

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**EVALUACIÓN DEL CURTIDO DE PIEL DE ALPACA (*Vicugna pacos*) PARA PELETERÍA EN UN REACTOR BATCH**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**NILTON JOSÉ VILCA PERLACIOS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**PUNO – PERÚ**

**2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**EVALUACIÓN DEL CURTIDO DE PIEL DE ALPACA (*Vicugna pacos*)  
PARA PELETERÍA EN UN REACTOR BATCH**

**TESIS PRESENTADA POR:  
NILTON JOSÉ VILCA PERLACIOS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**



**APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:**

**PRESIDENTE** : .....  
M.Sc. Pablo PARI HUARCAYA

**PRIMER MIEMBRO** : .....  
Dr. Walter Alejandro ZAMALLOA CUBA

**SEGUNDO MIEMBRO** : .....  
M.Sc. Marienela CALSIN CUTIMBO

**DIRECTOR** : .....  
M.Sc. Saïre Roenfi GUERRA LIMA

ÁREA : Ingeniería y Tecnología

TEMA: Desarrollo de Procesos y Productos Agroindustriales Sostenibles y Eficientes

FECHA DE SUSTENTACIÓN 30 DE DICIEMBRE DEL 2019

## DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarte cada día más.

A mis queridos padres, Lucio Vilca Aguirre y Nolberta Paula Perlacios Solis; a mis hermanos Willy, Wilfredo, Henry y Lizeth; a ellos mi eterna gratitud.

A mis docentes y amigos por acompañarme en mi formación como profesional brindándome apoyo y conocimientos.

Nilton

## AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, a su plana de docentes y administrativos por la formación profesional.
- Al Mg.Sc. Roenfi Guerra, Director de Tesis, por su acertada conducción en la culminación del presente trabajo.
- Al Mg.Sc. Pablo Pari Huarcaya, Dr. Walter Alejandro Zamalloa Cuba, Mg.Sc. Marienela Calsin Cutimbo, por su aporte valioso en la ejecución y culminación del presente trabajo de investigación.
- Al Lic. Celio Ccama Mamani y familia, por la oportunidad y apoyo brindado en la curtiembre Hatun Alpaca E.I.R.L.
- Al Lic. Hector Fuentes Cossio, por las facilidades brindadas en los laboratorios del Centro de Tecnología e Innovación Productiva Cuero Cochabamba – Bolivia.
- Al Sr. Martin Chaiña Vargas, por las facilidades prestadas en el laboratorio de Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- A la Mg.Sc. Whany Quispe Chambi, por su valioso apoyo en el desarrollo de la tesis.
- A todas las personas que me apoyaron durante todo el tiempo que duro el desarrollo de la tesis, a mis amigos a los cuales los llevo en mi corazón.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	11
ABSTRACT.....	12
I. INTRODUCCIÓN.....	13
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	15
2.1. REACTOR .....	15
2.2. TIPO DE REACTORES .....	15
2.3. DISEÑO DE REACTORES .....	16
2.4. REACTOR TIPO BATCH.....	16
2.5. ALPACA ( <i>Vicugna pacos</i> ) .....	17
2.5.1. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA ALPACA.....	18
2.5.2. POBLACIÓN DE ALPACAS.....	18
2.6. PIEL .....	20
2.6.1. ESTRUCTURA DE LA PIEL.....	21
2.6.2. PARTES DE LA PIEL EN BRUTO .....	22
2.6.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA .....	23
2.7. CUERO .....	24
2.8. CURTIDO DE PIELES.....	24
2.8.1. TIPOS DE CURTIDO DE PIELES .....	25
2.8.2. CURTIDO AL CROMO .....	25
2.8.2.1. CROMO.....	26
2.9. PROCESO DE CURTICIÓN.....	27
2.9.1. ETAPA DE RIBERA .....	27
2.9.1.1. REMOJO .....	27
2.9.1.2. DESCARNADO .....	29
2.9.1.3. DESENGRASE .....	29
2.9.1.4. PIQUELADO.....	30
2.9.1.5. REBAJADO.....	31
2.9.2. ETAPA DE CURTIDO .....	31
2.9.3. ETAPA POST CURTIDO.....	32
2.9.3.1. NEUTRALIZADO .....	33
2.9.3.2. ENGRASE.....	33



3.4.2.2.2. RESISTENCIA AL DESGARRO .....	61
3.4.2.2.3. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN .....	62
3.4.3. VARIABLES .....	63
3.4.4. DISEÑO ESTADÍSTICO .....	64
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	65
4.1. DIMENSIONAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR BATCH .....	65
4.2. PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE CROMO EN LA PIEL DE ALPACA .....	66
4.3. CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DEL CUERO .....	70
4.3.1. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN .....	70
4.3.2. PORCENTAJE DE ELONGACIÓN DEL CUERO .....	72
4.3.3. RESISTENCIA AL DESGARRO .....	73
4.3.4. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN .....	75
V. CONCLUSIONES .....	78
VI. RECOMENDACIONES .....	79
VII. REFERENCIAS .....	80
ANEXOS .....	87

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zonas de la piel.....	22
Figura 2. Dimensiones del tanque del reactor.....	41
Figura 3. Determinación de la altura de carga de posición.....	44
Figura 4. Determinación de la longitud de tuberías.....	45
Figura 5. Diagrama de Moody.....	47
Figura 6. Diagrama de flujo para el proceso de curtición de pieles.....	53
Figura 7. Pieles obtenidas al final del proceso de remojo. ....	54
Figura 8. Pieles durante el proceso de desengrase.....	55
Figura 9. Pieles durante el proceso de piquelado.....	56
Figura 10. Pieles durante el proceso de curtido. ....	57
Figura 11. Pieles durante el proceso de neutralizado.....	57
Figura 12. Determinación de la resistencia a la tracción y porcentaje de elongación. ...	61
Figura 13. Determinación de la resistencia al desgarró. ....	62
Figura 14. Determinación de la resistencia a la flexión.....	63
Figura 15. Dimensionamiento del reactor batch.....	65
Figura 16. Medias estimadas para el porcentaje de absorción de cromo.....	67
Figura 17. Determinación de resistencia a la tracción del cuero. ....	70
Figura 18. Determinación del porcentaje de elongación. ....	72
Figura 19. Determinación de la resistencia al desgarró. ....	73
Figura 20. Determinación de la resistencia a la flexión del cuero.....	76

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1: Población de alpacas por regiones al 2016.....	19
Tabla 2. Población de alpacas en la Región Puno. ....	20
Tabla 3. Composición de la piel fresca de alpaca, ovino y caprino.....	23
Tabla 4. Compuestos de cromo según su estado de oxidación.....	26
Tabla 5. Cálculo de la sumatoria del Coeficiente de pérdidas secundarias. ....	49
Tabla 6. Variables independientes. ....	63
Tabla 7. Requerimiento de la normatividad para las variables dependientes.....	64
Tabla 8. Resultados respecto al porcentaje de absorción de cromo.....	66

**ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo 1. Manual de operación del equipo. ....	87
Anexo 2. Evaluación del porcentaje de absorción de cromo. ....	88
Anexo 3. Características tecnológicas del cuero de alpaca curtido al cromo. ....	88
Anexo 4. Análisis de Varianza (ANVA) respecto al porcentaje de absorción de cromo. .....	89
Anexo 5. Prueba de comparación múltiple de Duncan para el porcentaje de absorción de cromo según el factor tiempo $\alpha=0,05$ .....	89
Anexo 6. Prueba de comparación múltiple de Duncan para el porcentaje de absorción de cromo según el factor de interacción Niveles (A) x Tiempo (B), $\alpha=0,05$ a las 8Horas .	89
Anexo 7. Análisis estadístico de los resultados de los ensayos físicos.....	90
Anexo 8. Balance de masa en el proceso de curtición.....	91
Anexo 9. Informe de análisis de laboratorio de PROINNOVA CUERO COCHABAMBA. .....	92
Anexo 10. Norma Técnica Peruana 241.023.2014. ....	94
Anexo 11. Panel fotográfico. ....	101

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se desarrolló en la Curtiembre Hatun Alpaca E.I.R.L. del distrito de Ayaviri, Provincia de Melgar, los análisis de absorción de cromo en el laboratorio de Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia - UNA - Puno y los análisis de calidad en los laboratorios del Centro de Tecnología e Innovación Productiva del Cuero Cochabamba - Bolivia. Los objetivos a investigar fueron: dimensionar y construir un reactor batch, para el curtido de piel de alpaca para peletería, evaluar dos niveles (superior e inferior) dentro del tanque del reactor y tres tiempos de curtido (4h, 6h, y 8h) sobre el porcentaje de absorción de cromo y evaluar las características tecnológicas del cuero. Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza y para la comparación de medias se utilizó la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), se obtuvo resultados con mayor porcentaje de absorción de cromo para los cueros de los tratamientos 5 y 6, los cueros descritos fueron sometidos a las pruebas de calidad tecnológica: resistencia a la tracción, porcentaje de elongación, resistencia al desgarro y resistencia a la flexión; el cuero del tratamiento 6 fue curtido a 8 horas en el nivel inferior del tanque del reactor, presentando una resistencia a la tracción de 23,16N/mm<sup>2</sup>, porcentaje de elongación de 42,34%, resistencia al desgarro de 84,2N/mm y resistencia a la flexión de 35 000 ciclos sin daño alguno; el cuero del tratamiento 5 fue curtido a 8 horas en el nivel superior del tanque del reactor, presentando una resistencia a la tracción de 10,94N/mm<sup>2</sup>, porcentaje de elongación de 27%, resistencia al desgarro de 75N/mm y resistencia a la flexión de 35 000 ciclos sin daño alguno, las mismas que cumplen con los requisitos según la Norma Técnica Peruana 241.023.2014.

**Palabras clave:** Dimensionamiento y construcción, reactor batch, curtido, piel de alpaca.

## ABSTRACT

This research was developed in the tannery Hatun Alpaca E.I.R.L. of the Ayaviri district, Melgar Province, chromium absorption analyzes in the Biochemistry laboratory of the Faculty of Veterinary Medicine and Zootecnics - UNA - Puno and quality analyzes in the laboratories of the Cochabamba Leather Technology and Innovation Center - Bolivia. The objectives to be investigated were: dimensioning and building a batch reactor, for tanning alpaca leather for fur, evaluating two levels (upper and lower) inside the reactor tank and three tanning times (4h, 6h, and 8h) on the percentage of chromium absorption and evaluate the technological characteristics of leather. The data obtained were subjected to an analysis of variance and the Duncan test was used for the comparison of means ( $\alpha = 0.05$ ), from the above results were obtained with a higher percentage of chromium absorption for the leathers of treatments 5 and 6, the described leathers were subjected to technological quality tests: tensile strength, percentage elongation, tear strength and flexural strength; The leather of treatment 6 was tanned at 8 hours in the lower level of the reactor tank, presenting a tensile strength of 23.16N/mm<sup>2</sup>, elongation percentage of 42.34%, tear resistance of 84.2N/mm and flexural strength of 35,000 cycles without any damage; The leather of treatment 5 was tanned at 8 hours in the upper level of the reactor tank, presenting a tensile strength of 10.94N/mm<sup>2</sup>, elongation percentage of 27%, tear resistance of 75N/mm and resistance to flexion of 35,000 cycles without any damage, which meet the requirements according to the Peruvian Technical Standard 241.023.2014.

**Key words:** Sizing and construction, batch reactor, tanning, alpaca skin.

## I. INTRODUCCIÓN

Desde las épocas primitivas, el ser humano ha practicado el arte de curtir como actividad en busca de un uso adecuado de la piel, debido a que siempre se ha visto en la piel de los animales una fuente de abrigo y protección frente a los factores externos. Es así, que esta actividad ha ido evolucionando a través de los años hasta la actualidad, con la búsqueda de nuevas técnicas e insumos que ayuden a mejorar la calidad del producto, disminuir el impacto en la salud del usuario y disminuir el impacto ambiental que provoca esta actividad en nuestro planeta (Córdova, 2014).

Se sabe que la curtiembre es una fuente de contaminación, sin embargo, el no procesar las pieles generaría grandes volúmenes de materia orgánica en descomposición, generando grandes cantidades de consumo de oxígeno, así mismo impediría sacar el mayor provecho a la actividad pecuaria y nos privaría de contar con productos de calidad de origen natural para atender nuestras necesidades de abrigo, accesorios u otras (Rincón, 2012).

Un buen curtido le da un gran valor a la piel y puede ser el factor decisivo para la compra o rechazo de la misma. Las características que debe tener el cuero son: cuero blanco, elástico, seco y suave al tacto, agamuzado y con olor agradable. Las características del pelo son: firme, flexible, brillante y sedoso al tacto, denso y acolchonado con su color natural vivo y luminoso. Estas características juntas son difíciles de cumplir y es muy común observar los siguientes defectos en las pieles: cuero amarillento, olor rancio, cuero duro y acartonado, piel sin elasticidad, también cuero húmedo en climas lluviosos, pelo caído y apelmazado, sin brillo y de color amarillento, roturas de cuero, fragilidad al desgarre y zonas peladas (Calvillo & Ramírez, 2010).

Frente a los requerimientos modernos de obtener una piel curtida con una gran resistencia a las acciones mecánicas, aspectos físicos como suavidad, flexibilidad y sobre todo resistencia al agua, se emplea en la actualidad la curtición de pieles con pelo con sales de cromo. Por lo tanto, la optimización del proceso de curtido es una de las opciones para la disminución de concentración de cromo en el baño agotado, mediante la aplicación de sistemas tecnológicos que mejoran la fijación de cromo en la piel (Chavarrea & Orozco, 2011).

En el presente trabajo, el dimensionamiento y la construcción del reactor batch se basará en el proceso realizado en curtiembres artesanales y a la experiencia en curtido en el que se desarrolla en bombos o fulones para producir movimiento. Este movimiento disminuye la calidad del producto debido a que la lana suele enredarse y formar motas. Mediante el sistema planteado las pieles no tendrán que realizar movimiento alguno, el fluido es quien tiene que circular a través de las mismas.

Como resultado de las consideraciones señaladas anteriormente la presente investigación tiene como objetivos:

- Dimensionar y construir un reactor batch, para el curtido de piel de alpaca para peletería.
- Evaluar dos niveles (superior e inferior) dentro del tanque del reactor y tres tiempos de curtido (4h, 6h, y 8h) sobre el porcentaje de absorción de cromo.
- Evaluar las características tecnológicas del cuero.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. REACTOR

Un reactor es una unidad procesadora diseñada para que en su interior se lleve a cabo una o varias reacciones químicas. Dicha unidad procesadora está constituida por un recipiente cerrado, el cual cuenta con líneas de entrada y salida de sustancias químicas. La estructura de los reactores es por lo general de forma cilíndrica, su tamaño puede variar desde unos cuantos mililitros hasta varios metros cúbicos, según la necesidad del fabricante y comúnmente son elaborados de acero inoxidable (Covaleda, 2014).

Según Covaleda (2014), los reactores químicos tienen como funciones principales:

- Asegurar el tipo de contacto o modo de fluir de los reactantes en el interior del tanque, para conseguir una mezcla deseada con los materiales reactantes.
- Proporcionar el tiempo suficiente de contacto entre las sustancias y con el catalizador, para conseguir la extensión deseada de la reacción.
- Permitir condiciones de presión, temperatura y composición de modo que la reacción tenga lugar en el grado y a la viscosidad deseada, atendiendo a los aspectos termodinámicos y cinéticos de la reacción.

### 2.2. TIPO DE REACTORES

Existen varios tipos de reactores, los cuales tienen diferentes aplicaciones, los cuales pueden resumirse en tres tipos de reactores, reactor discontinuo (batch), reactor perfectamente agitado y reactor flujo pistón, cada uno es utilizado para diferentes productos y aplicaciones dependiendo de cuál sea el caso (Uzi, 2009).

Los reactores perfectamente agitados operan con flujos continuos, y son utilizados cuando se tiene una demanda de producto constante y a gran escala, estos reactores son

diseñados para operar en grandes periodos de tiempo sin tener que parar su operación. Los reactores tipo flujo pistón son usados comúnmente en gases y cuando se realizan reacciones que requieran un catalizador heterogéneo (Uzi, 2009).

Los reactores batch, se emplean para operaciones a pequeña escala, para experimentar con procesos nuevos a escala de laboratorio, para fabricar productos costosos o de difícil elaboración, por esta razón se escogió el diseño y construcción de un reactor tipo batch, de igual forma, se escogió este tipo de reactor debido a que su construcción tiene un grado de complejidad menor en comparación con los otros tipos de reactores, por lo cual es factible concluir el proyecto en el periodo de tiempo establecido (Levenspiel, 2004).

### **2.3. DISEÑO DE REACTORES**

El diseño de un reactor debe permitir flexibilidad en la operación y el uso de materia prima variadas, tipos de catalizadores entre ácidos y básicos en baja concentración, aceites con diferentes niveles de acidez y etanol en diferentes excesos; por esto, se deben considerar intervalos de temperatura y presión de operación de acuerdo con las características de los reactivos. Además, un reactor de este tipo debe contar con sistemas de agitación y control de temperatura respectivo, salida de vapor, reflujo de condensado, acoples para el sistema de calentamiento y control de temperatura, acoples para tubería de alimentación y descarga, etc. Además de un intercambiador de calor que permita la recuperación de los productos volatilizados o en exceso (Covaleda, 2014).

### **2.4. REACTOR TIPO BATCH**

Este tipo de reactores, se caracteriza por no tener flujo de entrada de reactivos, ni de salida de productos mientras se lleva a cabo el proceso. Todos los compuestos son cargados inicialmente en los tanques de agitación y la reacción continua hasta

completarse. Este dispositivo tiene la ventaja de que su costo de instrumentación es bajo, además de ser flexible en su uso (se le puede detener de modo fácil y rápido) (Covaleda, 2014).

En estos reactores de este tipo se añaden los reactivos y luego de un determinado tiempo se retira el producto, son fáciles de manejar y se los utiliza en curtición debido a que la concentración de reactivos es la misma en cualquier punto del reactor (Chavarrea & Orozco, 2011).

## **2.5. ALPACA (*Vicugna pacos*)**

La alpaca (*Vicugna pacos*), es la especie de mayor existencia numérica en el Perú y la más cotizada por la producción de fibra. Existen dos razas de alpacas: suri y huacaya. Se diferencian claramente por sus características fenotípicas. La alpaca suri presenta fibras de gran longitud que se organizan en rizos que caen por los costados del cuerpo, similar a lo que se observa en los ovinos de raza Lincoln; esto le da al animal una apariencia angulosa. En cambio, la alpaca huacaya presenta un vellón de apariencia esponjosa, con fibras de menor longitud, similar al vellón del ovino de raza corriedale, lo que le da una apariencia más voluminosa al animal. Pese a la diferencia de aspecto, no hay diferencias marcadas en el peso de las crías al nacer (7,5 a 8,0 kg) ni en el peso vivo adulto entre individuos de las dos razas (Promedio de 65 kg en hembras y 70 kg en machos) (FAO, 2005).

Ambas razas presentan una gama de colores de fibra que van del blanco al negro pasando por los colores intermedios. Hay una mayor demanda del mercado por la fibra blanca, de ahí que hay una tendencia al predominio de animales blancos en los rebaños por la selección orientada a esa característica. Sin embargo, los colores naturales son cada

vez más apreciados por la industria por lo que se impone la necesidad de preservar este material genético (FAO, 2005).

### **2.5.1. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA ALPACA**

Reino: Animal

Tipo: Mamífero herbívoro

Orden: Artiodactyla

Sub-orden: Tylópoda

Familia: Camelidae

Género: Vicugna

Especie: Vicugna pacos L.

Fuente: Kadwell et al., 2001.

### **2.5.2. POBLACIÓN DE ALPACAS**

Es de conocimiento mundial que el Perú es el país con mayor población de alpacas, especie que no es ajena al proceso de curtido y que según datos de DGESEP-MINAGRI la población de alpacas para el año 2016 es de 4'319 228 cabezas (Ministerio de Agricultura y Riego, 2017).

Según la Tabla 1, Puno alberga 2'036 210 alpacas, el mismo que representa el 47,06% de la población nacional, seguido por Cusco con 14,13%, Arequipa con 9,96%, Huancavelica con 6,33%, Ayacucho con 5,91%, Apurímac con 5,01%, Moquegua con 3,42%, Pasco con 2,92% y el resto de las regiones completan la población total (MINAGRI, 2017).

**Tabla 1: Población de alpacas por regiones al 2016.**

<b>Región</b>	<b>Población (N° de animales)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Puno	2'032 490	47,06
Cusco	610 184	14,13
Arequipa	430 271	9,96
Huancavelica	273 249	6,33
Ayacucho	255 377	5,91
Apurímac	216 265	5,01
Moquegua	147 754	3,42
Pasco	125 956	2,92
Junín	82 535	1,91
Tacna	78 238	1,81
Lima	40 511	0,94
Ancash	10 201	0,24
La Libertad	7 999	0,18
Huánuco	6 967	0,16
Cajamarca	1 150	0,02
Piura	82	0,001
<b>Total</b>	<b>4'319 228</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaborado en base a datos de DGESEP – MINAGRI, 2017.

Según la Tabla 2, referente a la población de alpacas de la Región Puno por provincias, se puede apreciar que la mayor población de alpacas se encuentra en las provincias de Melgar con el 14,57%, Lampa 14,42% y Carabaya 13,78%, seguido por Azángaro 9,74%, Chucuito 9,40%, El Collao 8,97%, Puno 8,61%, Huancané 7,60%, San Antonio de Putina 6,99% y el resto de provincias completan la población total (MINAGRI, 2017).

**Tabla 2. Población de alpacas en la Región Puno.**

<b>Región</b>	<b>Población (N° de animales)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Melgar	296 210	14,57
Lampa	293 080	14,42
Carabaya	280 110	13,78
Azángaro	198 010	9,74
Chucuito	191 020	9,40
El Collao	182 340	8,97
Puno	175 090	8,61
Huancané	154 420	7,60
S.A. de Putina	142 110	6,99
San Román	56 630	2,79
Sandia	53 160	2,62
Moho	9 860	0,49
Yunguyo	450	0,02
<b>Total</b>	<b>2'032 490</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaborado en base a datos de la Dirección Regional Agraria Puno, 2017.

## 2.6. PIEL

La piel es la cubierta externa que protege al cuerpo de los factores externos, actúa en la termorregulación, cumple un papel importante en la secreción y excreción por medio de las glándulas, la piel también participa en la recepción de estímulos, en la síntesis de vitamina D3 y en el almacenamiento de lípidos (Garro, 2012).

La piel está compuesta por varias capas de tejidos celulares y forman la cubierta externa, es la materia prima para la producción de cuero. Sin ningún tipo de conservación es un material o sustancia que por poseer características de materia orgánica viva se pudre en un ambiente húmedo volviéndose dura, perdiendo suavidad y flexibilidad al secarse completamente (Doria, 2005).

La piel de alpaca presenta características específicas como el pasaje insensible de tejido conectivo laxo o denso de la dermis papilar a la profunda, la escasa cantidad de grasa en la dermis profunda, la distribución de los folículos pilosos en los complejos pilosos y fuera de ellos, que penetran en dermis a diferentes profundidades y en ángulo agudo en relación con la piel, la presencia en el plexo vascular subpapilar de glomus, abundancia de eosinófilos y escasez de pericitos (Vélez et al., 2007).

### 2.6.1. ESTRUCTURA DE LA PIEL

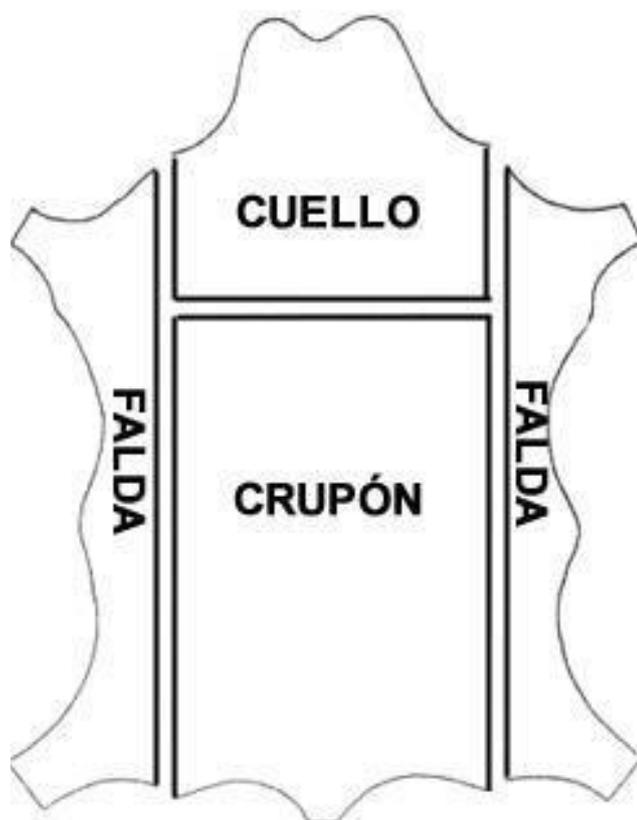
Un corte transversal de la piel presenta una estructura complicada distinguiéndose:

- a) **Epidermis o lado Flor.** Casi 1/6 de espesor de la piel, contiene las glándulas sudoríparas, las bolsas o folículos del pelo, que contienen los pelos, estos están aceitados por las glándulas, que están unidos a los músculos, las que hace que los pelos se paren cuando el animal tiene frío o esté asustado (Huerga, 2005).
- b) **Dermis o Corium.** La dermis también llamada corium o cutis es la parte central, más fibrosa y más importante para el curtido, pues es la que se convierte en cuero. La dermis es la capa compacta, conjuntiva elástica entre mallada de la piel, la cual según la situación topográfica del animal proporciona a esta su espesor, está recubierta exteriormente por la epidermis. En la dermis se encuentran, además de vasos y nervios, manojos de haces de fibras musculares lisas (Doria, 2005).
- c) **Endodermis o hipodermis.** La endodermis o también llamada hipodermis es la cara subyacente a la piel, está compuesta por tejido laxo, fija o asegura la dermis a los huesos o músculos del animal, encontrándose en ella vasos sanguíneos muy gruesos, nervios y grasa la cual no es de importancia para el curtidor (Doria, 2005).

### 2.6.2. PARTES DE LA PIEL EN BRUTO

En la piel recién extraída de los animales sacrificados se llama: "piel fresca" o "piel verde". Existen zonas de estructura bastante diferenciada en lo que respecta al espesor y la capacidad, en la piel se distingue tres zonas: el crupón, el cuello y las faldas (Hidalgo, 2004).

El cuello, es parte de la piel con mayor espesor, presenta muchas arrugas y pesa aproximadamente 25% del total de la piel fresca. El crupón, es la parte más homogénea, compacta y valiosa; aproximadamente pesa 45% del total de la piel fresca. La falda, posee menor espesor y una textura más abierta; representa aproximadamente el 30% del total de la piel fresca. Por tales motivos, las diferentes zonas de la piel presentan distintos comportamientos durante la actividad curtiembre (González, 2007; Morera, 2002).



**Figura 1.** Zonas de la piel.  
Fuente: Cueronet, 2018.

### 2.6.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA

Con respecto a la composición química de la piel de alpaca se puede afirmar que, a comparación de la piel de ovino, ésta presenta un mayor porcentaje de proteína, mas no así para el caso de la grasa y la ceniza total. En la Tabla 3, se muestran los porcentajes de los componentes químicos de la piel de alpaca comparándolos con los componentes químicos de la piel de ovino y caprino (Doria, 2005).

**Tabla 3. Composición de la piel fresca de alpaca, ovino y caprino.**

Análisis	Alpaca		Ovino		Caprino	
	Cuello	Crupón	Cuello	Crupón	Cuello	Crupón
Humedad (%)	69,07	70,40	70,10	70,47	68,24	71,84
Ceniza Total* (%)	1,17	0,98	1,45	1,12	1,20	0,99
Grasa Total* (%)	6,61	7,53	13,38	14,98	10,84	12,25
Proteína Total* (%)	91,23	90,08	83,16	81,80	86,86	84,92

\*: Base seca.

Fuente: Guanilo, 1983.

Según los valores hallados, el contenido de humedad se halla entre los valores de 68,24 a 71,84% siendo la zona del crupón la que tiene mayor humedad con respecto al cuello, en promedio es menor el contenido de humedad en pieles de alpaca y ligeramente mayor en las pieles de ovino. Con respecto al contenido de ceniza total, es mayor en la zona del cuello comparándola con la del crupón, en promedio es menor el contenido de ceniza en pieles de alpaca y mayor en las pieles de ovino. El contenido de grasa total difiere significativamente entre especies y aún entre zonas de la piel, apreciándose las mayores diferencias entre alpaca y ovino, la grasa es mayor en la zona del crupón en todas las especies. Las pieles que presentan alto contenido de proteína son las de alpaca y las que presentan menor contenido son las de ovino, la zona del cuello posee mayor cantidad de proteína con respecto al crupón (Doria, 2005).

## 2.7. CUERO

El cuero es un producto natural resultante de un conjunto de operaciones llamado curtido y que tiene por objetivo transformar las pieles de los animales en materia libre de putrefacción que presenta cierto número de propiedades físicas, variable según los usos a los que se destine este producto (Burreli, 1981).

El cuero es un material proteico fibroso (colágeno) que se trata químicamente con material curtiente, para obtener las propiedades físicas deseadas para el fin al cual se destinará. Algunas de las propiedades físicas más importantes son el espesor, la resistencia al desgarro, impermeabilidad y el porcentaje de humedad (Bacardit, 2004).

## 2.8. CURTIDO DE PIELES

Se conoce como “curtido” o “curtición” al conjunto de operaciones que sirven para la transformación de una piel cruda en un material resistente, flexible, uniforme y apto para fines de uso humano, industrial o técnico. Un aspecto importante al establecer el criterio de curtición es la formación de una combinación irreversible entre la piel y el material curtiente que da lugar a un aumento en la estabilidad hidrotérmica del colágeno, a una disminución de la capacidad de hinchamiento del mismo en agua y a una mayor estabilidad frente a la acción enzimática (Gómez, 2016).

El objetivo del curtido es evitar que las proteínas de la estructura fibrosa de la piel o cuero se pudran, lo que se lleva a cabo mediante la estabilización de dichas proteínas, con una resistencia a los ataques de bacterias o a las altas temperaturas. Todas las sustancias que producen esta estabilización se les llama curtientes. Su efecto se reconoce cuando el cuero al secarse no se hace duro sino poroso y flexible (Gómez, 2016).

El proceso de curtición consta de varios procesos, siendo cada uno de ellos de igual importancia, en este proceso se inicia de una piel recién desollada en estado fresco

y finaliza en cuero. La curtición se caracteriza por ser un proceso irreversible y estable a la degradación enzimática, a la temperatura, al hinchamiento y a la deformidad (Vargas, 2005).

### **2.8.1. TIPOS DE CURTIDO DE PIELES**

Pueden curtirse con cualquiera de los siguientes procedimientos (Chavarrea & Orozco, 2011):

- a) Al formol;
- b) Al alumbre común;
- c) Al cromo; con curtientes vegetales, sintéticos o combinados.

Cada uno de estos métodos tiene sus finalidades; se emplea a) y b) cuando se desean obtener cueros blancos, pudiéndose también usar con el mismo fin c) al cromo, que se recomienda también para el cuero destinado al calzado y es apropiado para el cuero para peletería (Chavarrea & Orozco, 2011).

### **2.8.2. CURTIDO AL CROMO**

Las sales de  $\text{Cr}^{+3}$  son desde hace más de un siglo uno de los más importantes. Hoy en día mundialmente el 80% de todos los cueros se curten de esta manera. El proceso de curtido al cromo es considerado el más versátil, ya que permite recurtir las pieles, por sistema vegetal. Después de la curtición al cromo, el cuero se escurre, rebaja y divide mecánicamente para obtener el "wet blue", un producto cuyo nombre se debe al color azul verde del sulfato de cromo. Los cueros sin cromo, por su color claro, se llaman "wet white" (Méndez. 2007).

### 2.8.2.1. CROMO

El cromo (Cr) es un elemento natural que se encuentra en rocas, plantas, suelos, animales, en los humus y gases volcánicos. Pudiendo presentarse, con distintas valencias y en el ambiente, en varias formas (Córdova, 2014).

A continuación, en la Tabla 4 se muestran los compuestos de cromo según su estado de oxidación.

**Tabla 4. Compuestos de cromo según su estado de oxidación.**

Compuesto	Formula	Estado de oxidación
Óxido de cromo	CrO	2 <sup>+</sup>
Hidróxido de cromo	Cr(OH) <sub>2</sub>	2 <sup>+</sup>
Dióxido de cromo	CrO <sub>2</sub>	4 <sup>+</sup>
Trióxido de cromo	CrO <sub>3</sub>	6 <sup>+</sup>
Oxido de cromo	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3 <sup>+</sup>
Hidróxido de cromo	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> xH <sub>2</sub> O	3 <sup>+</sup>
Cromitas	(Cr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup>	3 <sup>+</sup>
Anhídrido crómico	CrO <sub>3</sub>	6 <sup>+</sup>
Cromatos	(CrO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup> y (Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ) <sup>2-</sup>	6 <sup>+</sup>

Fuente: Carvajal et al., 2004

Es un elemento común y ocupa el lugar 21 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre. Su símbolo químico es “Cr”, su número atómico es 24, pertenece al grupo VI B de la tabla periódica, su masa atómica es 51,996, su punto de fusión es de 1857°C, el de ebullición es de 2672°C y su densidad es de 7,14 g/cm<sup>3</sup>. Los estados de oxidación más estables son trivalentes y el hexavalente. El cromo trivalente es la forma con más estabilidad química, ya que requiere una energía considerable para convertirlo en otros estados de oxidación más bajos o más altos (Córdova, 2014).

El cromo y sus compuestos por sus características químicas y por los beneficios que brinda en la elaboración de múltiples productos, son ampliamente utilizados en

diversos procesos industriales, tales como: curtiembre, la industria del cemento, pintura y tintes de cromo, producción de aceros, aleaciones metálicas, entre otros (Carvajal et al. 2004; Barsoum et al., 2006).

## **2.9. PROCESO DE CURTICIÓN**

### **2.9.1. ETAPA DE RIBERA**

Es el conjunto de operaciones mecánicas, químicas, físico-químicos y enzimáticos, cuyo objeto es eliminar de la piel cuantos componentes no son adecuados para la posterior fase de curtición, se denominan trabajos de ribera y comprenden: remojo, descarnado, desengrasado y en algunos casos piquelado cuando se trata de pieles destinadas principalmente a la curtición al cromo (Gómez, 2016).

#### **2.9.1.1. REMOJO**

Las pieles previamente saladas y secas, son seleccionadas y se sumergen durante 24 horas en agua, para lograr su ablandamiento y eliminar la sal y la suciedad (sangre, tierra, estiércol) que traen inicialmente. Dependiendo del tipo de piel, del proceso y de las condiciones climáticas, se debe emplear bactericidas como agentes conservantes y para minimizar el daño que pudieran ocasionar las bacterias a las pieles. Este proceso se lleva a cabo en piscinas y el consumo de agua en el mismo oscila entre el 200 y 400% respecto al peso de la piel. Concluido el proceso de remojo, las pieles son sometidas a un lavado previo al proceso de pelambre. El objetivo de devolver a las pieles conservadas por deshidratación, a las cualidades de suavidad, morbidez y flexibilidad que poseían cuando fueron recién quitados del animal (Campos, 2013).

Durante el remojo influyen factores como:

- **Forma y estado de conservación de las pieles.** Si las pieles se encuentran correctamente conservadas, es fácil lograr la rehumectación, aunque es

conveniente el empleo de algún bactericida. En caso contrario, la mala conservación requiere un lavado y enjuague previo al remojo y luego colocar las pieles en un baño nuevo con adición de bactericida. Si las pieles fueron secadas rápidamente el tiempo de remojo será largo porque tardara más el agua del baño para solubilizar las capas secas externas del cuero, es conveniente la adición de tensoactivos. Para los cueros en sangre solo es necesario un lavado (Doria, 2005).

- **Cantidad de agua utilizada.** Es necesario calcular el peso de las pieles para luego determinar el volumen de agua requerido y el cálculo de productos a utilizar. Para pieles frescas saladas la proporción conveniente es de 3 a 4 partes de agua por una de piel, para pieles secas, el flote recomendado es de 6 a 8 porciones de agua por una de piel (Doria, 2005).
- **Temperatura de remojo.** Es un factor que influye en la disolución de las sustancias proteicas solubles de la piel y sales que contenga. A mayor temperatura, existe mayor poder de solubilidad, pero si el aumento es muy grande, puede destruir las fibras de la piel (Doria, 2005). Es recomendable mantener la temperatura de remojo entre 15 y 20 °C y se deberá reducir el tiempo de remojo por cada diez grados por encima de los 20 °C y aumentar la cantidad de bactericida (Doria, 2005).
- **pH del baño de remojo.** El rango es amplio, de 4,5 a 11,0, pero es conveniente trabajar a pH alcalino de 11 como máximo (Doria, 2005).
- **Efectos mecánicos.** El trabajo mecánico facilita la rehidratación de los cueros y contribuye a separar las fibras internas del cuero. El movimiento debe ser lento para no provocar la ruptura de las fibras y causar daño a la piel (Doria, 2005).
- **Adición de agentes auxiliares.** Estos agentes pueden ser enzimáticos, químicos, antisépticos y bactericidas (Doria, 2005).

- **Tiempo de remojo.** El tiempo recomendable es de 12 a 24 horas en pieles saladas y 24 a 48 horas en pieles seco-dulces. La duración del tiempo de remojo no debería prolongarse durante un tiempo superior al mínimo periodo latente de crecimiento de las bacterias (Doria, 2005).
- **Control.** Se debe controlar por medio manual la piel hasta que se sienta suave. Además, hacer un corte transversal de la piel y ver la fibra que esté opaca, blanquecina y no transparente (Doria, 2005).

### 2.9.1.2. DESCARNADO

El principio de esta operación mecánica es la limpieza de la piel eliminando el tejido subcutáneo y adiposo. Dichos tejidos deben quitarse en las primeras etapas de la fabricación con el fin de facilitar la penetración de los productos químicos aplicados en las fases posteriores y tener un espesor lo más regular posible. Esta operación también puede hacerse cuando la piel ya queda bien remojada, cuando se trata de pieles muy grasientas este descarnado se llama también “graminado” (Méndez, 2007).

El descarnado se realiza con maquina descarnadora, también se puede realizar manualmente con unas cuchillas con filo, sobre unos bancos de descarnar o zurrar, que son de madera apoyados en plano inclinado sobre 2 soportes, este el caso de nuestra práctica (Méndez, 2007).

### 2.9.1.3. DESENGRASE

La grasa natural de la piel es de una composición química bastante compleja está formada principalmente por triglicéridos, ceras, esteroides y fosfolípidos. La distribución en el corte de la piel de las sustancias grasas corresponde a un modelo de tres capas (Méndez, 2007):

- En el tejido adiposo adherido en el lado carne con predominio de triglicéridos.

- En la capa flor donde predominan las ceras.
- Entre la flor y la carne en donde predominan los triglicéridos, fosfolípidos y esteroides, y menor cantidad de ceras.

La necesidad de desengrase viene dada por inconvenientes que reporta su presencia en (Méndez, 2007):

- Dificulta las reacciones químicas de los productos químicos con la fibra de la piel por que la grasa no es miscible con el agua.
- Por la presencia de la grasa habrá problemas de manchas oscuras y no permitirán un buen teñido y en el acabado.
- El enrranciamiento (mal olor).

#### **2.9.1.4. PIQUELADO**

Tiene como objetivo, el acondicionar las pieles para el curtido, interrumpir la acción de las enzimas sobre el colágeno. La sal neutra se adiciona antes que el ácido, su misión en el baño es impedir el hinchamiento ácido del colágeno. El efecto hinchante se debe a que el colágeno se carga en medio ácido y el exceso de los iones incorporados de las sales neutras, igualan las diferencias de concentración entre la fase gel y la fase líquida. Es decir, la sal neutra (NaCl), no se combina prácticamente con la piel de manera que su concentración permanece inalterable. Una vez limpia por lavado continuo después del desengrasado, se pone el 80 por ciento de agua a 18-20°C, se añade a continuación la sal común. Éste debe estar entre 6 y 7 °Be, luego se agrega al ácido fórmico (1:3) y luego agregar el ácido orgánico y después de 10 minutos se debe controlar tanto el baño, el pH de la piel que debe ser aproximadamente 3 (Méndez, 2007). Según Méndez (2007), para generar un buen picle es necesario cumplir con las siguientes indicaciones:

- Temperatura de baño: 18-22 °C.

- Baño (flote): 80-100% Agua blanda.
- Cantidad de sal: 7-8% de peso piel ácido combinado.
- 0,8% ácido sulfúrico (solución).
- 0,6% ácido fórmico (solución).
- pH final: 3 – 3,2.

El auxiliar para regular el pH de picle es el formiato de sodio en 1,5%, el formiato de sodio es anfótero a la vez regula el grado de flor (Méndez, 2007).

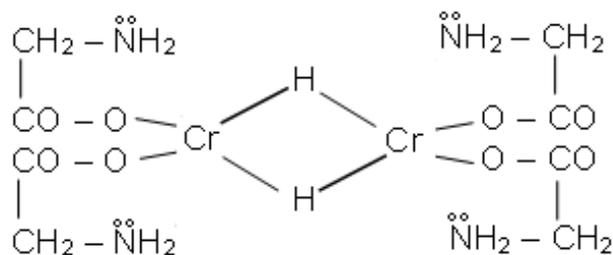
#### **2.9.1.5. REBAJADO**

Es una operación que sirve para dar el espesor al cuero que se requiere, dado que el cuero tiene diferente espesor en sus secciones, esta operación se realiza en una máquina rebajadora (Portilla, 2013).

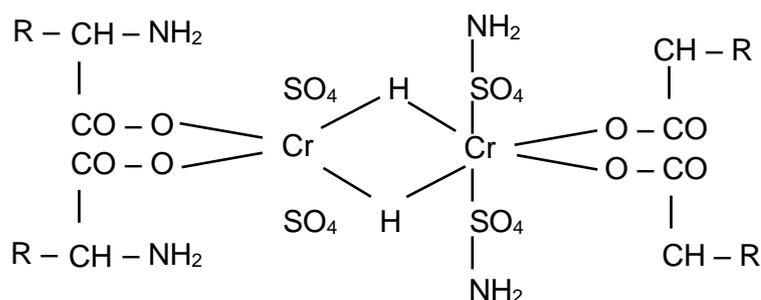
#### **2.9.2. ETAPA DE CURTIDO**

Es la operación más importante dentro de los procesos de curtido, el objetivo principal es evitar que las proteínas de la estructura fibrosa de la piel en tripa sean inestables, por lo que es importante el uso de productos curtientes, los mismos que van a modificar sus propiedades, de forma tal que el producto obtenido no se carnifique al secar, sea resistente a la acción del agua caliente, sea resistente también a la destrucción enzimática en húmedo (Mijaylova & Juarez, 2004).

Esta modificación de la piel para dar un producto, el cuero que reúne estas propiedades se llama curtición, proceso que involucra el tratamiento de la piel colágeno con un agente curtiente. Está probado que para la curtición al cromo tiene importancia decisiva la reacción entre sales de cromo y sustancia piel, químicamente observada la cuestión hay que ver los grupos carboxílicos ( $-\text{COOH}$ ) y aminos ( $-\text{NH}_2$ ) de la piel, están unidos al cromo en forma de sales complejas (Mijaylova & Juarez, 2004).



Aquí puede observarse que el cromo está enlazado al mismo tiempo a los grupos ácido y a los grupos amino, en efecto un momento cualquiera de la curtición se nota siempre una fijación simultánea de ácido y óxido de cromo. Naturalmente los complejos que resultan de la curtición tienen la presencia de aniones principalmente sulfato ( $\text{SO}_4^-$ ), así como  $\text{HCOO}^-$ ,  $\text{C}_2\text{O}_4^-$  que entran en la composición (Mijaylova & Juarez, 2004).



Se puede admitir que, en el cuero cromado, el cromo puede entrar enlazado directamente al grupo carboxilo del colágeno e indirectamente a los grupos amino por medio de aniones coordinados (Mijaylova & Juarez, 2004).

### 2.9.3. ETAPA POST CURTIDO

Esto consiste en un re procesamiento del colágeno ya estabilizado, tendiente a modificar sus propiedades para adecuarlas a artículos determinados. Este objetivo se logra agregando otros curtientes en combinación o no con cromo (CONAMA, 1999).

En este grupo de procesos se involucra el neutralizado y engrasado del cuero.

### **2.9.3.1. NEUTRALIZADO**

Después de estar curtido el cuero, éste se encuentra en medio ácido ( $\text{pH} = 3,0-3,8$ ). El tiempo promedio que se deja el cuero en reposo después del curtido es de 24 horas, logrando el cuero una mayor fijación de cromo y a parte se produce ácido sulfúrico formado por hidrólisis de las sales de cromo. La neutralización del ácido es muy importante, ya que, si no sucede así, puede actuar desfavorablemente en los procesos subsiguientes como son la recurtición, tintura y engrase; pudiéndose fijar los productos que se utilizan en la superficie provocando manchas, un teñido desuniforme, acentuándose en el engrase. Esta es la causa por la cual se lleva a cabo el proceso de neutralizado, para que los productos químicos que se utilicen en los procesos posteriores penetren despacio y uniformemente al cuero. Se inicia el neutralizado dando un lavado al cuero ya rebajado. Después de efectuar el lavado se trata el cuero al cromo con aguas y sales alcalinas para eliminar los ácidos fuertes (ácido sulfúrico) y continuar separando las sales neutras que en parte ya han sido eliminadas anteriormente, la piel en consecuencia se encuentra preparada para los pasos subsiguientes de: recurtición, tintura y engrase; pues se trata o se está variando la acidez del cuero, o sea variando su  $\text{pH}$ . Al terminar el neutralizado se realiza otro lavado para eliminar las sales que fueron formadas en el neutralizado y las que pudieron quedar dentro del cuero (Trejo, 2002).

Para llevar a cabo el neutralizado se puede usar los siguientes agentes químicos: soda caustica, carbonato de sodio, bicarbonato de sodio, bórax, fosfato básico de sodio, trisulfato de sodio, todos en una concentración al 1 % (Trejo, 2002).

### **2.9.3.2. ENGRASE**

Si la piel se somete a un secado después de la curtición, adquiere un tacto duro carece de flexibilidad y presenta frecuentemente una cierta fragilidad de la capa flor. El objeto de este proceso es separar las fibras del cuero rodeándolas con un material que, al

actuar de lubricante, disminuya el rozamiento interno de las paredes; con ello disminuye la fragilidad de las fibras de cuero y mejora en consecuencia su resistencia al desgarre o incrementa su capacidad de elongación. Por otra parte, debido a que los espacios interfibrilares quedan parcialmente rellenos del producto engrasante disminuye la humectabilidad del cuero, mejorando su impermeabilidad del agua. Se utilizan productos como: aceites minerales, aceites emulsionantes (que se usan en combinación con aceites naturales) aceites animales y vegetales (Doria, 2005).

#### **2.9.4. ETAPA DE ACABADO**

Son operaciones esencialmente de superficie, en donde se le confiere al cuero el aspecto final, que en algunos casos mejora la presentación y la selección; pero en otros prima la resistencia al uso.

##### **2.9.4.1. SECADO**

El secado puede ser realizado al aire libre o por aplicación de calor, el secado al aire, si bien no consume energía, está sujeto a condiciones climáticas variables (temperatura y humedad) (Chavez, 2015).

##### **2.9.4.2. ESTIRADO**

El estirado se efectúa mediante el toggling el cual emplea ganchos metálicos que ajustan el cuero sobre una plancha metálica y se introduce a las cámaras secadoras (Chavez, 2015).

##### **2.9.4.3. ESMERILADO Y ABLANDADO**

El esmerilado se efectúa a través de la máquina lijadora de cueros que tiene un sistema adecuado para dejar libre de asperezas. Al final la máquina mollisa efectúa el ablandado adecuado del cuero sin dañarla, de lo contrario se efectúa de manera manual con una rancheta (Chavez, 2015).

## **2.10. PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE CROMO EN LA PIEL DE ALPACA**

A través de este ensayo se conoce el porcentaje de absorción de cromo en el cuero. Según el método de análisis empleado es un método de óxido reducción del Sistema de Referenciación Ambiental para el sector Curtiembres de Colombia (SIRAC), el requerimiento mínimo para el cuero curtido es de mínimo de un 2,5% de óxido de cromo (Aragón & Alzate, 2004).

Este ensayo se realiza mediante la oxidación de cromo existente en el cuero hasta cromo hexavalente, a través de la adición de ácido nítrico, ácido sulfúrico y ácido perclórico. Luego de disolver el cuero en estufa se elimina el cloro y se adiciona ácido ortofosfórico, finalmente se adiciona yoduro de potasio, se titula el yodo liberado adicionando tiosulfato de sodio utilizando almidón como indicador (Chavarrea & Orozco, 2011).

## **2.11. CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DEL CUERO**

### **2.11.1. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y PORCENTAJE DE ELONGACIÓN**

A través de este ensayo se determina el comportamiento que tendrá el cuero en uso práctico cuando está sometido a fuerzas en diferentes direcciones. En otras palabras, es útil para comprobar que el cuero tiene suficiente resistencia estructural, para los usos que va a ser destinado, particularmente en la capellada de zapatos (SENA, 2003).

Según las especificaciones de la Norma Técnica Peruana 241.023.2014. Resistencia a la tracción y elongación, el cuero para calzado debe tener, un valor de resistencia a la tracción mayor o igual a 10 N/mm<sup>2</sup> y porcentaje de elongación mayor o igual al 15% (INDECOPI, 2014).

### **2.11.2. RESISTENCIA AL DESGARRO**

La resistencia al desgarro pretende medir la resistencia de un artículo. En este método la fuerza se aplica perpendicularmente a la dirección de propagación del desgarro (Fontana, 1999).

Según las especificaciones de la Norma Técnica Peruana 241.023.2014. Resistencia al desgarro, el cuero para calzado debe tener, un valor de resistencia al desgarro mayor o igual a 70N/mm (INDECOPI, 2014).

### **2.11.3. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN**

Este ensayo sirve para determinar el deterioro del acabado y del cuero, que en su uso práctico se flexiona repetidamente. El ejemplo más característico es el empeine de calzado en su zona de flexión (SENA, 2003).

Según las especificaciones de la Norma Técnica Peruana 241.023.2014. Resistencia a la flexión, el cuero debe tener, un valor de resistencia a la flexión mayor o igual a 30 000 ciclos sin daño apreciable (INDECOPI, 2014).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La fase experimental de la presente investigación se realizó en la curtiembre Hatun Alpaca E.I.R.L., ubicado en el distrito de Ayaviri, Provincia de Melgar, departamento de Puno, a una altura de 3907 m.s.n.m.

Altitud	: 3907 m.s.n.m.
Latitud	: 14°52'59"S 70°35'40"O
Departamento	: Puno
Provincia	: Melgar
Distrito	: Ayaviri

El análisis de porcentaje de absorción de cromo se realizó en el laboratorio de Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional del Altiplano Puno.

Las pruebas físicas de: resistencia a la tracción, porcentaje de elongación, resistencia al desgarro y resistencia a la flexión; se realizaron en los laboratorios del Centro de Tecnología e Innovación Productiva Cuero Cochabamba - Bolivia (PROINNOVA CUERO COCHABAMBA).

#### 3.2. MATERIA PRIMA

- Piel de Alpaca: La materia prima que se utilizó para el trabajo de investigación fue la piel de alpaca (*Vicugna pacos*) raza huacaya, con edad de 1-2 años de ambos sexos, en estado de conservación seco dulce, proveniente del distrito de Nuñoa, provincia de Melgar.

### **3.3. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS**

#### **3.3.1. EQUIPOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR**

- Taladro: marca Crown Impac Drill CT10032
- Sierra copa UYUSTOOLS sierra y taladro
- Saca hilo de 1" y ½"
- Flexómetro MAKAWA PROFESSIONAL 5M MK-5256G
- Llave loro de 10" STANFORD PROFESSIONAL
- Alicata STANDER 5D-003
- Alicata TRUPER
- Arco y hoja de sierra 12" ACEROS AREQUIPA 24PTI
- Kid de desarmadores y llaves

#### **3.3.2. EQUIPOS PARA EL PROCESO DE CURTICIÓN**

- Termómetro de mercurio: escala 0 - 100°C marca HANNA
- Balanza gramera: marca BRD09, sensibilidad 0.1 a 7000g.
- Balanza plataforma: marca TGT-1000A, sensibilidad de 1Kg a 150Kg
- Aerómetro ° Baume
- Máquina rebajadora Makita GA4530
- pH metro Pocket-Sized
- Caballetes, Rancheta, tableros

#### **3.3.3. EQUIPOS PARA ANÁLISIS**

- Balanza analítica: H.W.Kessel S.A.C. AND GR-200, sensibilidad de 10mg a 210g
- Erlenmeyer: marca KIMAX USA NO 26500 STOPPER NO. 6 capacidad 250ml
- Bureta: marca PIREX N° 2122<sup>a</sup> capacidad 50 ml
- Pipetas: marca NORMAX 0,1 ISO AS capacidad 10ml

- Cabina extractora de gases
- Perlas de ebullición

### 3.3.4. MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR

- Bomba eléctrica: marca MEBA QB60 de 0.5 HP
- Tubos de 1 pulgada: marca IPS 4X4®
- Tanque de PVC capacidad 260 litros
- Accesorios (Válvula de pie, válvula check, válvula de globo, codos 90°, te para ramificación)

### 3.3.5. REACTIVOS PARA EL PROCESO DE CURTICIÓN

- Ácido fórmico (HCOOH) (90%): marca CCP Industrial gade ISO 9001, ISO 14001, tiene efecto penetrante en la estructura del colágeno.
- Formol (H<sub>2</sub>C=O) (40%): Laboratorio ALKOFARMA EIRL, Aldehído altamente volátil, tiene efecto bactericida, permite la conservación de la piel.
- Bicarbonato de sodio (NaHCO<sub>3</sub>), concentración 99.5%: Polvo cristalino de color blanco, tiene efecto basificante para regular el pH en los procesos.
- Cloruro de sodio (NaCl o sal en grano): Al disolverse en agua se ioniza del todo dando iones de cloruro y el ion sodio.
- Sulfato básico de Cromo (CrOHSO<sub>4</sub>): marca ARIS INDUSTRIAL S.A. ISO 9001, Agente curtiente.
- Quimex 950: Agente humectante, líquido transparente, 10% en solución, soluble en agua, excelente producto detergente de uso general, indicado como humectante higroscópico y retener la humedad de la piel.
- Quimex 900: Agente detergente no iónico de usos múltiples, liquido transparente 99.0% de materia viva, soluble en agua, muy resistente a la dureza del agua.

- Quimex 800: Mezcla de triglicéridos sulfonados y aceites sintéticos, contenido de materia grasa 75%, agente engrasante nutre los cueros.

### 3.3.6. REACTIVOS PARA ANÁLISIS DE ABSORCIÓN DE CROMO

- Ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) (70%): Analytical reagent MALLINCKRODT CHEMICAL WORKS. ST Louis, New York, Montreal, ácido corrosivo, poderoso agente oxidante y reacciona violentamente con muchos compuestos no metálicos.
- Ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) (98%): Merk KGaA 64271 Darmstadt, Germany, Compuesto corrosivo, utilizado para la síntesis de otros ácidos y sulfatos.
- Ácido perclórico ( $\text{HClO}_4$ ) (65%): marca Carlo Erba. Divisione Chimica. Milano. Made in Italy, ácido mineral altamente corrosivo sobre todo para metales y tejidos.
- Ácido ortofosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) (85%): Analytical reagent MALLINCKRODT CHEMICAL WORKS. ST Louis, New York, Montreal, ácido inorgánico derivado de fosfato, usado para la eliminación de óxido de metales como el hierro.
- Yoduro de potasio (KI) (10%): marca Carlo Erba. Divisione Chimica. Milano. Made in Italy, sal utilizada para yodometría.

## 3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

### 3.4.1. DIMENSIONAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR BATCH

El dimensionamiento y construcción de este equipo se basó en el proceso realizado en las curtiembres artesanales y a la experiencia en curtido el que se desarrolla en bombos o fulones para producir movimiento. Este movimiento disminuye la calidad del producto debido a que la fibra suele enredarse y formar motas. Se pensó entonces en la posibilidad

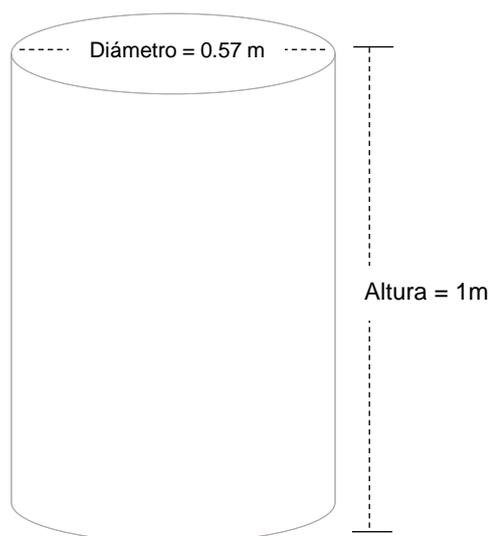
de que el cuero no tenga movimiento y que el fluido era el que tenía que circular a través de los mismos (Chavarrea & Orozco, 2011).

El reactor tendrá las siguientes características técnicas:

- Un tanque de PVC, las dimensiones del tanque son: altura de 1 m, diámetro de 0.57m.
- Las tuberías de la instalación son de PVC de 1 pulgada de diámetro.
- Una alcahofa y válvula de pie: la primera evita la entrada de suciedades, que pueden obstruir la bomba, y la segunda hace posible, reteniendo el líquido, el cebado de la bomba.
- Una válvula de retención en la impulsión: impide el retroceso del fluido, cuando la bomba se para.

#### 3.4.1.1. CALCULO DE LA CAPACIDAD DEL REACTOR

Para calcular la capacidad del reactor hay que determinar la capacidad de un cilindro. La fórmula es la siguiente (Chavarrea & Orozco, 2011):



**Figura 2.** Dimensiones del tanque del reactor.

$$V_{\text{cilindro}} = \pi * r^2 * h$$

$$V_{\text{cilindro}} = \pi (0.285 \text{ m})^2 1 \text{ m}$$

$$V_{\text{cilindro}} = 0.255 \text{ m}^3 = 255 \text{ litros}$$

### 3.4.1.2. SELECCIÓN DE LA BOMBA

Para seleccionar la bomba debe estudiarse el esquema de la instalación por donde circula el fluido, para lo cual calcularemos la potencia necesaria que debe tener la bomba para garantizar que el fluido realice una recirculación constante. Para lo cual es necesario determinar la altura efectiva de la bomba de la instalación hidráulica y especificar el caudal que garantizará la bomba a seleccionar (Mataix, 2011).

#### 3.4.1.2.1. CÁLCULO DE LA ALTURA EFECTIVA DE LA BOMBA (H<sub>m</sub>)

Altura efectiva, H<sub>m</sub> es la altura útil que da la bomba o sea la altura teórica, menos las pérdidas en el interior de la bomba; como la instalación consta de metros de tubería y de accesorios (codos, válvulas, contracciones, etc.), consideraremos para el cálculo, las pérdidas primarias en los tramos rectos y en los accesorios pérdidas secundarias; las cuales constituyen las pérdidas exteriores a la bomba (Mataix, 2011).

Aplicando la ecuación general de la energía, se obtuvo en el sustento teórico:

$$H_m = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + Z_2 - Z_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_p + h_s \quad \dots\dots\dots \text{(Ec. 1)}$$

Dónde: H<sub>m</sub> = Altura efectiva de la bomba

P<sub>2</sub>; P<sub>1</sub> = Presiones a la salida y entrada de la bomba

Z<sub>2</sub>; Z<sub>1</sub> = altura de carga de posición de la instalación

v<sub>2</sub>; v<sub>1</sub> = velocidad a la salida y entrada de la bomba

γ = peso específico del agua

g = aceleración de la gravedad

h<sub>p</sub> = pérdidas primarias

h<sub>s</sub> = pérdidas secundarias

Simplificando, a la siguiente expresión por las características de la instalación:

Como el sistema de aspiración e impulsión estarán abiertos a la atmósfera, entonces:

$$\frac{P_2 - P_1}{\gamma} = 0$$

Dónde:  $P_2$ ;  $P_1$  = Presiones a la salida y entrada de la bomba

$\gamma$  = peso específico del agua

También como los diámetros de las tuberías de aspiración e impulsión son iguales, entonces:

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} = 0$$

Dónde:  $v_2$ ;  $v_1$  = velocidad a la salida y entrada de la bomba

$g$  = aceleración de la gravedad

Entonces:

$$H_m = (Z_2 - Z_1) + h_p + h_s \quad \dots\dots\dots (Ec. 2)$$

Dónde:  $H_m$  = altura manométrica o efectiva de la bomba

$(Z_2 - Z_1)$  = altura de carga de posición de la instalación

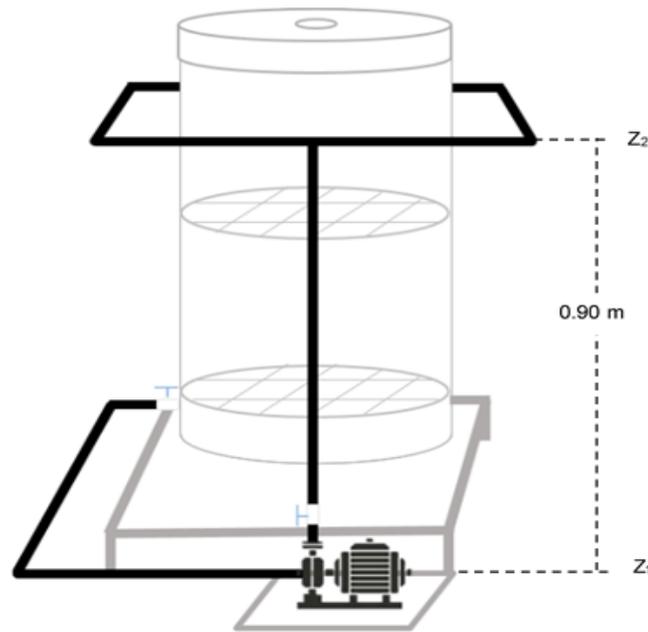
$h_p$  = pérdidas primarias

$h_s$  = pérdidas secundarias

#### a) **Altura de carga de posición**

En la ecuación (Ec. 2), la altura de carga de posición del sistema hidráulico es igual a la altura comprendida entre los niveles de fluido en la impulsión y succión.

Entonces, la altura de carga de posición  $(Z_2 - Z_1)$  se determinará en el siguiente esquema gráfico (Mendoza, 2012):



**Figura 3.** Determinación de la altura de carga de posición.

**b) Cálculo de las pérdidas primarias**

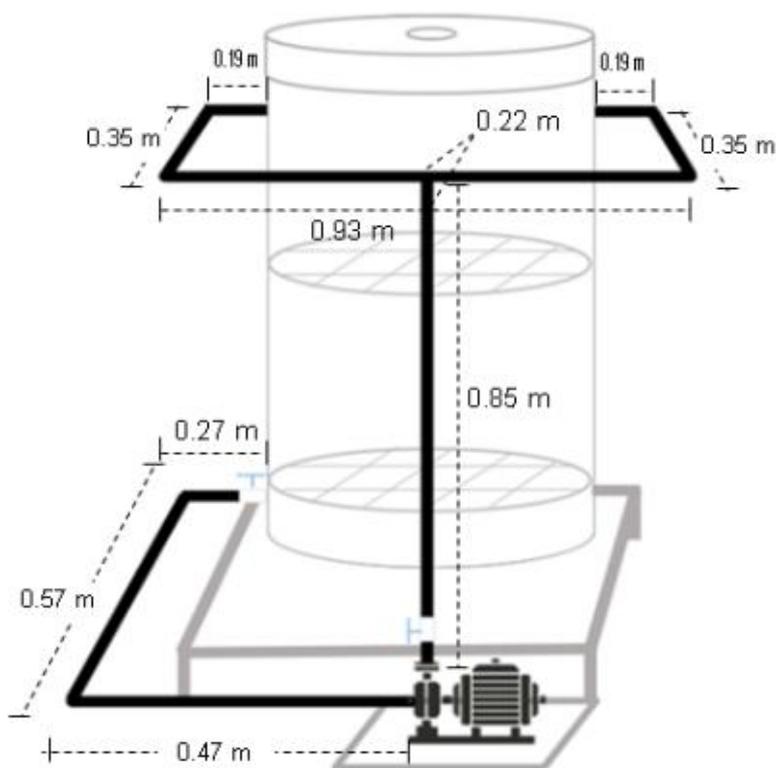
Las pérdidas de carga primarias en las tuberías son las pérdidas de superficie en el contacto del fluido con la tubería, rozamiento de unas capas de fluido con otros o de las partículas de fluido entre sí (Mott, 2013).

Para el cálculo de las pérdidas emplearemos la ecuación general de las pérdidas primarias conocida como la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_p = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (Ec. 3)$$

- Dónde:
- $h_p$  = pérdida de carga primaria
  - $f$  = coeficiente de fricción de carga primaria
  - $L$  = longitud de tubería
  - $D$  = diámetro de la tubería
  - $v$  = velocidad media del fluido

En el siguiente esquema del circuito hidráulico (Fig. 10) se determinó la longitud de la tubería de pvc:



**Figura 4.** Determinación de la longitud de tuberías.

$$L = 0.47 + 0.57 + 0.27 + 0.85 + 0.93 + 0.35 + 0.35 + 0.22 + 0.19 + 0.19$$

$$L = 4.39 \text{ m}$$

El diámetro de las tuberías se consideró de 1 pulgada:

$$D_i = 1 \text{ pulg} = 2.62 \text{ cm} = 0.0262 \text{ m}$$

Para el cálculo de la velocidad, por consideraciones de diseño, se debe considerar el caudal máximo que bombean las bombas disponibles en el mercado y; que por la naturaleza y tamaño del sistema hidráulico la bomba será como máximo de 1 HP o 0,5 HP; por lo que nuestro caudal de diseño será de 35 L/min (Mendoza, 2012).

Entonces:

$$Q_d = 35 \frac{\text{L}}{\text{min}} = 0.035 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = 5.83 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Como:  $Q_d = A \times V$

Entonces:  $v = \frac{Q_d}{A}$  ..... (Ec. 4)

El diámetro de la tubería que se consideró fue de  $D = 1$  pulg.

Para una tubería de diámetro nominal de 1 pulgada, su diámetro interior es igual (Mott, 2012):

$$D_i (1'') = 1 \text{ pulg} = 26.2 \text{ mm}$$

Y calculando su área de flujo:

$$A = \frac{\pi}{4} (0.0262 \text{ m})^2 = 5.39 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Reemplazando en la ecuación (Ec. 4):

$$v = \frac{5.83 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{5.39 \times 10^{-4} \text{m}^2}$$

$$v = 1 \text{ m/s}$$

La determinación de  $f$ , coeficiente de pérdida de carga primaria, lo hacemos utilizando el diagrama de Moody, para su utilización necesitamos calcular el número de Reynolds (Mott, 2012):

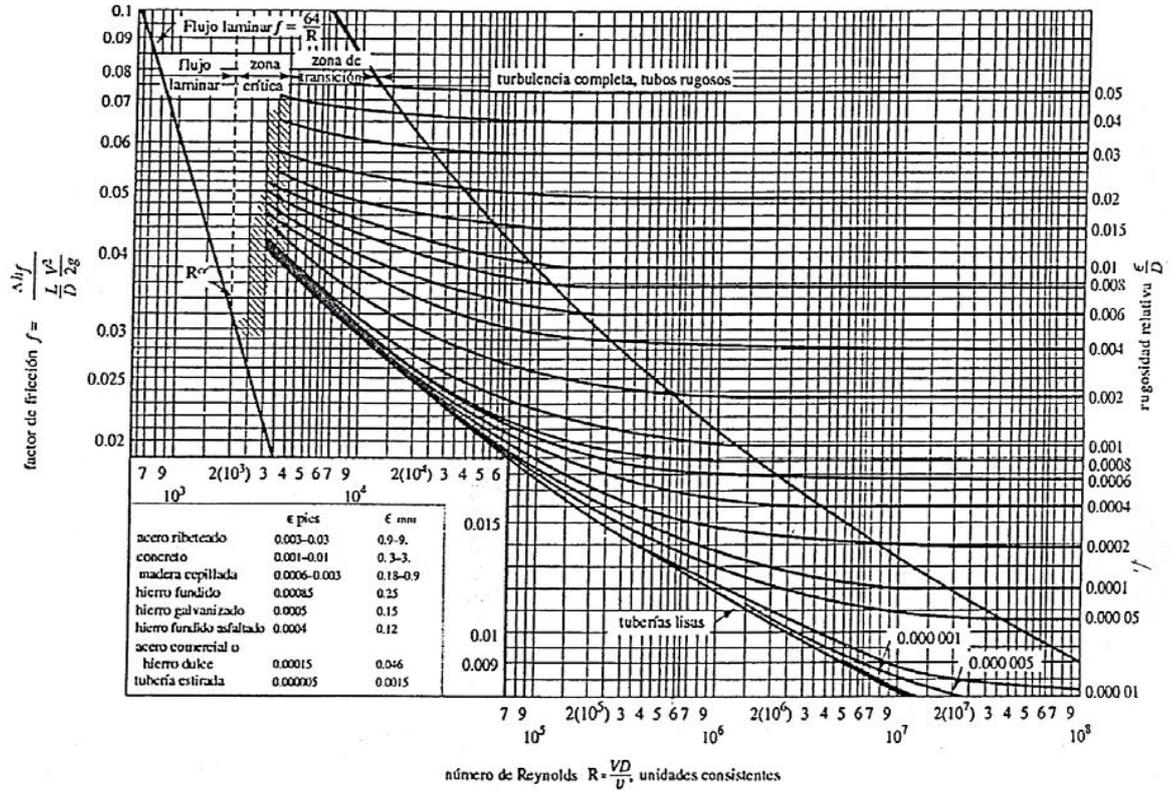
$$N_R = \frac{\rho * v * D}{\mu} \text{ ..... (Ec. 5)}$$

- Dónde:
- $N_R$  = número de Reynolds
  - $\rho$  = densidad del agua a 20°C
  - $v$  = velocidad de flujo promedio
  - $D_i$  = diámetro del conducto
  - $\mu$  = viscosidad cinemática

La viscosidad cinemática del agua lo consideramos a una temperatura ambiente de 20°C, entonces:  $\mu = 1.15 \times 10^{-6} \text{kg/m-s}$ . Reemplazando en (Ec. 5):

$$N_R = \frac{(992 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(1.00 \frac{\text{m}}{\text{s}}) \times (0.0262 \text{ m})}{1008 \times 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}}$$

$$N_R = 25,784$$



**Figura 5.** Diagrama de Moody.  
Fuente: Mott, 2013.

Para el diagrama de Moody, necesitamos también la rugosidad relativa del PVC, utilizando el diagrama de Moody de la Fig. 5.  $\epsilon$  = rugosidad de tubo PVC (Mott, 2012).

$$\text{Rugosidad Relativa (PVC)} = \frac{\epsilon}{D} = \frac{0.0015 \text{ mm}}{26.2 \text{ mm}} = 5.73 \times 10^{-5}$$

Obtenemos:  $f = 0.025$

Calculando las pérdidas primarias en la ecuación (Ec. 3):

$$h_p = 0.025 \frac{4.39}{0.0262} \times \frac{1^2}{2(9.81)}$$

$$h_p = 0.21 \text{ m}$$

### c) Cálculo de las pérdidas secundarias

Estas pérdidas de forma, que tienen lugar en los cambios de sección y dirección de la corriente, en las contracciones, ensanchamientos, codos, válvulas de diferentes tipos, etc.; en general en todos los accesorios de tuberías. Estos elementos producen una perturbación de la corriente que origina remolinos y desprendimientos, que intensifican las pérdidas (Mott, 2013).

Para el cálculo de las pérdidas secundarias emplearemos la siguiente ecuación:

$$h_s = K \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (Ec. 6)$$

Donde:

$h_s$  = pérdidas de carga secundaria

$K$  = coeficiente adimensional de pérdida de carga secundaria

$v$  = velocidad media en la tubería

El coeficiente ( $K$ ) de pérdida de carga secundaria depende del tipo de accesorio, del número de Reynolds, de la rugosidad y hasta de la configuración en la corriente antes del accesorio. El valor de  $K$  se calculará con la siguiente fórmula (Mott, 2012):

$$K = \frac{L_e}{D} f_t \dots\dots\dots (Ec. 7)$$

El valor de  $L_e/D$ , es considerado como una constante para un tipo de válvula o junta. El valor  $L_e$  es denominado longitud equivalente y es la longitud del conducto recto del mismo diámetro nominal como la válvula o junta que tendría la misma resistencia que esta. El termino  $D$  es el diámetro interno real del conducto (Mott, 2012).

El termino  $f_t$  es el factor de fricción en el conducto al cual está conectada a la válvula o junta, tomado en la zona de turbulencia completa. Considerando el circuito

hidráulico, se tabulan los accesorios para determinar sus correspondientes coeficientes de pérdida de carga secundaria (Mott, 2012):

- Punto para la rugosidad relativa:  $5.7 \times 10^{-5}$
- Punto para el número de Reynolds:  $2.57 \times 10^4$

Con los puntos anteriores hallamos  $f_t$  en zona de turbulencia completa:

$$f_t = 0.0105$$

**Tabla 5. Cálculo de la sumatoria del Coeficiente de pérdidas secundarias.**

Accesorios	Formula	$f_t$	Cantidad	K	
				Unitario	Total
Válvula de pie	$420 \times f_t$	0.0105	1	4.41	4.41
Válvula check	$50 \times f_t$	0.0105	1	0.525	0.53
Válvula de Globo	$150 \times f_t$	0.0105	1	1.575	1.58
Codo de 90°	$30 \times f_t$	0.0105	7	0.315	2.21
Te para ramificación	$60 \times f_t$	0.0105	1	0.63	0.63
Uniones estándar	$20 \times f_t$	0.0105	5	0.21	1.05
<b>Total (<math>\Sigma K</math>)</b>					<b>10.41</b>

Fuente: Mott, 2013.

Para el cálculo anterior, las válvulas se han considerado completamente abiertas y los empalmes con la tubería son roscadas.

Los valores de K varían de acuerdo al tipo de material empleado, las dimensiones geométricas reales, el tipo de fabricación, etc., pero las tablas empleadas nos dan valores bastante aproximados, lo que nos permite obtener resultados correctos (Mataix, 2011).

$$h_s = (\Sigma K) \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (Ec. 8)$$

Entonces:

$$h_s = \frac{(10.41)(1.00)^2}{2(9.81\text{m/s}^2)}$$

$$h_s = 0.53 \text{ m}$$

#### d) Cálculo de las pérdidas totales

Las pérdidas totales (h) será igual a la suma de las pérdidas primarias más las pérdidas secundarias (Mendoza, 2012):

$$h = 0.21 + 0.53 = 0.74 \text{ m}$$

#### 3.4.1.2.2. CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LA BOMBA

El cálculo de la potencia de la bomba se realizará utilizando la siguiente fórmula (Mott, 2013):

$$P_B = \frac{H_m * \rho * g * Q}{\eta_B} \dots\dots\dots \text{(Ec. 9)}$$

- Dónde:
- $P_B$  = potencia de la bomba en Watts
  - $H_m$  = altura manométrica de la bomba
  - $\rho$  = densidad del agua a 20°C
  - $g$  = aceleración de la gravedad
  - $Q$  = Caudal en m<sup>3</sup>/s
  - $\eta_B$  = eficiencia de la bomba

La cuantificación de los parámetros para el cálculo de la potencia se realizó con los siguientes criterios de diseño:

- $Q$ : En el circuito hidráulico cuando la bomba está funcionando, el caudal que circula es constante en todo el circuito, por lo que se consideró el caudal de diseño.
- $H_m$ : la altura efectiva de la bomba se determinará utilizando la ecuación (Ec. 2):

$$H_m = (Z_2 - Z_1) + h_p + h_s$$

La altura de carga de posición ( $Z_2 - Z_1$ ) se calculó en el acápite a) que es igual a:

$$Z_2 - Z_1 = 0.90 \text{ m}$$

La altura de bomba total es igual a:

$$H_m = (Z_2 - Z_1) + h_p + h_s$$

$$H_m = 0.90 + 0.74$$

$$H_m = 1.64 \text{ m}$$

Por consiguiente, la potencia necesaria de la bomba la calcularemos con la ecuación (Ec. 9). El caudal  $Q = 5.83 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$

La eficiencia de la bomba, considerando un factor de seguridad conservador, la consideraremos como (Mendoza, 2012):

$$\eta_B = 0.70$$

Entonces:

$$P_B = \frac{1.64 \text{ m} \times 992 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 5.83 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.70}$$

$$P_B = 13.22 \text{ Watt}$$

$$P_B = 0.02 \text{ HP}$$

En el mercado comercial de la región, la disponibilidad de bombas con una potencia en HP aproximado al calculado es de 0,5 HP.

#### 3.4.1.2.3. CALCULO DEL NPSH<sub>D</sub>

El cálculo del NPSH<sub>D</sub> se realizará aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{NPSH}_D = \frac{0.7(P_S - P_V) - Z - h}{G. E.} \dots\dots\dots(\text{Ec. 10})$$

Dónde:  $P_S$  = presión atmosférica o presión de superficie

$P_V$  = presión de vapor del agua

$Z$  = altura de succión

$h = h_p + h_s$  pérdidas primarias y secundarias

G.E. = gravedad específica del agua

- Presión de la superficie  $P_s = 14.7\text{Psi}$
- Presión del vapor de agua  $P_v = 0.2563\text{Psi}$
- Altura geodésica de la succión  $Z = 0.05\text{m}$

**Calculo de las pérdidas en el sistema de succión:**

**a) Calculando las pérdidas primarias en la ecuación (Ec. 3):**

$$h_p = 0.025 \frac{1.31}{0.0262} \times \frac{1^2}{2(9.81)}$$

$$h_p = 0.064\text{m}$$

**b) Calculando las pérdidas secundarias en la ecuación (Ec. 8)**

$$h_s = (6.615) \frac{(1)^2}{2(9.81)}$$

$$h_s = 0.34\text{m}$$

Entonces:

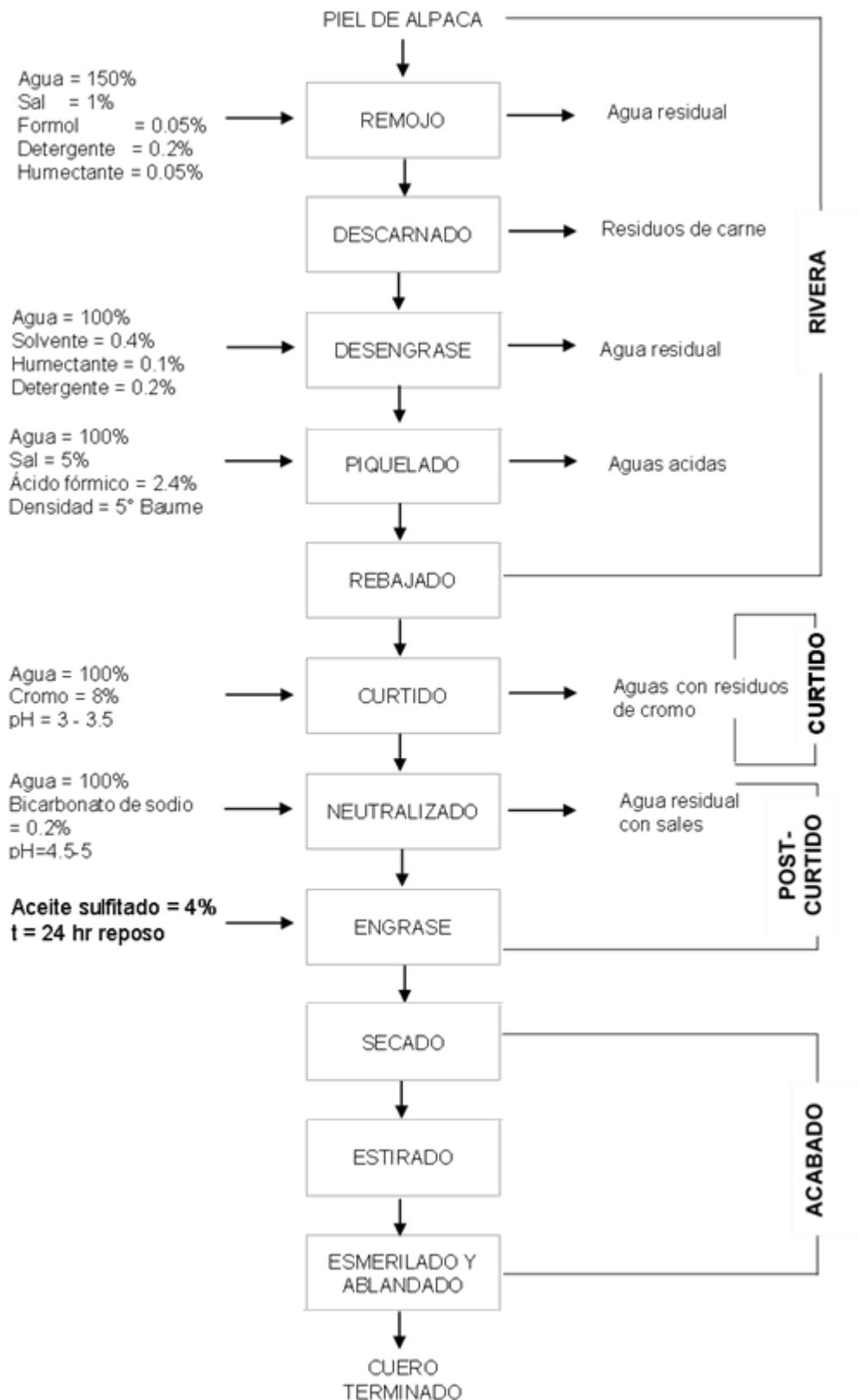
$$h = 0.064\text{m} + 0.34\text{m}$$

$$h = 0.40\text{m}$$

Reemplazando en la ecuación (Ec. 10):

$$\text{NPSH}_D = \frac{0.7(14.7 - 0.2563)}{1} - 0.05 - 0.40$$

$$\text{NPSH}_D = 9.66\text{m}$$



**Figura 6.** Diagrama de flujo para el proceso de curtición de pieles.  
 Fuente: Adaptado de INIA, 2014.

## Descripción general del proceso de curtido de piel de alpaca

Durante todo el proceso, las dieciocho (18) pieles que conforman los tres tratamientos fueron procesadas en el reactor, el cual incluye las operaciones de: pre – remojo, remojo, desengrase, piquelado, curtido y neutralizado. Antes de iniciar el pre-remojo o lavado, las pieles fueron pesadas debido a que los productos químicos son usados en base al peso total de las pieles de alpaca.

### a) Remojo

Durante este proceso se buscó el reblandecimiento completo de las pieles con el propósito de devolver a los cueros conservados a su estado natural, además de limpiar las pieles y eliminar algunos constituyentes no deseables (albuminas y proteínas solubles), para ello se llenó el reactor con agua al 150% del peso de las pieles, a temperatura ambiente (25°C) y se utilizaron productos tales como: detergente, humectante y bactericida. Al final de la operación de remojo se obtuvieron pieles: limpias, flexibles, hidratadas, con apariencia más blanda y con parte de sus proteínas eliminadas.



**Figura 7.** Pieles obtenidas al final del proceso de remojo.

### b) Descarnado

El proceso del descarnado se realizó manualmente utilizando ranchetas, la misma que se encargó de eliminar el tejido subcutáneo de la piel, lo que no es idóneo para

transformarse en cuero y de esa manera se consiguió una piel limpia más delgada que facilitó la penetración de los productos químicos. Al final de la operación, se efectuó un enjague con baños de 200% de agua a temperatura ambiente, facilitando la limpieza de la fibra.

### c) **Desengrase**

La grasa de la piel impide un buen curtido, por ese motivo los restos de grasa deben de ser profundamente eliminados o minimizarlos, para lograr este objetivo se preparó un baño de agua a 40°C de temperatura y luego se incorporó desengrasante, se recirculo por 20 minutos. Al final del desengrase se obtuvieron pieles desengrasadas, limpias y listas para el posterior proceso de picle.



**Figura 8.** Pieles durante el proceso de desengrase.

### d) **Piquelado**

El piquel tiene como objetivo el acondicionar las pieles para el curtido, así como interrumpir la acción de las enzimas sobre el colágeno y esto se realizó utilizando sal industrial y fungicida. Se preparó un baño de 100% de agua a temperatura ambiente con 5% de sal, luego se adiciono el 2.4% del ácido fórmico diluido (1:10), y se pone en recirculación. Al término de la recirculación, se midió el pH, obteniéndose un pH de 3, quedando las pieles listas para el curtido.



**Figura 9.** Pieles durante el proceso de piquelado.

**e) Rebajado**

El rebajado se realizó con una maquina rebajadora, para esto la piel debió tener la humedad adecuada de lo contrario se podría haber roto el cuero en la máquina.

**f) Curtido**

Después de culminado el proceso de piquelado, cuando el ácido fórmico penetró, se añadió el 8% de cromo respecto al 100% del peso de las pieles, y se dejó en recirculación por 4 horas para el primer ensayo, 6 horas para el segundo ensayo y 8 horas para el tercer ensayo de curtición.

El control del curtiente se realizó observando el corte, que parece algo menos traslucido en la zona donde ha penetrado, que en la zona en la que solo la piel esta piquelada.



**Figura 10.** Pieles durante el proceso de curtido.

**g) Neutralizado**

El proceso se realizó con el fin de eliminar los ácidos de la curtición al cromo (ácido fórmico) utilizando bicarbonato de sodio 0,2%, por un tiempo de 2 hora en constante recirculación y con flote al 100%, ya que no neutralizar disminuiría la resistencia del cuero además sería corrosivo para los metales e irritantes para la piel.



**Figura 11.** Pieles durante el proceso de neutralizado.

**h) Engrasado**

Los cueros previamente enjuagados y escurridos se estiraron sobre bastidores de madera previamente claveteado, para que los cueros no se deformen, luego se engrasaron por un tiempo de 24 horas. A través del engrase se incorporaron sustancias grasas en los espacios entre las fibras, donde se fijan, obteniendo un cuero más suave y flexible, para esto se añadió el 4% de aceite sulfitado.

**i) Secado**

Los cueros previamente engrasados se estiraron con ganchos sobre bastidores horizontales de madera por un tiempo de 24 horas.

**j) Estirado**

Se realizó el estirado pieles sobre bastidores de madera previamente claveteado para que los cueros no se deformen.

**k) Esmerilado y ablandado**

Los cueros secados se lijaron con el fin de corregir defectos uniformizando la superficie así igualando el espesor del cuero. Se utilizó lijas de 150, 180 para lijar los cueros de alpaca, luego se hizo el ablandado durante este proceso con el retiro del agua superficial y de los capilares con la finalidad de descompactar las fibras compactas durante el secado. El peinado de la fibra de alpaca se realizó con los cepillos de acero.

### 3.4.2. MÉTODOS DE ANÁLISIS

Se analizó el porcentaje de absorción de cromo y las características tecnológicas: resistencia a la tracción, porcentaje de elongación, resistencia al desgarro y resistencia a la flexión.

#### 3.4.2.1. DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE CROMO

Este ensayo se realiza mediante la oxidación de cromo existente en el cuero hasta cromo hexavalente, colocando una muestra de 2g de cuero en Erlenmeyer, adicione 10 ml de ácido nítrico al 70% y después de 10-15 minutos adicione 15ml de una solución compuesta de ácido sulfúrico concentrado 98% y ácido perclórico al 60-70% en una relación 2:1 en volumen. Con este paso el cromo es oxidado hasta cromo hexavalente, este procedimiento debe realizarse en lo posible en una cabina de extracción, utilizando guantes y gafas de seguridad. Coloque un embudo de vidrio en la boca del Erlenmeyer para evitar evaporación del agua y caliente en estufa hasta que el cuero se disuelva. La solución tornara de color verde a naranja. Permita hervir por un minuto y luego deje enfriar, puede ayudarse con un baño de maría con agua fría. Diluya adicionando agua destilada hasta completar un volumen de 200 ml, adicione también unas perlas de ebullición. Enseguida caliente la solución para eliminar el cloro y deje que ebulle por 10 minutos. Después de enfriar, adicione 15 ml de ácido ortofosfórico del 90% para evitar interferencias de hierro. Posteriormente, adicione 10 ml de solución de yoduro de potasio (KI) al 10%, tape con vidrio de reloj y lleve a sitio oscuro por 10 minutos. Titule el yodo liberado adicionando por medio de una bureta, la solución de tiosulfato de sodio 0,1N (Volumen  $V_t$ ) utilizando almidón como indicador. La solución virará de azul a verde claro. El porcentaje en peso de cromo en el cuero está dado por (para una muestra de 2g) (Aragón & Alzate, 2004):

$$\%Cr_2O_3 \text{ (PF)} = V_t \times 0.127$$

### **3.4.2.2. CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS**

Los ensayos físicos fueron realizados en los laboratorios del Centro de Tecnología e Innovación Productiva Cuero Cochabamba - Bolivia (PROINNOVA CUERO COCHABAMBA).

#### **3.4.2.2.1. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y PORCENTAJE DE ELONGACIÓN**

Se determinó la resistencia a la tracción del cuero para peletería curtido al cromo. La norma IUP/6-DIN 53328, específica un método de ensayo para determinar la resistencia a la tracción, el alargamiento bajo una carga específica y el alargamiento a la rotura del cuero. Este método es aplicable a todos los tipos de cuero (SENA, 2003).

Para la prueba de resistencia a la tracción se utiliza un dinamómetro, el cual debe de tener una velocidad constante de separación de sus pinzas equivalente a 100 mm/min. Se mide el ancho de la probeta o muestra de cuero (25 mm de ancho por 90 mm de largo) en tres puntos de la misma, con una aproximación de 0.01 mm. Se considera la media aritmética como representante de la anchura, y se calculará el área de la sección transversal de la muestra o probeta (ancho por espesor). Previamente acondicionada y realizada la medida de su espesor, la muestra o probeta es sometida a la tracción y se determina la fuerza necesaria para su rotura. Se pone en marcha el dinamómetro hasta que se rompa la probeta y se registra la fuerza máxima ejercida, como la fuerza de rotura (AENOR, 2012).



**Figura 12.** Determinación de la resistencia a la tracción y porcentaje de elongación.

#### **3.4.2.2.2. RESISTENCIA AL DESGARRO**

Se determinó la resistencia al desgarro del cuero, realizando el desgarro por los dos bordes. La norma UNE-EN ISO 3377-2:2002, establece un método para determinar la resistencia al desgarro del cuero realizando el desgarro por los dos bordes. Se aplica a todos los tipos de cuero (AENOR, 2003).

Se realiza una ranura en el centro de la probeta. Los extremos curvados de dos piezas en forma de "L" se introducen en la ranura de la probeta. Estas piezas están fijadas por su otro extremo en las mordazas de un dinamómetro. Al poner en funcionamiento el dinamómetro, las piezas en forma de "L" introducidas en la probeta se separan, se reporta la fuerza máxima alcanzada en newton (SENA, 2003).



**Figura 13.** Determinación de la resistencia al desgarro.

#### **3.4.2.2.3. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN**

Se determinó la resistencia a la flexión mediante el método del flexómetro. Según la norma IUP/20-DIN 53351, se determina la resistencia a la flexión de empeines y forros. Este método es aplicable a todo tipo de cueros con un espesor menor de 3,0 mm. (SENA, 2003).

La prueba del flexómetro reproduce el efecto del doblado que sufre el cuero cuando es usado. Es una prueba muy exigente para el acabado del cuero. El comportamiento del cuero al plegado continuo se mide con el flexómetro Bally. Las muestras se fijan a dos mordazas (pinzas) del equipo, una fija y otra dotada de movimiento de avance y retroceso formando un ángulo de  $22^{\circ}30'$ . Luego de 100, 500, 1 000, 5 000, 1 0000 flexiones el control se realiza con un lente de aumento observando si no ha habido ninguna alteración, así como la presencia de fisura, exfoliaciones y polvo. A su vez, se controla el estado de la parte interna del cuero (AENOR, 1988).



**Figura 14.** Determinación de la resistencia a la flexión.

### 3.4.3. VARIABLES

Para el presente estudio de investigación de curtiembre en el reactor batch se analizó las muestras de los tratamientos de los dos niveles del tanque del reactor (superior e inferior), curtidos a distintos tiempos 4, 6 y 8 horas.

**Tabla 6. Variables independientes.**

NIVELES DEL TANQUE	TIEMPO DE CURTIDO
A) Superior	A) 4 Horas
B) Inferior	B) 6 Horas
	C) 8 Horas

Fuente: Elaboración propia

Variables dependientes:

- Porcentaje de absorción de cromo
- Características tecnológicas: Resistencia a la tracción, porcentaje de elongación, resistencia al desgarro y resistencia a la flexión.

**Tabla 7. Requerimiento de la normatividad para las variables dependientes**

<b>Variables</b>	<b>Requerimiento</b>
Porcentaje de absorción de cromo	$\geq 2.5\%$
Resistencia a la tracción	$\geq 10\text{N/mm}^2$
Porcentaje de elongación	$\geq 15\%$
Resistencia al desgarro	$\geq 70\text{N/mm}$
Resistencia a la flexión	30 000 ciclos

Fuente: Elaboración propia.

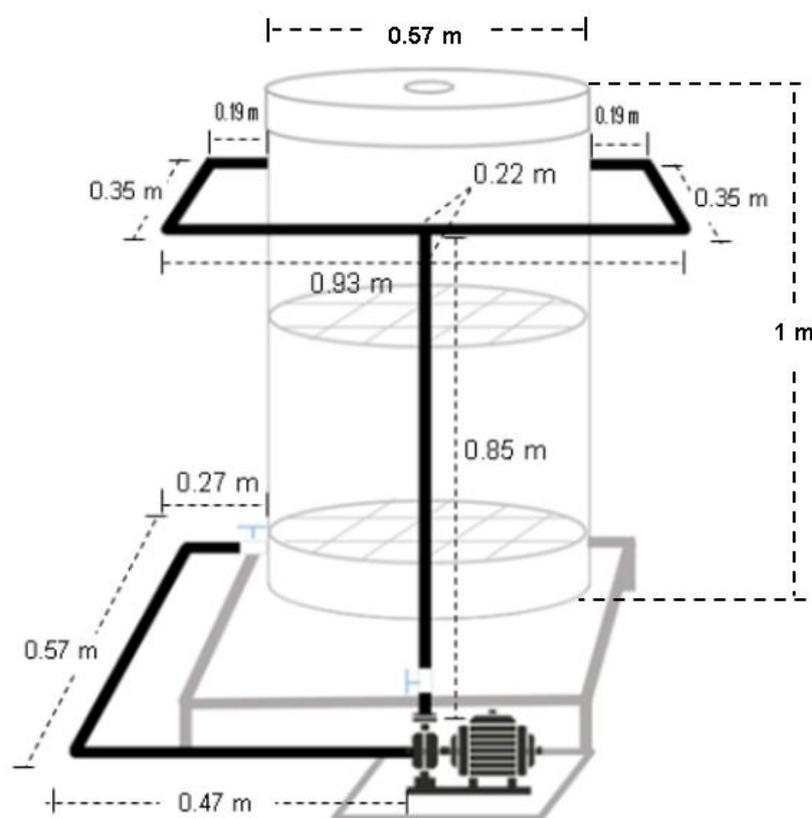
#### 3.4.4. DISEÑO ESTADÍSTICO

Para la evaluación de porcentaje de absorción de cromo se empleó el diseño estadístico factorial (DF), con un arreglo factorial de 2x3. Para procesar los datos obtenidos durante la investigación se aplicó el análisis de varianza (ANVA) y para la comparación de medias se utilizó la prueba Duncan ( $\alpha= 0.05$ )

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. DIMENSIONAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR BATCH

En la Figura 15 se observa el dimensionamiento del reactor batch para curtido de 6 pieles de alpaca para peletería.



**Figura 15.** Dimensionamiento del reactor batch.

Fuente: Adaptado de Chavarrea & Orozco, 2011.

El dimensionamiento y construcción de este equipo de basó en el diseño desarrollado por Chavarrea & Orozco, 2011, quienes diseñaron y construyeron un reactor piloto, para una capacidad de tres pieles con las siguientes dimensiones: altura 0.68m, diámetro 0.42m y una potencia de bomba de 0,5Hp, demostrando la efectividad del equipo para el curtido de piel de ovino, respecto al porcentaje de absorción de cromo, cumpliendo con las exigencias de la normativa.

Se logró dimensionar y construir un reactor batch para una capacidad de 6 pieles con las siguientes dimensiones: altura 1m, diámetro de 0.57m y una potencia de la bomba de 0,5Hp, aplicado en el curtido de piel de alpaca para peletería.

#### 4.2. PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE CROMO EN LA PIEL DE ALPACA

En la Tabla 8 y en la Figura 16 se presentan los valores del porcentaje de absorción de cromo en función a los dos niveles de curtición.

**Tabla 8. Resultados respecto al porcentaje de absorción de cromo.**

NIVELES DEL TANQUE	PORCENTAJE DE ABSORCION DE CROMO (%)					
	4 h		6 h		8 h	
SUPERIOR	2,83	T1=2,75	3,11	T3=3,15	3,62	T5=3,53
	2,69		3,20		3,56	
	2,73		3,14		3,42	
INFERIOR	2,92	T2=2,96	3,16	T4=3,23	3,49	T6=3,41
	2,93		3,24		3,34	
	3,04		3,28		3,39	

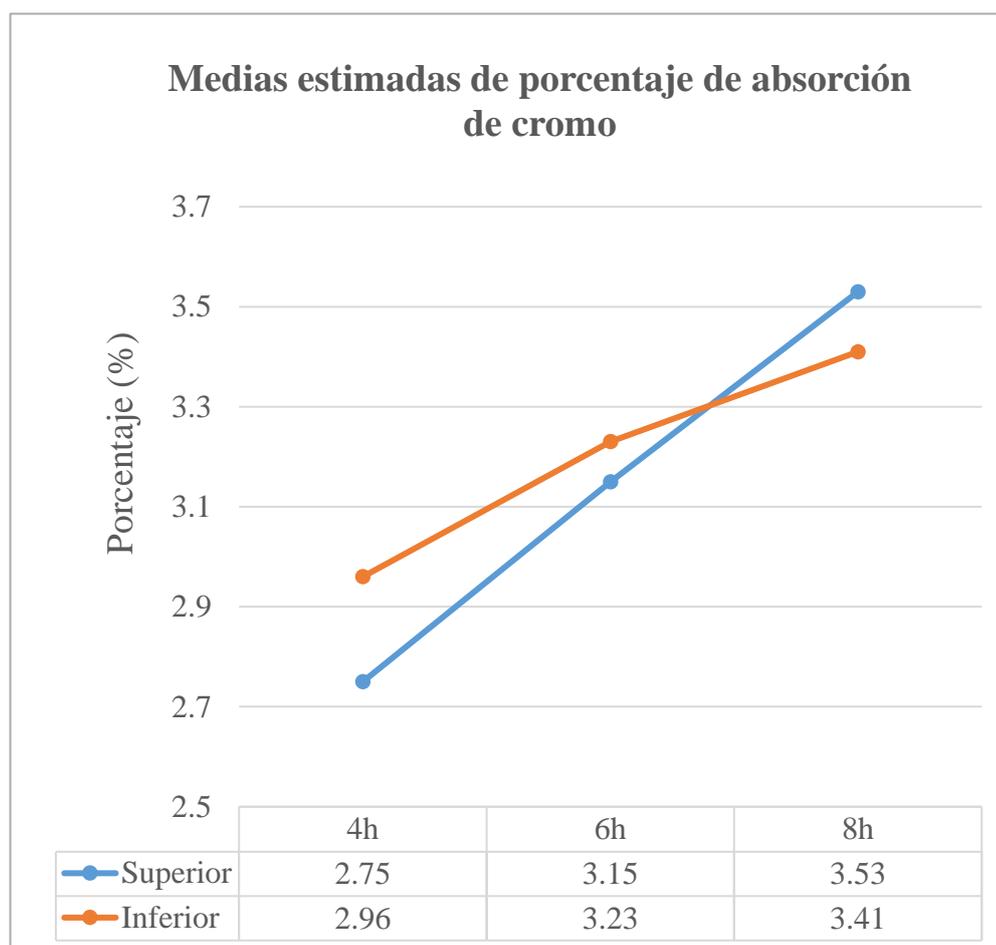
Fuente: Elaboración propia.

Se estudió dos niveles (superior e inferior) dentro del tanque del reactor y tres tiempos de curtido (4h, 6h y 8h), donde los porcentajes de absorción de cromo varía según los tratamientos (Tabla 8), es a 8h de tiempo de curtido y en ambos niveles (superior e inferior), donde se obtuvieron los más altos porcentajes (Anexo 6). Así mismo los valores obtenidos para los demás tratamientos están por encima de 2,5% del valor mínimo establecido por el Sistema de Referenciación Ambiental para el Sector Curtiembre (SIRAC).

Según Aragon & Alzate, (2004), para que el cuero adquiera propiedades de buena calidad, el contenido de cromo no debe estar por debajo de 2,5% de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> para cuero

curtido con cromo. La concentración de cromo expresada como  $\%Cr_2O_3$  es una medida normal en la industria del cuero. El contenido de cromo depende del tipo de producto, pero normalmente se encuentra entre 3 - 5% de  $Cr_2O_3$ .

Los resultados obtenidos por Chavarrea & Orozco, (2011) en cueros de ovino con pelo fueron valores superiores a 2,5% de absorción de óxido de cromo en un tiempo de 4 horas de curtido en un reactor piloto.



**Figura 16.** Medias estimadas para el porcentaje de absorción de cromo.

En la Figura 16, de medias estimadas para el porcentaje de absorción de cromo se aprecia que las pieles de alpaca curtida en los dos niveles dentro del reactor muestran la misma reacción a los distintos tiempos, observando así que la más alta está a 8 horas de curtido con un porcentaje de 3,53% para el nivel superior y 3,41% para el nivel inferior.

Al respecto Miller et al., (1999) afirma que la fijación de cromo se incrementa mediante: aumento de la temperatura, incremento del tiempo de curtido e incremento de la basificación.

Melgar, (2000) menciona que la fijación de cromo es realmente lo más importante y el tiempo de curtido debe ir relacionado con el producto final deseado. A un mayor tiempo de curtido se tendrá mayor penetración para obtener cueros más suaves y elásticos. En la investigación se observó que mientras más tiempo de curtido presenta mayor porcentaje de absorción de cromo.

Según Grozza (1980), la curtición de pieles es un proceso de muy larga duración y económicamente supone tener un gran capital dado los valores de la mercadería, detenido por mucho tiempo.

Según Soler (2004), el tiempo de curtición adquiere mayor importancia cuando no se puede alcanzar una elevada temperatura de curtido (como mínimo, 35°C) a menor temperatura inicial el proceso es más largo. En tales casos, la ausencia de temperatura elevada tiene que ser compensada por una curtición más prolongada. En el proceso de curtido realizado para la investigación la temperatura oscilaba los 30°C, por lo que tuvo que ser compensada con la prolongación del tiempo de curtido obteniéndose valores altos a 8 horas de curtido en ambos niveles dentro del reactor batch.

En la tabla del Anexo 4 se presenta el análisis de varianza (ANVA) para el porcentaje de absorción de cromo en piel de alpaca, en el cual nos indica que existe una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) para los factores de Tiempo y la interacción de Niveles (A) x Tiempo (B). Esto demuestra que los factores que mostraron significancias son dependientes con respecto al porcentaje de absorción de cromo de las pieles.

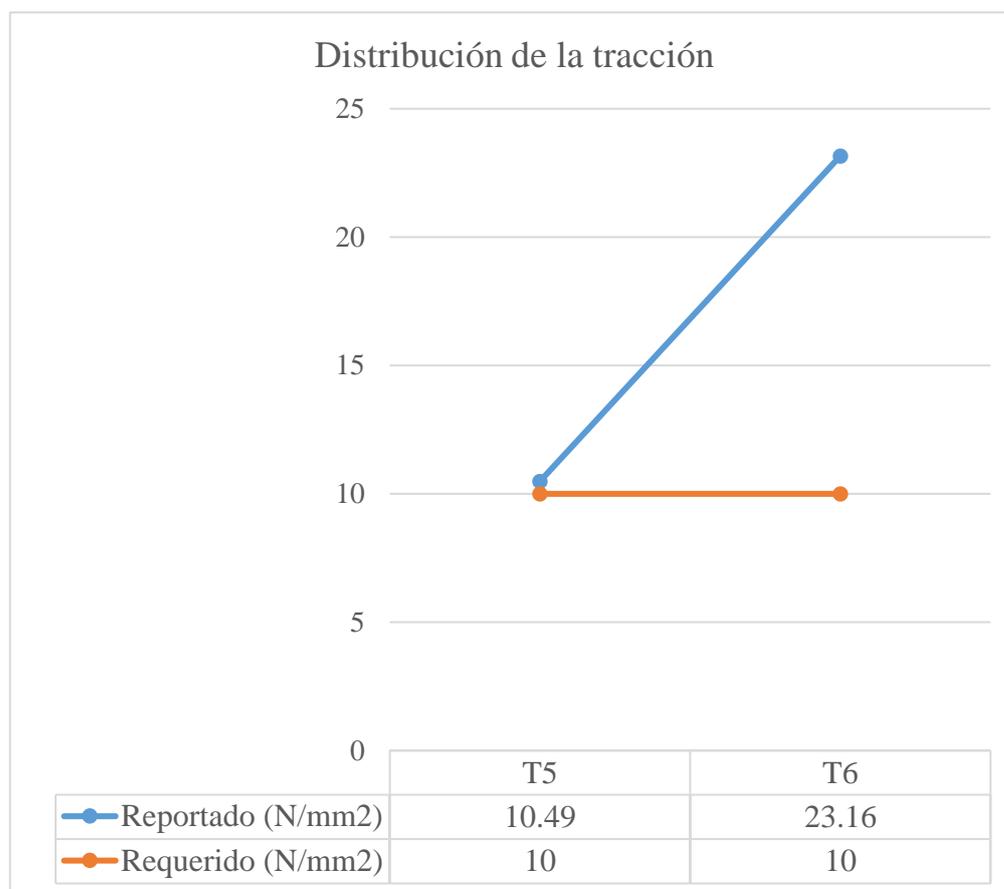
Se realizó la prueba de comparación múltiple de Duncan, para el factor Tiempo y para el factor de interacción Niveles (A) x Tiempo(B) (ver Anexo 5 y 6). Se observa la relación que existe entre el tiempo de curtido y el porcentaje de absorción de cromo, distinguiéndose que a mayor tiempo de curtido se obtiene mayor porcentaje de absorción en las pieles, de la misma forma para el factor de interacción Niveles (A) x Tiempo (B) las pieles curtidas a 4 y 6 horas en ambos niveles (superior e inferior) presentan los más bajos porcentajes de absorción y las pieles curtidas a 8 horas y en ambos niveles (superior e inferior) presentan los más altos porcentajes de absorción de cromo.

### 4.3. CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DEL CUERO

En el presente trabajo de investigación a partir de los ensayos físicos realizados en el Centro de Tecnología e Innovación Productiva Cuero Cochabamba - Bolivia (PROINNOVA CUERO COCHABAMBA), se han obtenido los siguientes resultados:

#### 4.3.1. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

Los resultados de resistencia a la tracción se muestran en la Figura 17.



**Figura 17.** Determinación de resistencia a la tracción del cuero.

Los cueros de los dos tratamientos cumplen con las exigencias de la Norma NTP 241.023.2014, donde establece que la resistencia a la tracción de todo cuero debe ser mayor o igual a  $10\text{N/mm}^2$ . Según el análisis estadístico realizado no se encontraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre los valores de los tratamientos y los valores requeridos para esta prueba (Anexo 8).

Los valores obtenidos en la presente investigación se asemejan a los reportados por Doria (2005) quien reporta para la prueba de resistencia a la tracción valores de  $17\text{N/mm}^2$  en la zona del crupón, así mismo menciona que el cuero de alpaca curtido al cromo es cuatro veces mayor a la resistencia a la tracción que el ovino.

López (1997) obtuvo promedios variables en el crupón de  $11,81$  a  $15,24\text{N/mm}^2$ . Los valores obtenidos en la investigación de Álvarez (2018) para esta prueba fueron de  $21,68$  y  $18,67\text{N/mm}^2$  en cuero de alpaca para capellada. Estudios anteriores en cuero wet-blue de alpacas.

Gómez (1994) indica una resistencia a la tracción de  $23,77$  a  $19,34\text{N/mm}^2$  en la zona del crupón para un curtido al cromo de  $6$  y  $8\%$  respectivamente.

El ensayo de resistencia a la tracción se define como la gran fuerza longitudinal que puede soportar una sustancia. Es un método de ensayo para determinar la resistencia a la tracción, el alargamiento bajo una carga especificada y el alargamiento a la rotura del cuero (AENOR, 2012).

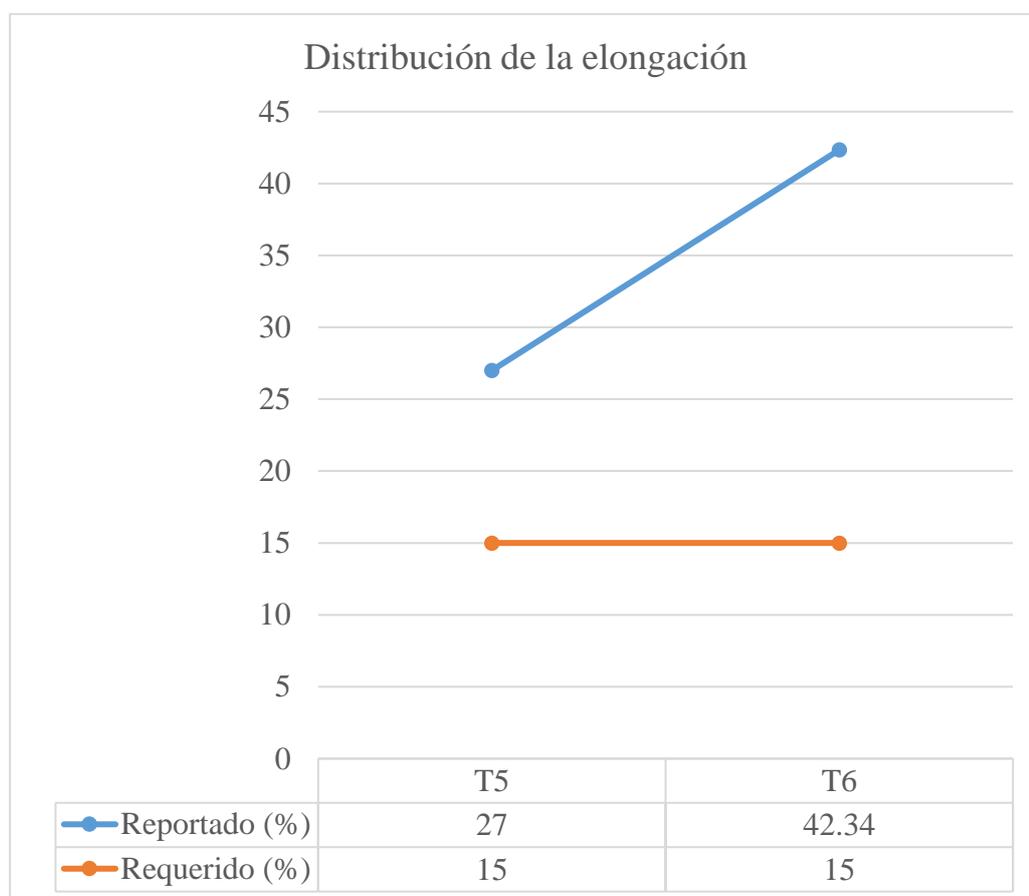
Según (NTP – ISO 3377:2001) La normativa para las pruebas físicas de resistencia a la tracción. Como el cuero del animal varia en su estructura en términos de firmeza en donde siempre hay una pequeña variación en los extremos del cuero. Es decir que al cuero de alpaca es rellenada de la mejor manera los espacios interfibrilares de la piel, les proporciona mayor densidad por ende distribuye de la mejor manera las fuerzas a las que es sometido el análisis de la resistencia a la tracción generando que las fibras se rompan a una carga mayor. Además, cotejando con las respuestas.

El espesor de un cuero es directamente proporcional a la resistencia a la tracción (Doria, 2005).

Con los resultados obtenidos se demuestra la gran resistencia a la tracción y porcentaje de elongación que poseen los cueros de los tres tratamientos, superando los valores exigidos por la normatividad, demostrando que el cuero curtido en el reactor batch podría utilizarse en la fabricación de cuero para calzado.

#### 4.3.2. PORCENTAJE DE ELONGACIÓN DEL CUERO

Los resultados porcentaje de elongación se muestran en la Figura 18.



**Figura 18.** Determinación del porcentaje de elongación.

Los resultados obtenidos para la prueba de porcentaje de elongación cumplen con las exigencias de la Norma NTP 241.023.2014, donde establece que el porcentaje de elongación de todo cuero debe ser mayor o igual a 15%, por tanto, los resultados mostrados son mayores a los datos de la norma técnica. Según el análisis estadístico

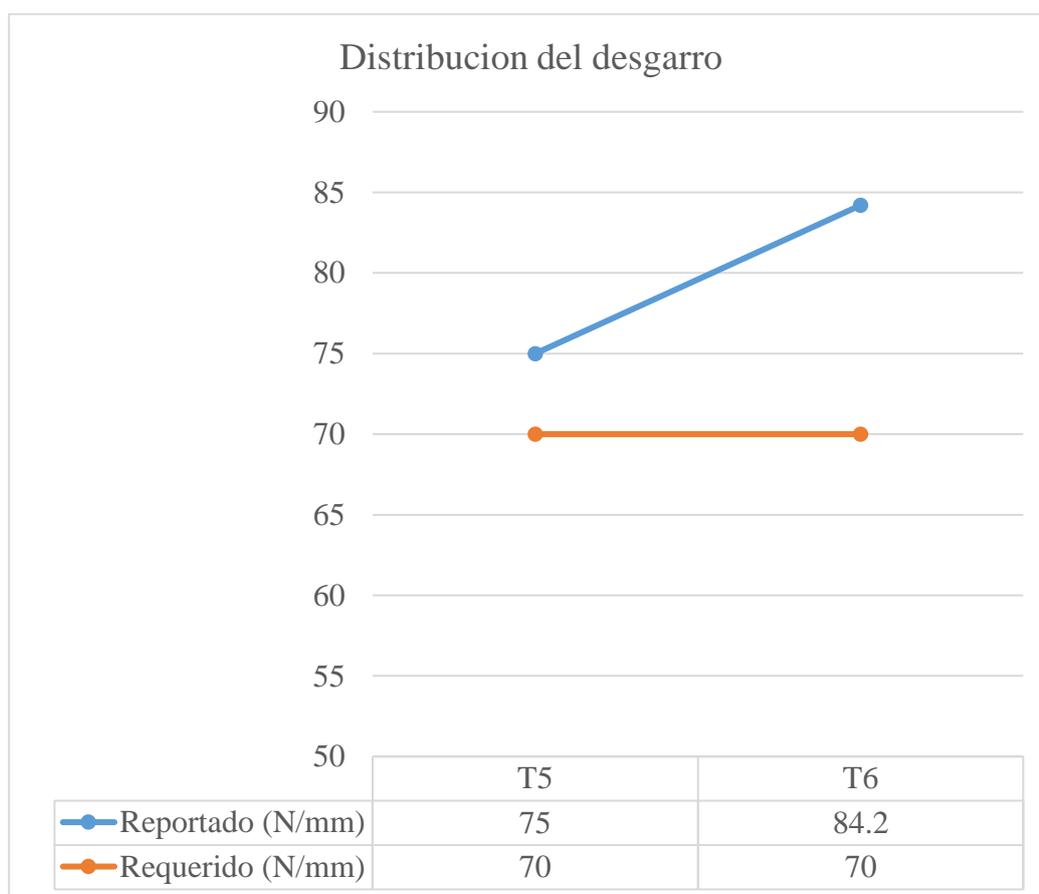
realizado no se encontraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre los valores de los dos tratamientos y los valores requeridos por la normatividad (Anexo 8).

Chavez (2015), ha obtenido un porcentaje de elongación de 53,86% en cuero de llama.

Ttacca (2017), reporta valores de 48.52, 55.87 y 53.79% de elongación en cuero de alpaca curtido al cromo, por lo tanto, los cueros curtidos en el presente trabajo de investigación cumplen con los requisitos necesarios exigidas por las normas técnicas.

### 4.3.3. RESISTENCIA AL DESGARRO

Los resultados obtenidos del análisis físico de resistencia al desgarro se presentan en la Figura 19.



**Figura 19.** Determinación de la resistencia al desgarro.

Los resultados obtenidos para el tratamiento 5 y el tratamiento 6 con 75N/mm y 84,2N/mm respectivamente cumplen con las exigencias de calidad de la Norma Técnica Peruana 241.023.2014, según la norma técnica esta resistencia debe ser mayor o igual a 70N/mm. Según el análisis estadístico realizado no se encontraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre los valores reportados de los dos tratamientos y los valores requeridos por la normatividad (Anexo 8).

Doria (2005) reporta valores de resistencia al desgarro para cuero de alpaca de 64N/mm en la zona del crupón, valores menores a los obtenidos en la presente investigación.

Álvarez (2018) ha obtenido valores de 57,60 y 96,95N/mm de resistencia al desgarro en cuero de alpaca para capellada.

Los valores obtenidos por Ttacca (2017) para esta prueba fueron de 41,31 y 90,26N/mm.

Según (Bacardit, 2004), el objetivo del engrase es obtener un cuero de tacto más suave y flexible, lo cual se logra por la incorporación de materias grasas. Mediante el engrase se aumenta la resistencia al desgarro; son estos productos engrasantes los que influyen bastante en la resistencia al desgarro.

Según (Fontalvo, 1999), la función de las materias grasas sobre el cuero es la de mantener las fibras separadas, y lubricarlas para que se puedan deslizar fácilmente en relación a las otras. También tuvo que ver el espesor y el engrase que posee la piel pues a mayor espesor con un buen engrase se observó una mejor resistencia al desgarro.

Un cuero con baja resistencia al desgarro puede sufrir roturas y desgarramiento cuando es sometido a esfuerzos como costuras, implementos de accesorios, entre otros.

En el caso del cuero para calzado, un material con baja resistencia al desgarro se podría rasgar al momento del armado (Ttacca, 2017).

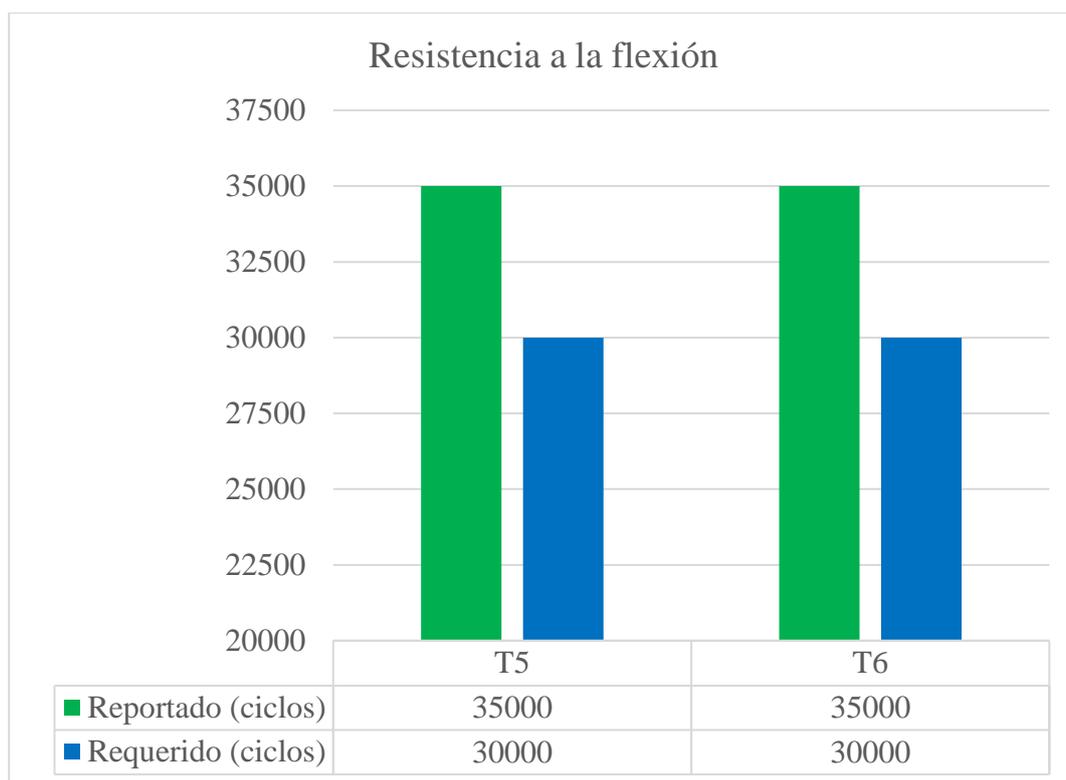
El ensayo del desgarro se utiliza para evaluar la capacidad del cuero para aguantar las tensiones multidireccionales a que se encuentra sometido en sus usos prácticos. La resistencia al desgarro es particularmente necesaria en los codos, en los ojales, y en todas las piezas con orificios o entalladuras sometidas a tensión (Adzet, 1985).

Se puede concluir que los agentes engrasantes utilizados son muy efectivos para mejorar la resistencia al desgarro, como se observa en los cueros obtenidos de los tratamientos 5 y 6 de nuestra investigación.

#### **4.3.4. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN**

Los valores de resistencia a la flexión obtenidos en los cueros curtidos fueron de 35 000 flexiones efectuadas sin daño apreciable en el material, por tanto, el cuero curtido de piel de alpaca cumple con los requisitos para calzado según la Norma Técnica Peruana 241.023.

En la figura 20, se observa las resistencias a la flexión de los cueros curtidos a 8 horas y en los niveles superior (T5) e inferior (T6) del tanque del reactor, mostrando resultados por encima de los 30 000 ciclos exigidos por la normatividad para ésta prueba.



**Figura 20.** Determinación de la resistencia a la flexión del cuero.

Los resultados obtenidos por Doria (2005) en cueros para vestimenta wet-blue de alpaca en los laboratorios de CITEccal fueron de 50 000 flexiones sin daño aparente en la zona del crupón.

Ttacca (2017) reporta 30 000 flexiones sin daño apreciable, por lo tanto, los cueros curtidos en el trabajo de investigación cumplen con los requisitos necesarios exigidas por las normas técnicas.

Los resultados obtenidos por Álvarez (2018) en cueros de alpaca para capellada realizado en los laboratorios de CITEccal fueron más de 30 000 flexiones sin daño apreciable en el material.

Según Doria (2004), el comportamiento a la flexión de un acabado depende de su elasticidad, de su grosor, y de la adherencia con el cuero y entre las diferentes capas. Todas las pieles que en su uso práctico se flexionan repetidamente están expuestas a un deterioro de su acabado.

Este ensayo es crucial para el material que se emplea en la capellada del calzado; el cual al ser ensayado no debe presentar los siguientes defectos: grietas, exfoliaciones, arrugas o cualquier otro defecto producidos por la flexión constante (Ttacca, 2017).

El cuero de mejor resistencia que cumple con las exigencias de la Norma Técnica Peruana para la confección de calzado es del tratamiento 6, reportando una resistencia a la flexión de 35 000 ciclos sin daño alguno, resistencia al desgarró con 84,26N/mm, resistencia a la tracción 23,16N/mm<sup>2</sup> y porcentaje de elongación 42,43% resultando el cuero de mayor resistencia en la investigación, seguido del tratamiento 5 con una resistencia a la flexión de 35 000 ciclos sin daño alguno, resistencia al desgarró de 75N/mm, resistencia a la tracción de 10,94N/mm<sup>2</sup> y porcentaje de elongación de 27%.

## V. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en la que se realizó el presente estudio se concluye:

1. Se realizó el dimensionamiento y construcción de un reactor batch para curtido de 6 pieles de alpaca adulta con las siguientes dimensiones: altura 1m, diámetro de 0.57m y una potencia de la bomba de 0,5Hp, así mismo se determinó la eficiencia que presenta el reactor en función al porcentaje de absorción de cromo y a las características tecnológicas del cuero.
2. Se efectuó las pruebas de laboratorio para determinar el porcentaje de absorción de cromo, donde todos los tratamientos superaron el 2,5%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , que exige la normatividad, así mismo las pieles con mayor porcentaje de absorción fueron los tratamientos 5 y 6, con 3,53% y 3,41%, en las cuales se demuestra la funcionalidad del reactor.
3. Los tratamientos con mejores resultados de absorción de cromo fueron sometidas a las pruebas de calidad tecnológica: resistencia a la tracción, porcentaje de elongación, resistencia al desgarró y resistencia a la flexión, donde los cueros con mejor resistencia fueron los cueros de los tratamientos 5 y 6; el cuero del tratamiento 6 fue curtida a 8 horas en el nivel inferior del tanque del reactor, con una resistencia a la tracción de 23,16N/mm<sup>2</sup>, porcentaje de elongación de 42,34%, resistencia al desgarró de 84,2N/mm y resistencia a la flexión de 35 000 ciclos sin daño alguno; el cuero del tratamiento 5 fue curtida a 8 horas en el nivel superior del tanque del reactor, con una resistencia a la tracción de 10,94N/mm<sup>2</sup>, porcentaje de elongación de 27%, resistencia al desgarró de 75N/mm y resistencia a la flexión de 35 000 ciclos sin daño alguno, las mismas que cumplen con los requisitos necesarios para la confección de calzados, según la Norma Técnica Peruana 241.023.2014.

## VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar investigaciones sobre el dimensionamiento y construcción de un reactor para curtiembre de mayor capacidad, puesto que mejoraría la producción de cueros en términos de volumen.
2. Se recomienda a los proveedores realizar una categorización y clasificación de las pieles para la comercialización, respecto al espesor y al tiempo de conservación, ya que son características determinantes en la calidad del producto deseado.
3. Respecto a los procesos, se recomienda realizar el lavado de todo el sistema utilizando detergentes y cepillos, debido a que los reactivos empleados en la curtiembre son altamente corrosivos, así mismo utilizar todos los EPP necesarios durante el proceso.
4. Resulta fundamental buscar nuevas alternativas en las diferentes etapas del proceso de obtención de cueros para emitir cada vez menos efluentes contaminados, con el uso de nuevos productos o de productos ya existentes; que permita obtener un proceso más limpio con cueros de calidad.

## VII. REFERENCIAS

- Adzet, J. (1985). Química Técnica de Tenería. 1ª ed. Igualada, España. Edit. Romanya-Valls. pp 5, 25, 44-128.
- Álvarez, P. (2018). Características tecnológicas del cuero para capellada de alpaca huacaya (Lama pacos) adulta curtido mediante los métodos wet-white y wet-blue. Tesis Ing. Zootecnista. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Aragón, M.& Alzate, A. (2004). Sistema de referenciación ambiental (SIRAC) para el sector curtiembre en Colombia. Proyecto gestión ambiental en la industria de curtiembre en Colombia. Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales. Pág. 21 – 22.
- Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). 2003. Cuero. Ensayos físicos y mecánicos. Determinación de la resistencia al desgarro. Parte 2: Desgarro doble. Editada e impresa por AENOR. Madrid- España.
- Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). 1988. Cuero ensayos físicos y mecánicos. Determinación de la Permeabilidad al vapor de agua. Editada e impresa por AENOR. Madrid- España. Pág. 14.
- Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). (2012). Cuero ensayos físicos y mecánicos. Determinación de la resistencia a la tracción y del porcentaje de alargamiento. Editada e impresa por AENOR. Madrid- España. pág.12.
- Bacardit, A. (2004). Química Técnica del Cuero. Editorial COUSO. Cataluña, España.
- Barsoum, B., Eid, A., Fahim, N., & Khalil, M. (2006). Removal of chromium (III) from tannery wastewater using activated carbón from sugar industrial waste. Egypt. Journal of Hazardous Materials. Volumen 136, Issue 2. pág. 303-309.

- Burreli, G. (1981). Gran Larouse Universal. Editorial Plaza Jones S.A. España.
- Campos, C. (2013). Análisis y mejora de procesos de una curtiembre ubicada en la ciudad de Trujillo. Tesis para optar el Título de Ingeniero Industrial, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Carvajal, R., Gaitán, A., & Téllez, J. (2004). Aspectos toxicológicos relacionados con la utilización del cromo en el proceso productivo de curtiembre. Revista de la Facultad de Medicina. Bogotá. Colombia. Vol. 52. pág. 50-61.
- Calvillo, J., & Ramírez, V. (2010). Guía para la curtición artesanal de la piel de conejo. p. 73-77
- Comisión Nacional del medio Ambiente (CONAMA - Región Metropolitana). (1999). Guía para el Control y Prevención de la Contaminación Industrial: Curtiembre. pág. 7-13.
- Córdova, H. (2014). Minimización de emisiones de cromo en el proceso de curtido, por uso de complejantes y basificantes de cromo y tratamiento de efluentes. Tesis Ing. Ambiental. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. pág. 6-28.
- Covaleda, M. (2014). Diseño y construcción de un prototipo de reactor tipo batch a escala de laboratorio para la producción de biodiesel a partir de aceites vegetales. Tesis Ing. Mecánica. Montería, Colombia. Universidad de Córdoba. pág. 23,24.
- Chavarrea, C., & Orozco, R. (2011). Diseño y construcción de un reactor – molineta para el curtido de cueros con pelo en la curtiembre cueros el AL-CE. Tesis de Grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba – Ecuador.
- Chávez, A. (2015). Evaluación de las características físicas del cuero de llama (Lama glama) raza q'ara de dos dientes de edad curtido con cuatro niveles de tara

(Caesalinea sinosa). Tesis Ing. Zootecnista. Huancavelica, Perú. Universidad Nacional de Huancavelica. pág. 49, 50.

CUERONET. Zonas de la piel. [en línea]. [Fecha de consulta: 25 de octubre del 2018].

Disponible en: ([http://www.cueronet.com/tecnica/div\\_superficie.htm](http://www.cueronet.com/tecnica/div_superficie.htm))

Doria, G. (2005). Características tecnológicas de la napa de piel de alpaca (Lama pacos) Tesis Ing. Zootecnista. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. pág. 60-92.

FAO. Proceeding of the symposium on natural fibres. Wool and other animal fibers in South America.

FAO, (2005). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Situación actual de los camélidos sudamericanos en el Perú. Proyecto de Cooperación Técnica en apoyo a la crianza y aprovechamiento de los camélidos sudamericanos en la Región Andina.

Fontana, J. (1999). Factores que influyen en la resistencia al desgarramiento bovino para vestimenta. Uruguay.

Fontalvo, J. (1999). Características de las películas de emulsiones acrílicas para acabados del cuero. Editorial Rohm and Hass. Medellín, Colombia.

Garro, M. (2012). Depilado enzimático conservador del pelo: Injuria química y mecánica de la epidermis para incrementar los procesos difusivos. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Pecuarias, Escuela superior politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. pág. 24-48.

Gómez, C. (1994). Preservación y Conservación de Pieles de Camélidos. Torres, S. Lima, Perú. Ministerio de Agricultura. Serie Manual N°7-94. pág. 9-21.

- Gómez, S. (2016). Características Tecnológicas del Cuero Napa de Ovino Adulto, Mediante los Métodos de Curtido Wet-Blue y Wet-White. Tesis Ing. Zootecnista. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. pág. 79 - 91.
- Gonçalves, E. (2007). Efeito de diferentes curtentes sobre as propriedades de couros isentos de cromo. Centro Universitário Feevale. Novo Hamburgo. Brasil pág. 45-48.
- Guanilo. (1983). Estudio tecnológico de la conservación de pieles de alpaca, ovino y caprino. Tesis Ing. Zootecnista. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. pág. 13-30.
- Grozza, G. (1980). Manual práctico de curtidor. Editorial SINTIS S.A. Barcelona, España.
- Hidalgo, L. (2004). Texto básico de Curtición de pieles. 1a ed., Riobamba, Ecuador, Edit. ESPOCH. pp. 10, 56, 69, 72, 76, 79, 81, 86, 89.
- Huerga, P. (2005). Desarrollo de alternativas de tratamiento de aguas residuales industriales mediante el uso de tecnologías limpias dirigidas al reciclaje y/o valoración de contaminantes. Tesis. Universidad de Valencia.
- INDECOPI. (2014). Normas Técnicas Peruanas Sobre Tecnología del Cuero. Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales No Arancelarias. Centro de Información del INDECOPI (CID). Lima-Perú. pág. 1-11.
- Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). (2014). Proyecto de capacitación y asistencia técnica en apoyo al programa de repoblamiento de alpacas V etapa. Lima, Perú.

- Kadwell, M.; M. Fernandez; H.F. Stanley; R. Baldi; J.C. Wheeler; R. Rosadio; M.W. Bruford. (2001). Genetic analysis reveals the wild ancestors of the llama and y alpaca. P. Roy. Soc. Lond. B.
- Levenspiel, O. (2004). Ingeniería de las reacciones químicas. México: Limusa S.A.
- López, G. (1997). Efectos de diferentes tiempos y niveles de encalado en las características tecnológicas del cuero napa de alpaca. Tesis Ing. Zootecnista. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. pág. 17-40, 46-55.
- Mataix, C. (2011). Mecánica de fluidos y Máquinas hidráulicas, México, 6ta. Edición, Editorial Harla.
- Melgar, D. (2000). Procesos de curtición. En D. Melgar, Tecnología del cuero (págs. 15 -25). Huancayo: MITINCI.
- Méndez, R. (2007). Producción limpia en la industria de curtiembre: Servicio de Publicación e Intercambio Científico, Universidad de Santiago de Compostela.
- Mendoza, E. (2012). Bombas hidráulicas. Perú: Editorial Universidad Nacional Técnica del Callao. (pp. 2-8)
- Mijaylova, P., & Juárez, M. (2004). Remoción de sulfuros en efluentes de pelambre para su recuperación y aprovechamiento. Biblioteca Virtual de Desarrollo sostenible y salud ambiental. Colombia.
- Miller, S., Gagnet, A., & Worden, R. (1999). "Reporte Técnico para la Industria de las Curtiembres en el Perú". Informe para el MITINCI. Lima (Perú). pp 9.
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2017). Anuario de la producción pecuaria y avícola 2017. Lima. Perú.

- Morera, J. (2002). Química de técnica de curtición. Consorci Escola Técnica d'Igualada.
- Mott, R. (2013) Mecánica de fluidos aplicada. México: Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana S.A. (p.p. 237-238)
- Portilla, P. A. (2013). Análisis técnico ambiental del proceso de la curtiduría Serrano de la ciudad Ambato y diseño de la planta de tratamiento de las aguas residuales. Tesis Universidad Central del Ecuador facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental carrera de Ingeniería Ambiental.
- Rincón, M. (2012). Diseño de un Plan Comunicacional para la Industria de las Curtiembre, Basado en Marketing Ecológico. Tesis del Master en Marketing Internacional Universidad Nacional de la Plata. Buenos Aires, Argentina. pág. 5,21-25.
- SENA, (2003). Guía para la selección de ensayos: Manual del usuario. Laboratorio de control calidad para cuero y calzado. Centro Nacional del Calzado y Manufactura del Cuero. Antioquia – Colombia.
- Soler, J. (2004). Proceso de curtido. Editorial CETI. Barcelona, España.
- Trejo, W. (2002). Procesamiento Industrial del Cuero. Departamento de Producción Animal – Facultad de Zootecnia. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú. pág.183.
- Ttacca, I. (2017). Evaluación de parámetros (tiempo, temperatura y concentración de óxido de calcio) durante el apelmbrado para curtido de piel de alpaca (Vicugna pacos). Tesis Ing. Agroindustrial. Puno, Perú. Universidad Nacional dl Altiplano. pág. 35.
- Uzi, M. (2009). Principles of Chemical Reactor Analysis and Design. New Jersey: Wiley.

- Vargas, R. (2005). Estudio de la elaboración de cuero a partir de la piel seca de lisa (*Mugil cephalus*). Tesis Ing. Zootecnista. Lima. Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú. pág. 40-58.
- Vélez, V., Torres, J., Leyva, V., & García, W. (2007). Características de la histología de la piel de alpaca. Escuela de Postgrado, Universidad Católica de Santa María. Arequipa. Perú. Sub proyecto de Investigación y Extensión Agrícola PIEA INCAGRO-UCSM. Pág. 1-8.

## ANEXOS

### Anexo 1. Manual de operación del equipo.

#### Información de seguridad:

Antes de operar el equipo, tome en cuenta que estará trabajando con sustancias químicas, asegúrese de usar el equipo de protección adecuado para evitar cualquier accidente durante la operación de este.

#### Arranque del reactor:

- Verificar que el reactor esté completamente limpio.
- Revisar las instalaciones eléctricas es decir que el reactor esté conectado a una fuente de 110/220 V.
- Colocar el filtro con una malla plástica para evitar impurezas en las tuberías.
- Colocar los cueros previamente lavados y pesados en el reactor.
- Dosificar el agua y los reactivos a utilizar.
- Esperar dos o tres minutos hasta que el fluido llegue hasta las tuberías de succión.
- Encender el interruptor de la bomba.
- Añadir los reactivos en cantidad y tiempo de acuerdo a la formulación del producto.
- Retirar el producto evitando salpicar fluido a la bomba.
- Abrir la válvula de descarga y luego retirar el filtro.
- Lavar el reactor haciendo recircular fluido y detergente removiendo impurezas y sedimentos.

**Anexo 2. Evaluación del porcentaje de absorción de cromo.**

Tratamiento	Tiempo (Hr)	Nivel	Repetición	Volumen (ml)	Factor (x)	Absorción (%)	Promedio
1	4	Superior	R1	22.3	0.127	2,83	2,75
	4	Superior	R2	21.2	0.127	2,69	
	4	Superior	R3	21.5	0.127	2,73	
2	4	Inferior	R1	23.0	0.127	2,92	2,96
	4	Inferior	R2	23.1	0.127	2,93	
	4	Inferior	R3	23.9	0.127	3,04	
3	6	Superior	R1	24.5	0.127	3,11	3,15
	6	Superior	R2	25.2	0.127	3,20	
	6	Superior	R3	24.7	0.127	3,14	
4	6	Inferior	R1	24.9	0.127	3,16	3,23
	6	Inferior	R2	25.5	0.127	3,24	
	6	Inferior	R3	25.8	0.127	3,28	
5	8	Superior	R1	28.5	0.127	3,62	3,53
	8	Superior	R2	28.0	0.127	3,56	
	8	Superior	R3	26.9	0.127	3,42	
6	8	Inferior	R1	27.5	0.127	3,49	3,41
	8	Inferior	R2	26.3	0.127	3,34	
	8	Inferior	R3	26.7	0.127	3,39	

**Anexo 3. Características tecnológicas del cuero de alpaca curtido al cromo.**

VARIABLES FÍSICAS	Tratamiento 5	Tratamiento 6
Resistencia a la tracción (N/mm <sup>2</sup> )	10,94	23,16
Porcentaje de elongación (%)	27	42,34
Resistencia al desgarro (N)	75	84,2
Resistencia a la flexión (ciclos)	35 000	35 000

**Anexo 4. Análisis de Varianza (ANVA) respecto al porcentaje de absorción de cromo.**

Origen	G.L	SC	CM	Fc	Significancia
Niveles (A)	1	0.01	0.01	2.51	ns
Tiempo (B)	2	1.13	0.57	106.59	*
AxB	2	0.09	0.04	8.28	*
Error	12	0.06	0.01		
Total	17	1.30			

**Anexo 5. Prueba de comparación múltiple de Duncan para el porcentaje de absorción de cromo según el factor tiempo  $\alpha=0,05$** 

TIEMPO (B)	Medias	n	
8h	3.47	6	A
6h	3.19	6	B
4h	2.86	6	C

**Anexo 6. Prueba de comparación múltiple de Duncan para el porcentaje de absorción de cromo según el factor de interacción Niveles (A) x Tiempo (B),  $\alpha=0,05$  a las 8Horas**

TRATAMIENTOS	NIVELES (A)	TIEMPO (B)	Medias	n	
Tratamiento 5	Superior	8h	3,53	3	A
Tratamiento 6	Inferior	8h	3,41	3	A
Tratamiento 4	Inferior	6h	3,23	3	B
Tratamiento 3	Superior	6h	3,15	3	B
Tratamiento 2	Inferior	4h	2,96	3	C
Tratamiento 1	Superior	4h	2,75	3	D

**Anexo 7. Análisis estadístico de los resultados de los ensayos físicos.****TRACCION**

Análisis de varianza

Origen	GL	SC	CM	Fc	Probabilidad	Significancia
Entre grupos	1	40.13	40.13	0.93	0.44	ns
Dentro de los grupos	2	86.71	43.36			
Total	3	126.85				

**ELONGACION**

Análisis de varianza

Origen	GL	SC	CM	Fc	Probabilidad	Significancia
Entre grupos	1	58.83	58.83	0.26	0.65	ns
Dentro de los grupos	2	445.74	222.87			
Total	3	504.57				

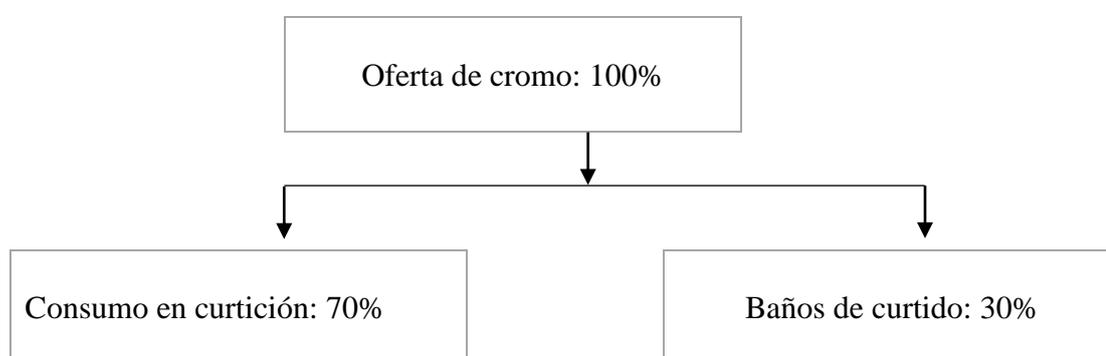
**DESGARRO**

Análisis de varianza

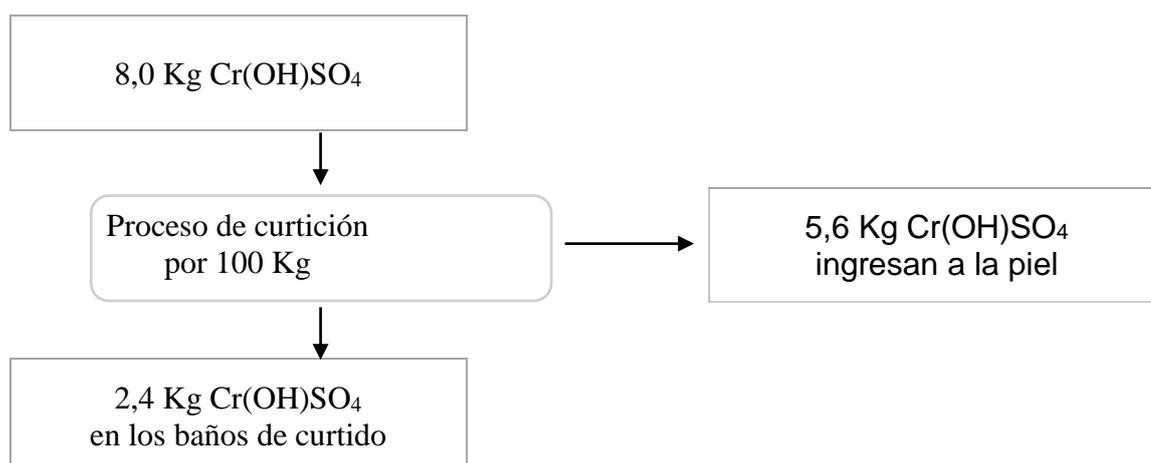
Origen	GL	SC	CM	Fc	Probabilidad	Significancia
Entre grupos	1	21.16	21.16	0.37	0.60	ns
Dentro de los grupos	2	113.32	56.66			
Total	3	134.48				

### Anexo 8. Balance de masa en el proceso de curtición

En el proceso de curtición donde utilizamos sulfato básico de cromo en base al peso de cuero con fibra, en forma general utilizan del 7-9 % de la sal comercial de cromo, para nuestro caso hemos trabajado con una formulación del 8% en peso, esto es si metemos al tanque de curtir 100 kg de cuero con fibra tendremos que formular con 8 kg de la sal de cromo comercial. En el siguiente cuadro tenemos un balance general de cromo que se utiliza en el proceso:



En los baños de curtición tenemos:



**Anexo 9. Informe de análisis de laboratorio de PROINNOVA CUERO COCHABAMBA.**

**Informe de análisis para el tratamiento 5**



**PROINNOVA CUERO COCHABAMBA**  
**RESULTADOS DE LABORATORIO - ANALISIS FISICO - LLAMA CALZADO**

UNIDAD PRODUCTIVA: NILTON JOSE VILCA P.      FECHA: 24/07/2019  
 NRO DE INFORME: 44      CANTIDAD: MUESTRA  
 TIPO DE CUERO: ALPACA CON PELO CURTIDO AL CROMO  
 USO DEL MATERIAL: PANTUFLA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA D AGROINDUSTRIAL  
 COLOR: BLANCA T14      FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
 ESPESOR: 0,7 mm.  
 UNIVERSIDAD : UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO

PRUEBAS FISICAS					
Los metodos IUC/IUP son metodos oficiales de la Unión Internacional de Sociedad de Químicos de Curtiembre, para el analisis quimico designado por IUC y para los test fisicos por IUP. La sigla DIN son los metodos oficiales para testear cueros de la comisión de padrones de Alemania, ISO (Organización Internacional Standar).					
Para los ensayos: Rotura de flor y estallido se usa la Norma IUP/9. Rotura y elongacion se usa la Norma IUP/6 y la Norma DIN 533238. Para el ensayo de rasgamiento simple la Norma IUP/8 y la Norma DIN 53329. Para el ensayo de Doble desgarre Norma ISO 3377-2:2002. Para el ensayo de flexiones continuas la Norma IUP/20. Para el ensayo de fricción de acabado en seco y humedo la Norma IUF/450 corresponde ISO105/02.					
Parametro	Unidad	Norma Aplicada	Especificaciones		Encontrado
			Mínimo	Máximo	
Rotura de flor	mm	IUP/9	7	>	
Estallido	mm	IUP/9	10	>	
Resistencia a la Rotura	N/mm2	IUP/6 - DIN 53328	10	>	10,94
Elongación	%	IUP/6 - DIN 53328	30	≥	27
Resistencia al Desgarre simple	N/mm	IUP/8 - DIN 53329	30	>	
Resistencia al Desgarre doble	N/mm	ISO 3377-2:2002	78-98	>	75
Fricción acabado seco	Grados	IUF 450	4	5	
Fricción acabado en humedo	Grados	IUF 450	4	5	
Flexiones continuas	Ciclos	DIN 53351		-	ARRUGAS LEVES

**Nota:** Los resultados aquí reportados son validos unicamente para la muestra analizada.

 Hector Fuentes Cossio  Test Realizado Especialista en Analisis de Laboratorio	 Rodrigo Raúl Osinaga Valdez COORDINADOR REGIONAL PRO-BOLIVIA COCHABAMBA Vbo Coordinador Regional Pro Bolivia
---	---

**Informe de análisis para el tratamiento 6**



**PROINNOVA CUERO COCHABAMBA**  
**RESULTADOS DE LABORATORIO - ANALISIS FISICO - LLAMA CALZADO**

**UNIDAD PRODUCTIVA:** NILTON JOSE VILCA P.      **FECHA:** 24/07/2019  
**NRO DE INFORME:** 44      **CANTIDAD:** MUESTRA  
**TIPO DE CUERO:** ALPACA CON PELO CURTIDO AL CROMO  
**USO DEL MATERIAL:** PANTUFLA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA D AGROINDUSTRIAL  
**COLOR:** BLANCA T16      FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
**ESPESOR:** 0,6 mm.  
**UNIVERSIDAD :** UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO

<b>PRUEBAS FISICAS</b>					
Los metodos IUC/IUP son metodos oficiales de la Unión Internacional de Sociedad de Quimicos de Curtiembre, para el analisis quimico designado por IUC y para los test fisicos por IUP. La sigla DIN son los metodos oficiales para testear cueros de la comisión de padrones de Alemania, ISO (Organización Internacional Standar).					
Para los ensayos: Rotura de flor y estallido se usa la Norma IUP/9. Rotura y elongación se usa la Norma IUP/6 y la Norma DIN 533238. Para el ensayo de rasgamiento simple la Norma IUP/8 y la Norma DIN 53329. Para el ensayo de Doble desgarre Norma ISO 3377-2:2002. Para el ensayo de flexiones continuas la Norma IUP/20. Para el ensayo de fricción de acabado en seco y humedo la Norma IUF/450 corresponde ISO105/02.					
Parametro	Unidad	Norma Aplicada	Especificaciones		Encontrado
			Mínimo	Máximo	
Rotura de flor	mm	IUP/9	7	>	
Estallido	mm	IUP/9	10	>	
Resistencia a la Rotura	N/mm2	IUP/6 - DIN 53328	10	>	23,16
Elongación	%	IUP/6 - DIN 53328	30	≥	42,34
Resistencia al Desgarre simple	N/mm	IUP/8 - DIN 53329	30	>	
Resistencia al Desgarre doble	N/mm	ISO 3377-2:2002	78-98	>	84,2
Fricción acabado seco	Grados	IUF 450	4	5	
Friccion acabado en humedo	Grados	IUF 450	4	5	
Flexiones continuas	Ciclos	DIN 53351		-	ARRUGAS LEVES

**Nota:** Los resultados aquí reportados son validos unicamente para la muestra analizada.

 Hector Fuentes Coosio  Test Realizado Especialista en Analisis de Laboratorio	 Rodrigo Raúl Osinaga Valdez COORDINADOR REGIONAL PRO-BOLIVIA COCHABAMBA Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural Coordinador Regional Pro Bolivia
---	---

**Anexo 10. Norma Técnica Peruana 241.023.2014.**NORMA TÉCNICA  
PERUANANTP 241.023  
1 de 11**CALZADO. Calzado casual. Requisitos y métodos de ensayo****1. OBJETO**

Esta Norma Técnica Peruana establece los requisitos y los métodos de ensayo relativo a las características básicas que debe cumplir un calzado casual, con el fin de garantizar su adecuado comportamiento, siempre que se utilice conforme a su concepción.

**2. REFERENCIAS NORMATIVAS**

Las siguientes normas contienen disposiciones que al ser citadas en este texto, constituyen requisitos de esta Norma Técnica Peruana. Las ediciones indicadas estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda Norma está sujeta a revisión, se recomienda a aquellos que realicen acuerdos en base a ellas, que analicen la conveniencia de usar las ediciones recientes de las normas citadas seguidamente. El Organismo Peruano de Normalización posee, en todo momento, la información de las Normas Técnicas Peruanas en vigencia.

**2.1 Normas Internacionales**

2.1.1	ISO 868:2003	Plásticos y ebonita. Determinación de la dureza de penetración por medio de un durómetro (dureza Shore)
2.1.2	ISO 17702:2003	Calzado. Métodos de ensayo para empeines. Resistencia al agua
2.1.3	ISO 17699:2003	Calzado. Métodos de ensayo para empeine y forro. Permeabilidad y absorción al vapor de agua

© INDECOPI 2014 – Todos los derechos son reservados

---

 NORMA TÉCNICA  
PERUANA
 

---

 NTP 241.023  
4 de 11
 

---

2.3.15	NTP-ISO 19952:2009	CALZADO. Vocabulario
2.3.16	NTP-ISO 20344:2008	EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL. Métodos de ensayo para calzado.
2.3.17	NTP-ISO 20869:2012	CALZADO. Métodos de ensayo para suelas, palmillas, forros y plantillas. Determinación de las sustancias solubles en agua
2.3.18	NTP-ISO 20871:2006 + AD 1:2012	CALZADO. Métodos de ensayo para suelas. Resistencia a la abrasión
2.3.19	NTP-ISO 22774:2013	CALZADO. Métodos de ensayo para accesorios. Cordones. Resistencia a la abrasión
2.3.20	NTP-ISO 22775:2008	CALZADO. Métodos de ensayo para accesorios. Accesorios metálicos. Resistencia a la corrosión

### 3. CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma Técnica Peruana se aplica al calzado tipo casual, para uso en ambientes urbanos.

### 4. DEFINICIONES

Para los propósitos de esta Norma Técnica Peruana se aplican las definiciones dadas en la NTP-ISO 19952 y la siguiente:

4.1 **calzado casual:** Es el calzado con empeine de cuero, sintético y/o textil de uso informal o de tiempo libre.

© INDECOPI 2014 – Todos los derechos son reservados

## 5. TOMA DE MUESTRAS

Para la realización de todos los ensayos que se describen en esta Norma Técnica Peruana, deben utilizarse calzados terminados correspondientes a un ciclo de producción normal, una vez transcurridas como mínimo 72 horas desde su fabricación. Salvo que se especifique lo contrario en la norma de ensayo correspondiente, se deben efectuar al menos, tres ensayos para cada una de las características a determinar, ensayando cada característica en tres tallas diferentes del modelo que se va a ensayar (deben tomarse la talla mayor, la menor y una intermedia).

Cuando el tamaño y las características de las muestras no permitan obtener de los calzados las probetas normalizadas indicadas anteriormente para cada ensayo, deben ensayarse en los componentes correspondientes a las mencionadas muestras, que deben ser suministrados por el fabricante.

## 6. ACONDICIONAMIENTO

Las muestras deben acondicionarse en una atmósfera normalizada a  $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$  y  $65\% \pm 5\%$  de humedad relativa o  $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$  y  $50\% \pm 5\%$  de humedad relativa, según recomendaciones de la Norma NTP-ISO 18454, durante un mínimo de 48 horas antes del ensayo a menos que se especifique otra cosa en la norma del método de ensayo.

## 7. REQUISITOS Y MÉTODOS DE ENSAYO

### 7.1 Requisitos y métodos de ensayo para el calzado completo

Todas las muestras ensayadas según la NTP-ISO 17708, deben cumplir con una resistencia de la unión corte-piso conforme a lo indicado a continuación:

- Para materiales con densidad mayor o igual a  $0,9\text{ g/cm}^3$ , la resistencia debe ser mayor o igual a  $3,5\text{ N/mm}$ .

© INDECOPI 2014 – Todos los derechos son reservados

- Para materiales con densidad menor a  $0,9 \text{ g/cm}^3$ , la resistencia debe ser mayor o igual a  $3,0 \text{ N/mm}$ .

## 7.2 Requisitos y métodos de ensayo para los componentes

Todas las muestras ensayadas deben cumplir los requisitos que se indican en las Tablas 1 a 6, ensayadas según los métodos indicados en las mismas.

**TABLA 1 - Requisitos y métodos de ensayo para la suela**

Características	Requisito	Método de Ensayo
<b>Espesor</b>	El espesor total de la suela sin resaltes, medido en cualquier punto del calzado terminado, no debe ser inferior a 4 mm .	NTP ISO 20344. Apartado 8.1
<b>Resistencia a la Abrasión</b>	Para materiales con densidad mayor a $0,9 \text{ g/cm}^3$ la pérdida de volumen relativo debe ser menor o igual a $170 \text{ mm}^3$ .  Para materiales con densidad menor o igual a $0,9 \text{ g/cm}^3$ la pérdida de volumen relativo debe ser menor o igual a $250 \text{ mm}^3$ .  Para materiales de caucho termoplástico (TR); la pérdida de volumen relativo debe ser menor o igual a $200 \text{ mm}^3$ .	NTP ISO 20871
<b>Resistencia a la Flexión</b>	A mayor o igual de 20000 ciclos de flexión, el aumento de incisión debe ser menor o igual a 10 mm .	NTP ISO 17707
Resistencia al Desgarro	Para materiales con densidad mayor o igual a $0,9 \text{ g/cm}^3$ , la fuerza debe ser mayor o igual a $8 \text{ N/mm}$ . Para materiales con densidad menor a $0,9 \text{ g/cm}^3$ , la fuerza debe ser mayor o igual a $6 \text{ N/mm}$ .	NTP ISO 34-1

\*La dureza de los materiales debe estar comprendida entre los 55° Shore A y 80° Shore A.

NOTAS:

- a) Se consideran ensayos imprescindibles los resaltados en negritas.
- b) Los otros ensayos que se listan pueden ser requeridos cuando apliquen dependiendo del modelo y materiales empleados.

© INDECOPI 2014 – Todos los derechos son reservados

**TABLA 2 - Requisitos y métodos de ensayo para el empeine**

Características	Requisito	Método de Ensayo
Resistencia a la flexión	<b>Cuero:</b> Seco: Mayor o igual a 30 000 ciclos sin daño apreciable <sup>1)</sup> Húmedo: Mayor o igual a 10 000 ciclos sin daño apreciable <sup>2)</sup>  <b>Textil y/o sintético:</b> Mayor o igual a 150 000 ciclos sin daño apreciable	NTP ISO 17694
Resistencia al desgarró	<b>Cuero:</b> Sin forro: Mayor o igual a 100 N Con forro: Mayor o igual a 70 N	NTP ISO 3377-2
Resistencia a la tracción y porcentaje de elongación	Resistencia a la tracción: Mayor o igual a 10 N/mm ,  Porcentaje de elongación: Mayor o igual a 15% (dirección transversal) y mayor o igual a 7% (dirección longitudinal)	NTP ISO 17706
Permeabilidad al vapor de agua (WVP) y Absorción al vapor de agua (WVA)	WVP debe ser mayor o igual a 0,8 mg/cm <sup>2</sup> .h  Si WVP es mayor o igual a 0,8 mg/cm <sup>2</sup> .h y menor a 2,0 mg/cm <sup>2</sup> .h ; entonces WVA debe ser mayor o igual a 8,0 g/cm <sup>2</sup>	ISO 17699
Solidez del color al frote	<b>Descarga de color lado carne:</b> Método A: Si es calzado sin forro, debe ser mínimo 3 después de 50 ciclos con solución de sudor artificial.  <b>Cambio de color en la superficie (degradación) y descarga de color del lado flor:</b> Método A: Mínimo 3 (escala de grises) después de 150 ciclos en seco y 50 ciclos en húmedo. Método B: Mínimo 3 a 4 (escala de grises) después de 512 ciclos en seco y 128 ciclos en húmedo.	NTP ISO 17700
Solidez del color al sudor	<b>Cuero:</b> Mínimo 3 en calzado sin forro	NTP ISO 11641
Resistencia al agua	Tiempo de penetración mayor o igual a 60 min. ; Absorción de agua después de 60 minutos: Máximo al 30%	ISO 17702
Adhesión al acabado	<b>Cuero:</b> Seco: Mayor o igual a 0,3 N/mm Húmedo: Mayor o igual a 0,2 N/mm  <b>Otros materiales:</b> Seco: Mayor o igual a 0,8 N/mm Húmedo: Mayor o igual a 0,6 N/mm	NTP ISO 11644
pH (Acidez)	<b>Cuero:</b> pH mínimo 3,5 en calzado sin forro <sup>3)</sup>	NTP ISO 4045
Contenido de sustancias solubles en agua	Máximo 18% materias totales solubles en agua (TWS) Máximo 3% cenizas sulfatadas solubles en agua (SAWS)	NTP ISO 4098

- 1) En carnaza con recubrimiento  $\geq 30\ 000$  ciclos  
 2) En carnaza con recubrimiento  $\geq 10\ 000$  ciclos  
 3) Si  $pH < 4,0$  índice de diferencia  $\leq 0,7$

NOTAS:

- a) Se consideran ensayos imprescindibles los resaltados en negritas  
 b) Los otros ensayos que se lista pueden ser requeridos cuando apliquen dependiendo del modelo y materiales empleados.

© INDECOPI 2014 – Todos los derechos son reservados

**TABLA 3 - Requisitos y métodos de ensayo para el forro**

Características	Requisito	Método de ensayo
<b>Resistencia al desgarro</b>	Mínimo 30 N <sup>1)</sup>	NTP ISO 3377-2
<b>Permeabilidad al vapor de agua (WVP) y Absorción al vapor de agua (WVA)</b>	WVP mayor o igual a 2,0 mg/cm <sup>2</sup> .h Si WVP del empeine es menor a 0,8 mg/cm <sup>2</sup> .h , entonces el WVA del forro debe ser mínimo 8,0 mg/cm <sup>2</sup> .	ISO 17699
<b>Resistencia a la abrasión</b>	sin formación de orificios en la superficie de uso a los siguientes números de ciclos: - Seco: Mayor o igual a 25 600 ciclos - Húmedo: Mayor o igual a 12 800 ciclos	NTP ISO 20344. Apartado 6.12
<b>Solidez del color al frote</b>	Método A: Descarga Mínimo 3 (escala de grises) después de 50 ciclos con solución de sudor artificial.  Mínimo 3 (escala de grises) después de 150 ciclos en seco y 50 ciclos en húmedo.	NTP ISO 17700
Solidez del color al sudor	Mínimo 3	NTP ISO 11641
Resistencia a la flexión	En seco 15 000 ciclos sin daño visible	NTP ISO 17694
pH (Acidez)	pH mínimo 3,5 en cuero <sup>2)</sup>	NTP ISO 4045
Contenido en sustancias solubles en agua	Materiales solubles en agua máximo 16% Cenizas sulfatadas solubles en agua máximo 1,5% (en el ensayo no es necesario para algunos materiales de forro) <sup>3)</sup>	NTP SO 20869

- 1) En el caso de tejidos, se puede aumentar el tamaño de la probeta para facilitar el desgarro.
- 2) Si pH < 4,0, índice de diferencia ≤ 0,7.
- 3) Este requisito se considera esencial para el cuero

**NOTAS:**

- a) Se consideran ensayos imprescindibles los resaltados en negritas
- b) Los otros ensayos que se listan pueden ser requeridos cuando apliquen dependiendo del modelo y materiales empleados.

**TABLA 4 - Requisitos y métodos de ensayo para la plantilla**

Características	Requisito	Método de ensayo
<b>Solidez del color al frote</b>	Método A: Descarga Mínimo (escala de grises) después de 50 ciclos con solución de sudor artificial.  Mínimo 3 (escala de grises) después de 150 ciclos en seco y 50 ciclos en húmedo.	NTP ISO 17700
Solidez del color al sudor	Mínimo 3	NTP ISO 11641
<b>Resistencia a la abrasión</b>	sin formación de orificios en la superficie de uso a los siguientes números de ciclos: - Seco: Mayor o igual a 25 600 ciclos - Húmedo: Mayor o igual a 12 800 ciclos	NTP ISO 20344. Apartado 6.12
Resistencia a la flexión	En seco 15 000 ciclos sin daño visible	NTP ISO 17694
Resistencia al desgarro	Mínimo 30 N <sup>1)</sup>	NTP ISO 3377-2
pH (Acidez)	pH mínimo 3,5 en cuero <sup>2)</sup>	NTP ISO 4045
Contenido en sustancias solubles en agua	Materiales solubles en agua máximo 16% Cenizas sulfatadas solubles en agua máximo 1,5% (en el ensayo no es necesario para algunos materiales de forro) <sup>3)</sup>	NTP ISO 20869

- 4) En el caso de tejidos, se puede aumentar el tamaño de la probeta para facilitar el desgarro.  
5) Si pH < 4,0, índice de diferencia  $\leq 0,7$ .  
6) Este requisito se considera esencial para el cuero

NOTAS:

- a) Se consideran ensayos imprescindibles los resaltados en negritas  
b) Los otros ensayos que se listna pueden ser requeridos cuando apliquen dependiendo del modelo y materiales empleados.

**Anexo 11. Panel fotográfico.**

**Foto 1. Dimensionamiento del reactor:** toma de medidas del sistema de soportes de ambos niveles (superior e inferior) del reactor. Curtiembre Hatun Alpaca E.I.R.L.



**Foto 2. Instalación del reactor:** Instalación del sistema de tuberías y accesorios del reactor. Curtiembre Hatun Alpaca E.I.R.L.



**Foto 3. Selección de la materia prima:** adquisición de cueros de alpaca. Distrito de Nuñoa – Melgar – Puno.



**Foto 4. Inicio de operación del reactor:** Arranque del reactor. Curtiembre Hatun Alpaca E.I.R.L.



**Foto 5. Proceso de curtido dentro del reactor:** recirculación del baño de curtido. Curtiembre Hatun Alpaca E.I.R.L.



**Foto 6. Proceso Post- Curtido:** estirado y claveteado de cueros curtidos. Curtiembre Hatun Alpaca E.I.R.L.



**Foto 7. Cueros terminados:** acabado y secado de cueros. Curtiembre Hatun Alpaca E.I.R.L.



**Foto 8. Toma de muestras:** pesado de muestras para análisis de absorción de cromo. Laboratorio de Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional del Altiplano Puno.



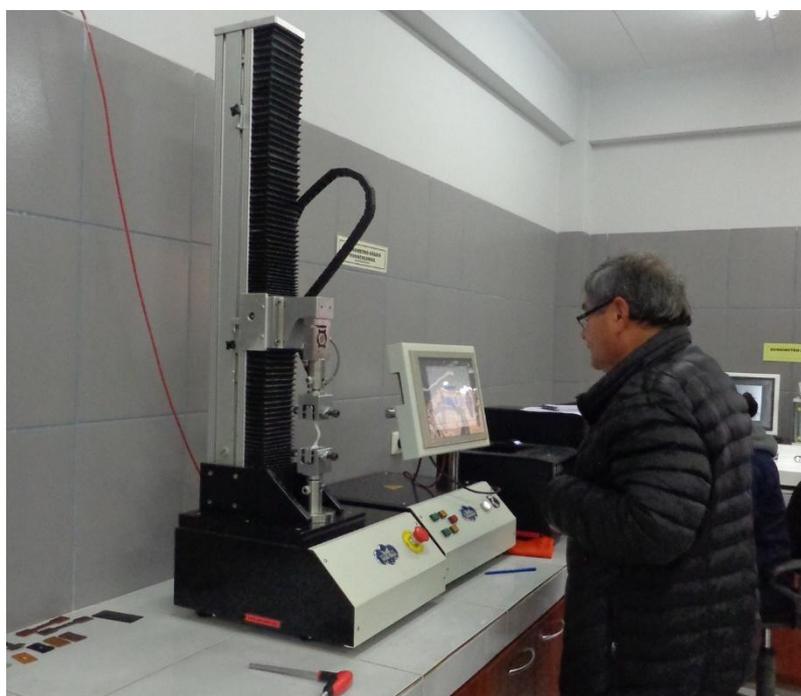
**Foto 9. Oxidación del cuero:** Proceso de óxido-reducción del cuero. Laboratorio de Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional del Altiplano Puno.



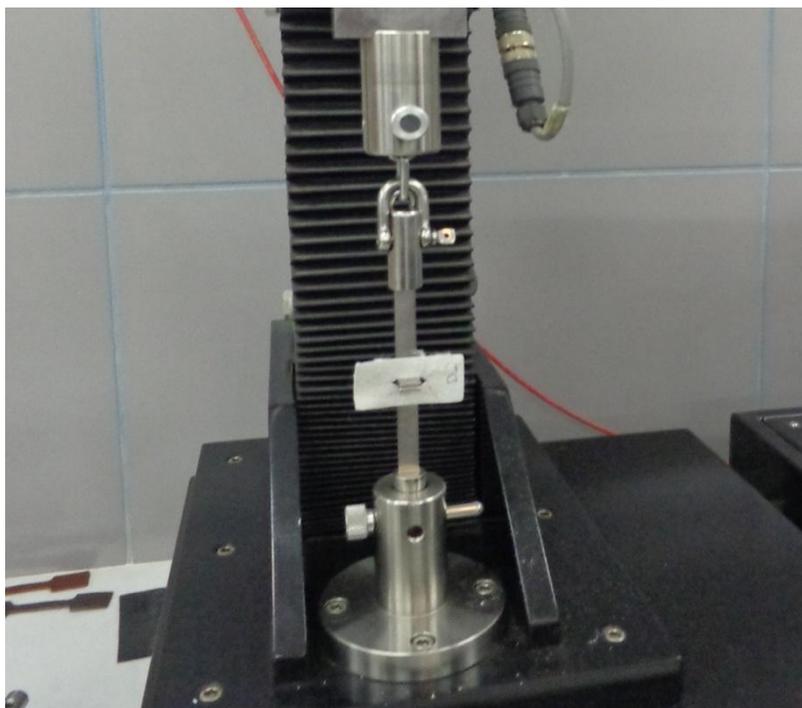
**Foto 10. Titulación de yodo liberado:** determinación del porcentaje de cromo. Laboratorio de Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional del Altiplano Puno.



**Foto 11. Toma de muestras para análisis físicos:** ubicación de las muestras para los ensayos físicos. Laboratorio del Centro de Tecnología e Innovación Productiva Cuero Cochabamba – Bolivia.



**Foto 12. Análisis de resistencia a la tracción y porcentaje de elongación.** Laboratorio del Centro de Tecnología e Innovación Productiva Cuero Cochabamba – Bolivia.



**Foto 13. Análisis de resistencia al desgarro.** Laboratorio del Centro de Tecnología e Innovación Productiva Cuero Cochabamba – Bolivia.



**Foto 14. Análisis de resistencia a la flexión.** Laboratorio del Centro de Tecnología e Innovación Productiva Cuero Cochabamba – Bolivia.