4.5
Error	1.333333333	4	0.3333333		
Total	2.833333333	5			

APÉNDICE C. Límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores

Tabla XIII. Límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores.

Parámetros	Unidad	Ríos		Lagos Lagunas		Aguas costeras		Subsuelo	
		Etapa		Etapa		Etapa		Etapa	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Temperatura	⁰ C	±7	±7	±7	±7	±7	±7	±7	±7
Grasas y aceites	Mg/L	30	15	30	15	30	15	30	15
Sólidos sedimentables	MI/L	2	1	2	1	2	1	2	1
Sólidos suspendidos	Mg/L	120	60	80	40	150	75	300	150
DBO	Mg/L	200	100	80	40	200	100	400	200
DQO	Mg/L	300	200	150	100	300	200	450	300
Potencial de hidrógeno		6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9

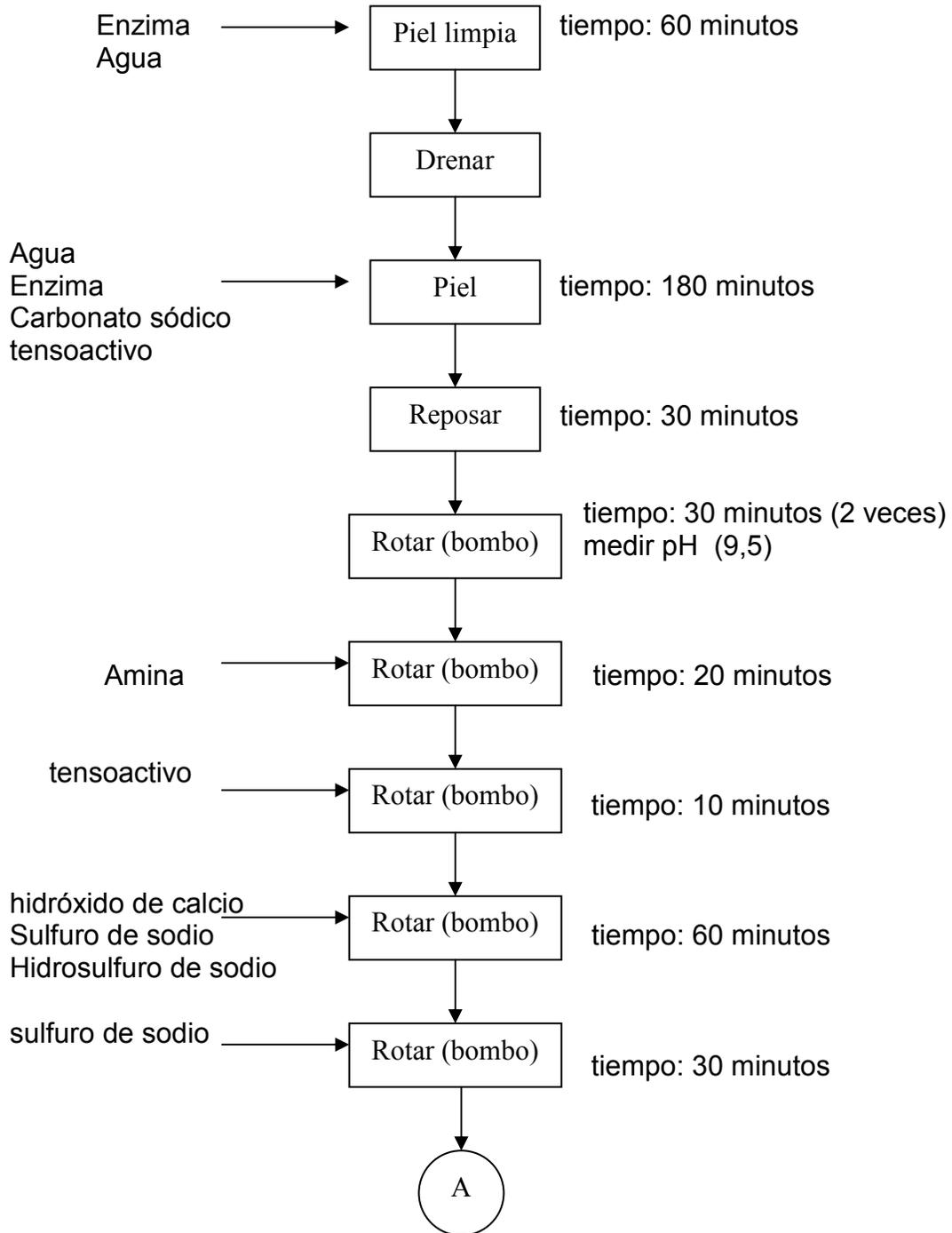
Fuente: Acuerdo gubernativo 66-2005

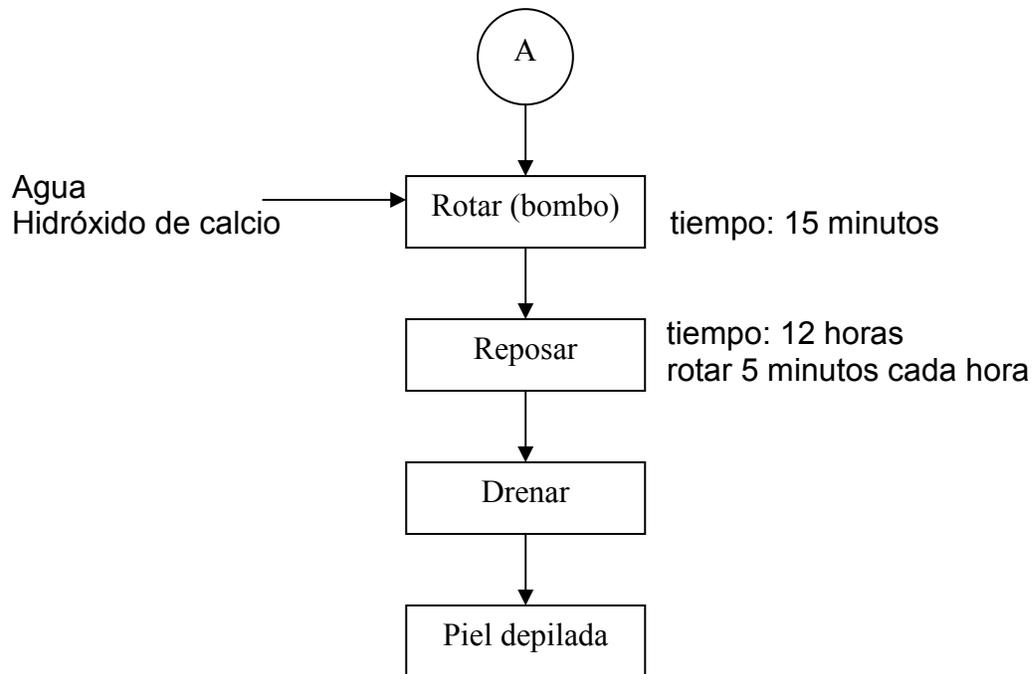
Tabla XIV. Límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores.

Parámetros	Unidad	Humedales		Alcantarillado público	
		Etapa		Etapa	
		1	2	1	2
Temperatura	^o C	±7	±7	±7	±7
Grasas y aceites	mg/L	30	15	30	15
Sólidos sedimentables	ml/L	2	1	2	1
Sólidos suspendidos	mg/L	120	60	120	120
DBO	mg/L	200	100	200	100
DQO	mg/L	300	200	300	200
Potencial de hidrógeno		6-9	6-9	6-9	6-9

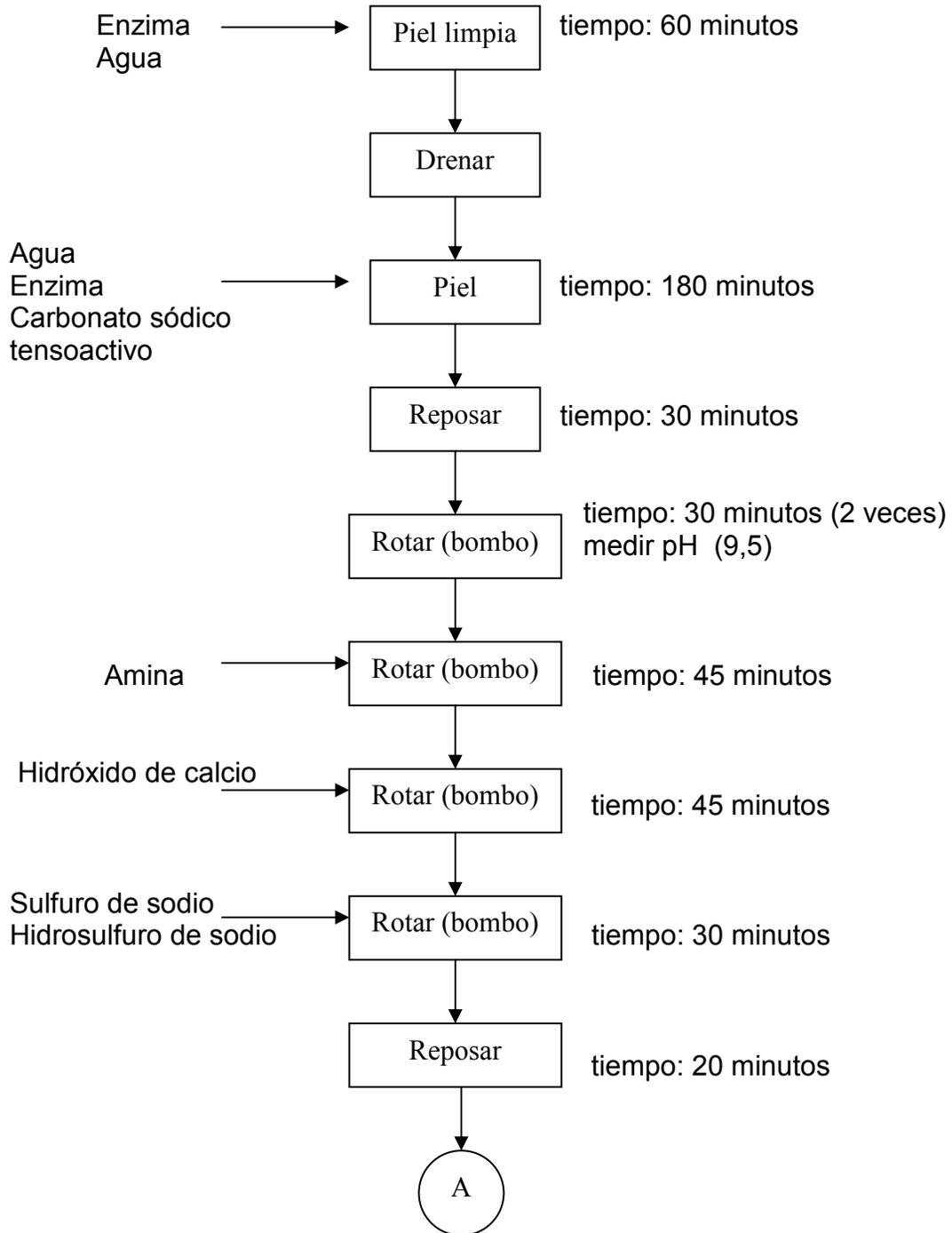
Fuente: Acuerdo gubernativo 66-2005

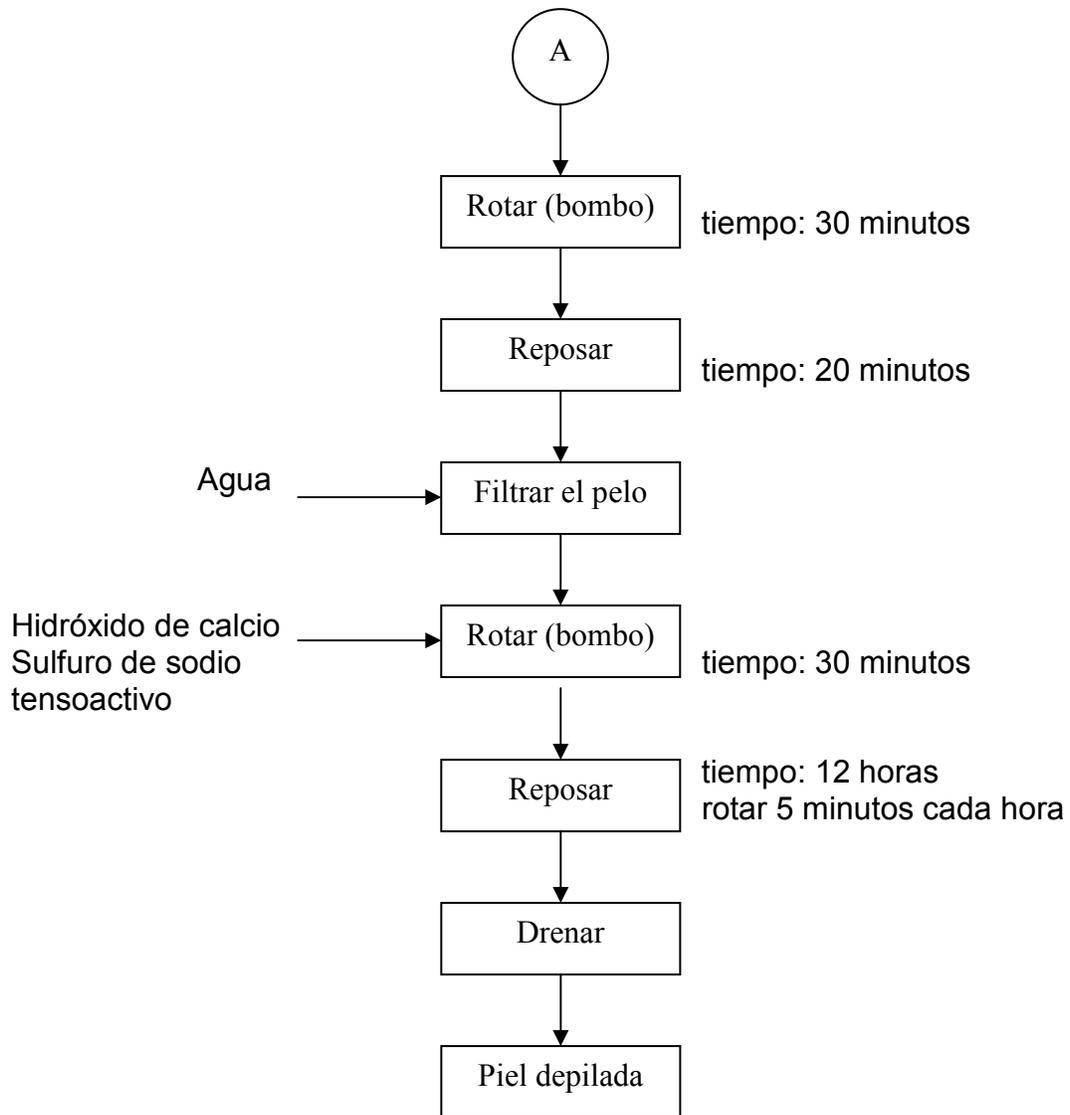
APÉNDICE D. Diagrama de flujo del proceso de depilado a quema-pelo o con destrucción de pelo (tecnología convencional)





APÉNDICE E. Diagrama de flujo del proceso de depilado con recuperación de pelo (tecnología más limpia)





APÉNDICE F. Análisis de Costo/Beneficio

Proceso a quema-pelo (tecnología convencional)

Tiempo del proceso: 19.75 horas ó 1,185 minutos

Capacidad por lote: 2,500 – 5,000 libras de piel fresca en cada bombo

Costo promedio de producción de 100 libras de piel: Q 430.00

Proceso con recuperación de pelo (tecnología más limpia)

Tiempo del proceso: 21.17 horas ó 1,270 minutos

Capacidad por lote: 2,500 – 5,000 libras de piel fresca en cada bombo

Costo promedio de producción de 100 libras de piel: Q 430.30

Análisis:

La diferencia en el tiempo de producción, es de 85 minutos más cuando se utiliza el proceso de recuperación de pelo respecto al proceso a quema-pelo, que representa un 7.2%. Esta diferencia se ve reflejada únicamente en el costo de mano de obra, ya que los productos químicos a utilizar y la capacidad de producción de la maquinaria no cambian. Este tiempo de mano de obra extra, que se tiene en el proceso de recuperación de pelo, tiene un costo aproximado de Q. 7.50 por lote.

La reducción de los niveles de contaminación, que se logra utilizando el proceso de depilado con recuperación de pelo, justifica el costo adicional de producción, ya que el tratamiento del efluente es mucho más costoso que el producir utilizando el método de depilado con recuperación de pelo. Dicho costo extra podría amortizarse teniendo en cuenta que el pelo recuperado, puede venderse como un subproducto.