



Piquelado

- ✓ en el curtido de pieles alpaca y ovinos bebé

para la industria peletera

PIQUELADO EN EL CURTIDO DE PIELES DE ALPACA Y OVINO BEBÉ PARA LA INDUSTRIA PELETERA

COLECCIÓN RESULTADO DE INVESTIGACIÓN

Primera Edición 2025 Vol. 1

Editorial EIDEC

Sello Editorial EIDEC (978-958-53018)
NIT 900583173-1

ISBN: 978-628-96986-5-7

Formato: Digital PDF (Portable Document Format)

DOI: doi.org/10.34893/o3897-5263-4238-u

Publicación: Colombia

Fecha Publicación: 07/11/2025

Coordinación Editorial

Escuela Internacional de Negocios y Desarrollo Empresarial de Colombia – EIDEC
Centro de Investigación Científica, Empresarial y Tecnológica de Colombia – CEINCET
Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES

Revisión y pares evaluadores

Centro de Investigación Científica, Empresarial y Tecnológica de Colombia – CEINCET
Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES

**Eidéc**
EDITORIAL

Coordinadores editoriales

Paula Alejandra Noguera Zambrano
Editorial EIDEC

Dr. Cesar Augusto Silva Giraldo

Centro de Investigación Científica, Empresarial y Tecnológica de Colombia – CEINCET – Colombia.

Dr. David Andrés Suarez Suarez

Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES – Colombia.

El libro **PIQUELEADO EN EL CURTIDO DE PIELES DE ALPACA Y OVINO BEBÉ PARA LA INDUSTRIA PELETERA**, está publicado bajo la licencia de Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0) Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es>). Esta licencia permite copiar, adaptar, redistribuir y reproducir el material en cualquier medio o formato, con fines no comerciales, dando crédito al autor y fuente original, proporcionando un enlace de la licencia de Creative Commons e indicando si se han realizado cambios.

Licencia: CC BY-NC 4.0.

NOTA EDITORIAL: Las opiniones y los contenidos publicados en el libro **PIQUELEADO EN EL CURTIDO DE PIELES DE ALPACA Y OVINO BEBÉ PARA LA INDUSTRIA PELETERA**, son de responsabilidad exclusiva de los autores; así mismo, éstos se responsabilizarán de obtener el permiso correspondiente para incluir material publicado por parte de la **Editorial EIDEC**.

**PIQUELADO EN EL CURTIDO DE PIELES DE
ALPACA Y OVINO BEBÉ PARA LA INDUSTRIA
PELETERA**

**PICKLING IN THE TANNING OF ALPACA AND
BABY SHEEP SKINS FOR THE FUR INDUSTRY**

AUTORES

Antonieta Mojo Quisani

Raul Mamani Condori

Amanda Rosa Maldonado Farfán

Juan Callañaupa Quispe

Karin Florez Huaracha

Yakov Felipe Carhuarupay Molleda

Ybar G. Palomino Malpartida

Pares evaluadores: Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES.¹

¹ Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES. www.rediees.org



CONTENIDO

Prologo	12
RESUMEN	13
ABSTRACT	15
Introducción.....	16
CAPÍTULO I: PIELES DE ANIMALES PARA CURTIDO	17
RESUMEN.....	17
ABSTRACT	18
1. PIELES DE ANIMALES PARA CURTIDO	19
1.1. Pieles de animales altoandinos para curtido.....	19
1.2. Historia y evolución del curtido	20
1.3. La piel.....	20
1.3.1. Partes y características de la piel de alpaca y ovino.....	21
1.3.2. Anatomía de la piel: epidermis, dermis e hipodermis	22
1.3.3. Composición química y física de la piel	24
1.4. Transformación de la piel en proceso de curtición.....	25
1.5. Características de la piel de animales para peletería	26
1.6. Microbiología de las pieles.....	27
1.7. Anomalías frecuentes de pieles	27
1.8. Conservación de las pieles	28
1.9. Industria peletera	29
CAPÍTULO II: CURTIDO DE PIELES	30
RESUMEN	30
ABSTRACT	31
2. CURTIDO DE PIELES.....	32
2.1. El cuero.....	32
2.2. Transformación de la piel de animales en cuero	32
2.2.1. Remojo	33
<i>Factores que influyen en el remojo</i>	<i>34</i>
<i>Sistemas de remojo.....</i>	<i>34</i>

2.2.2.	Descarnado	35
2.2.3.	Desengrasado.....	35
2.2.4.	Piquelado y su importancia en el curtido	36
	<i>Métodos de piquelado</i>	37
	<i>Factores que afectan al piquel</i>	38
	<i>Defectos que puede ocasionar un mal piquel en el cuero terminado</i>	39
2.2.5.	Curtido y acabado del cuero.....	40
	<i>Curtido al cromo</i>	40
2.2.6.	Neutralizado	41
2.2.7.	Recurtido	42
2.2.8.	Engrase	42
2.2.9.	Secado	42
2.3.	Control de calidad y características físicas del cuero.....	43
2.3.1.	Resistencia a la tracción del cuero	43
2.3.2.	Porcentaje de elongación a la ruptura.....	44
	CAPÍTULO III: PIQUELADO EN PIELES DE ALPACA BEBE	45
	RESUMEN	45
	ABSTRACT	46
3.	PIQUELADO EN PIELES DE ALPACA BEBE	47
3.1.	Lugar de estudio	47
3.2.	Diseño experimental.....	47
3.3.	Metodología aplicada	48
3.4.	Técnicas de análisis de calidad del cuero para peletería de alpaca	56
3.4.1.	Evaluación de la resistencia a la tracción de pieles cosidas	57
3.4.2.	Evaluación de la resistencia a la tracción.....	57
3.4.3.	Evaluación del porcentaje de alargamiento a la rotura.....	57
3.5.	Resultados y discusiones	58
3.5.1.	Evaluación de la calidad de las pieles de alpaca bebe.....	58
3.5.2.	Resistencia a la costura de cuero peletería de alpaca bebe.....	59
3.5.3.	Resistencia a la tracción de cuero peletería de alpaca bebe	60
3.5.4.	Alargamiento a la rotura de cuero peletería de alpaca bebe.....	62

3.6.	Aspectos alcanzados y conclusiones	64
CAPÍTULO IV: PIQUELADO EN PIELES OVINO		65
RESUMEN		66
ABSTRACT		66
4.	PIQUELADO EN PIELES OVINO BEBE.....	67
4.1.	Lugar de estudio	67
4.2.	Diseño experimental.....	67
4.3.	Metodología aplicada	67
4.4.	Técnicas de análisis de calidad del cuero para peletería de ovino	70
4.5.	Resultados y discusiones	70
4.5.1.	Resistencia a la costura de cuero peletería de ovino bebe.....	70
4.5.2.	Resistencia a la tracción de cuero peletería de ovino bebe	72
4.5.3.	Porcentaje de alargamiento a la rotura de cuero peletería de ovino bebe	73
4.6.	Aspectos alcanzados y conclusiones	74
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		76

FIGURAS

Figura 1. Partes de la piel de ovino	21
Figura 2. Partes de la piel de alpaca	22
Figura 3. Esquema de los principales componentes del tegumento	23
Figura 4. Componentes de la piel y su transformación	25
Figura 5. Control de calidad de pieles de alpaca bebe	49
Figura 6. Remojo, escurrido y recortado de pieles de alpaca bebe	50
Figura 7. Piquelado y escurrido de pieles de alpaca bebe	51
Figura 8. Descarnado y segundo piquelado.....	52
Figura 9. Curtido de las pieles.....	52
Figura 10. Segundo lavado y secado de las pieles.....	53
Figura 11. Estirado y engrasado de las pieles	54
Figura 12. Diagrama de flujo para la obtención de cuero peletería de piel de alpaca.....	55
Figura 13. Acabado manual del cuero peletería	56
Figura 14. Gráfica de efectos principales e interacción de factores para resistencia a la tracción de las pieles cocidas.	60
Figura 15. Gráfica de efectos principales e interacción de factores para resistencia a la tracción.	62
Figura 16. Grafica de efectos principales e interacción de factores para el alargamiento a la rotura	63
Figura 17. Diagrama de flujo para obtención de cuero peletería de ovino bebe	68
Figura 18. Efectos principales e interacción de factores para resistencia a la costura del cuero peletería de ovino	71
Figura 19. Efectos principales e interacción de factores para la resistencia a la tracción de cuero peletería de ovino bebe.....	73
Figura 20. Efectos principales e interacción de factores para alargamiento a la rotura de cuero peletería de ovino bebe.....	74

TABLAS

Tabla 1. Alteraciones en la piel de los animales y sus causas	27
Tabla 2. Productos ácidos usados para el piquelado	39
Tabla 3. Identificación de variable independiente.....	47
Tabla 4. Matriz de diseño experimental, factorial 2^2	47
Tabla 5. Criterios de calidad de las pieles del juez calificador.....	48
Tabla 6. Calidad de la materia prima: pieles de alpaca bebe.....	58
Tabla 7. Resistencia a la tracción de pieles cocidas (N/cm^2)	59
Tabla 8. Resistencia a la tracción N/cm^2	61
Tabla 9. Alargamiento a la rotura (%).....	63
Tabla 10. Matriz de diseño experimental factorial completo $2^2=4$	67
Tabla 11. Resistencia a la costura de cuero peletería de ovino bebe.....	71
Tabla 12. Resistencia a la tracción (N/cm^2) para cuero peletería de piel de ovino bebe.....	72
Tabla 13. Alargamiento a la rotura (%) para cuero peletería de piel de ovino bebe	74

Prologo

En los últimos años, la industria peletera artesanal en el Perú ha enfrentado desafíos significativos debido a las restricciones impuestas al uso del ácido fórmico, un insumo tradicional en el proceso de piquelado. Esta medida regulatoria generó incertidumbre entre los artesanos de Sicuani, Cusco, cuya economía local depende en gran medida de la transformación de pieles de alpaca y ovino en cueros de alta calidad. Ante esta problemática, surgió la necesidad de investigar alternativas técnicas viables que no solo preserven la calidad del producto, sino que también garanticen la sostenibilidad de este oficio ancestral.

El presente libro, “Piquelado en el curtido de pieles de alpaca y ovino bebé para la industria peletera”, nace como una respuesta académica y práctica a esta coyuntura. Desarrollado a partir de investigaciones realizadas por docentes universitarios en colaboración con los maestros peleteros de la provincia de Sicuani, Cusco, Perú, esta obra busca difundir conocimientos científicos aplicables a pequeña escala, manteniendo el equilibrio entre la tradición artesanal y la innovación tecnológica. La primera y segunda parte del libro aborda los fundamentos teóricos esenciales: la estructura y propiedades de las pieles, la importancia crítica del piquelado en el proceso de curtición, y los principios que rigen el curtido. Estos conceptos sientan las bases para comprender los casos prácticos que conforman la tercera y cuarta parte, donde se detallan dos estudios realizados en condiciones reales de producción artesanal. Estos casos demuestran la eficacia de sustituir el ácido fórmico por alternativas como el ácido acético y láctico, optimizando parámetros como el pH y la concentración salina para lograr cueros con propiedades mecánicas superiores y acordes a las normativas vigentes. Más que un manual técnico, este libro es un puente entre el saber empírico de los artesanos y el rigor científico, diseñado para capacitar a los productores, enriquecer la formación de estudiantes de ingeniería y servir como referencia para futuras investigaciones en el campo. Su propósito final es contribuir a la preservación de una actividad económica clave para las comunidades altoandinas, promoviendo prácticas seguras, sostenibles y competitivas en el mercado global. Invitamos al lector a adentrarse en estas páginas con la convicción de que la unión entre conocimiento tradicional e innovación es el camino para fortalecer la peletería artesanal peruana, asegurando su continuidad y relevancia en el siglo XXI.

PIQUELADO EN EL CURTIDO DE PIELES DE ALPACA Y OVINO BEBÉ PARA LA INDUSTRIA PELETERA

PICKLING IN THE TANNING OF ALPACA AND BABY SHEEP SKINS FOR THE FUR INDUSTRY

Antonieta Mojo², Raul Mamani³, Amanda R. Maldonado⁴, Juan Callañaupa⁵, Karin Florez⁶,
Yakov Felipe Carhuarupay⁷, Ybar G. Palomino⁸

RESUMEN

Este manuscrito surge como respuesta a las restricciones regulatorias del ácido fórmico en la industria peletera artesanal peruana, proponiendo alternativas técnicas para preservar la calidad del cuero. Combina fundamentos teóricos sobre la estructura y procesamiento de pieles con dos casos prácticos desarrollados en la provincia de Sicuani, Cusco, Perú, se evaluaron pieles de alpaca y ovino bebé obtenidas por mortalidad natural. El trabajo experimental se enfocó en el proceso de piquelado, evaluando combinaciones de ácidos orgánicos (acético y láctico) con diferentes grados de salinidad (9°βe y 12°βe) y niveles de acidez (pH 2.5 y 3.5). Los hallazgos revelaron que el tratamiento con ácido acético a máxima concentración salina produjo cueros con excelente resistencia mecánica (2488.80 N/cm² para alpaca y 2230.40 N/cm² para ovino), superando los requerimientos de la norma técnica peruana. En cuanto a la elongación a la rotura, se obtuvieron valores óptimos con ácido láctico para alpaca (24.58%) y con pH bajo para ovino (46.17%). Las conclusiones subrayan que la combinación de pH ácido (2.5) y alta concentración salina (12°βe) optimiza las propiedades mecánicas del cuero, ofreciendo una alternativa viable y sostenible al ácido

² Docente investigadora, UNSAAC- Perú, antonieta.mojo@unsaac.edu.pe

³ Estudiante de posgrado, UNSAAC- Perú, 173338@unsaac.edu.pe

⁴ Docente investigadora, UNSAAC- Perú, amanda.maldonado@unsaac.edu.pe

⁵ Docente investigador, UNSAAC- Perú, juan.callanaupa@unsaac.edu.pe

⁶ Laboratorista de laboratorio de Investigación, UNSAAC- Perú, karin.florez@unsaac.edu.pe

⁷ Docente investigador, UNAJMA-Perú, ycarhuarupay@unajma.edu.pe

⁸ Docente investigador, UNSCH-Perú, ybar.palomino@unsch.edu.pe

fórmico. El libro, dirigido a artesanos, estudiantes e investigadores, busca fortalecer la industria peletera andina mediante la integración de conocimiento científico y tradición artesanal, asegurando competitividad y calidad en el mercado global.

PALABRAS CLAVE: curtido artesanal, piquelado, cuero de alpaca, cuero de ovino, resistencia mecánica



ABSTRACT

This manuscript is a response to the regulatory restrictions on formic acid in the Peruvian artisanal fur industry, proposing technical alternatives to preserve leather quality. It combines theoretical foundations on hide structure and processing with two practical cases developed in Sicuani (Cusco), where alpaca and baby sheep hides obtained by natural mortality were evaluated. The experimental work focused on the pickling process, evaluating combinations of organic acids (acetic and lactic) with different degrees of salinity (9°βe and 12°βe) and acidity levels (pH 2.5 and 3.5). The findings revealed that treatment with acetic acid at maximum saline concentration produced hides with excellent mechanical strength (2488.80 N/cm² for alpaca and 2230.40 N/cm² for sheep), exceeding the requirements of the Peruvian technical standard. In terms of elasticity, optimal values were obtained with lactic acid for alpaca (24.58%) and with low pH for sheep (46.17%). The conclusions emphasize that the combination of acidic pH (2.5) and high salt concentration (12°βe) optimizes the mechanical properties of leather, offering a viable and sustainable alternative to formic acid. The book, aimed at artisans, students, and researchers, seeks to strengthen the Andean leather industry by integrating scientific knowledge and artisanal tradition, ensuring competitiveness and quality in the global market.

Keywords: artisanal tanning, pickling, alpaca leather, sheep leather, mechanical resistance

Introducción

El proceso de curtido de pieles constituye una práctica ancestral en las comunidades altoandinas del Perú, donde el clima extremo y las bajas temperaturas cobran la vida de crías de alpaca y ovino de forma natural. Estas pieles, producto de condiciones ambientales adversas, representan un recurso valioso para la economía local y el sustento de artesanos peleteros. Sin embargo, la restricción al uso de ácido fórmico (reactivo tradicional en el piquelado) ha generado la necesidad urgente de alternativas técnicas que mantengan la calidad del cuero sin comprometer la viabilidad de la producción artesanal.

Este libro, *Piquelado en el curtido de pieles de alpaca y ovino bebé para la industria peletera*, surge como respuesta a este desafío. Combina fundamentos científicos con investigación aplicada, centrada en dos casos prácticos desarrollados en Sicuani – Cusco - Perú, donde se evaluaron cueros de peletería a partir de pieles de crías obtenidas por mortandad natural. A través de un enfoque experimental, se analizó el reemplazo del ácido fórmico por ácidos acético y láctico, optimizando parámetros como pH y concentración salina ($^{\circ}\beta\text{e}$) para garantizar cueros con propiedades mecánicas superiores, acordes a normativas nacionales e internacionales.

Este libro busca preservar un oficio milenario, fortalecer las cadenas de valor locales y aportar al desarrollo de una industria peletera competitiva y responsable con su entorno. Invitamos al lector a explorar estas páginas con la convicción de que el conocimiento científico, aplicado con sensibilidad cultural, puede transformar desafíos en oportunidades para las comunidades andinas.

CAPÍTULO I: PIELES DE ANIMALES PARA CURTIDO⁹

Antonieta Mojo Quisani¹⁰, Yakov Felipe Carhuarupay Molleda¹¹

RESUMEN

Este capítulo introduce los fundamentos del curtido de pieles, destacando la importancia de la alpaca, y ovino como materia prima con características únicas. Históricamente, el curtido evolucionó desde métodos ancestrales con grasas y taninos vegetales hasta técnicas modernas como el curtido al cromo, marcando hitos desde el antiguo Egipto hasta la Revolución Industrial. El material para el curtido es la piel, compuesta por epidermis, dermis (rica en colágeno) e hipodermis, varía en estructura según la especie y zona anatómica, siendo el crupón la región más valiosa en alpacas y ovinos por su uniformidad fibrosa. Químicamente, contiene proteínas como colágeno (96% de la dermis), elastina y queratina, cuya transformación durante el curtido elimina componentes no esenciales (agua, grasas) y preserva las fibras estructurales. Por otro lado, la microbiología de las pieles frescas revela su vulnerabilidad a bacterias proteolíticas (*E. coli*), exigiendo métodos de conservación como secado controlado o salazón para inhibir la putrefacción. Se detallan anomalías comunes (cicatrices, abscesos) que afectan la calidad del cuero, vinculadas a manejo inadecuado o factores ambientales. Finalmente, la industria peletera moderna combina técnicas tradicionales con procesos estandarizados para transformar pieles en productos de alto valor, priorizando la calidad del pelaje en artículos de lujo.

PALABRAS CLAVE: curtido, camélidos, colágeno, microbiología, peletería.

⁹ Derivado del proyecto de investigación: Piquelado en el curtido de pieles de alpaca y ovino bebé para la industria peletera

¹⁰ Docente investigadora, UNSAAC- Perú, antonieta.mojo@unsaac.edu.pe

¹¹ Docente investigador, UNAJMA-Perú, ycarhuarupay@unajma.edu.pe

CHAPTER I: GENERALITIES ON ANIMAL SKINS FOR TANNING

ABSTRACT

This chapter introduces the fundamentals of hide tanning, highlighting the importance of South American camelids (alpaca, llama, vicuña, and guanaco) as raw materials with unique characteristics. Historically, tanning evolved from ancient methods using vegetable fats and tannins to modern techniques such as chrome tanning, marking milestones from ancient Egypt to the Industrial Revolution. The hide, composed of the epidermis, dermis (rich in collagen), and hypodermis, varies in structure depending on the species and anatomical area, with the forelock being the most valuable region in alpacas and sheep due to its fibrous uniformity. Chemically, it contains proteins such as collagen (96% of the dermis), elastin, and keratin, whose transformation during tanning eliminates non-essential components (water and fats) and preserves the structural fibers. The microbiology of fresh hides reveals their vulnerability to proteolytic bacteria (*E. coli*), requiring preservation methods such as controlled drying or salting to inhibit putrefaction. Common anomalies (scars, abscesses) that affect leather quality, linked to improper handling or environmental factors, are detailed. Finally, the modern fur industry combines traditional techniques with standardized processes to transform hides into high-value products, prioritizing fur quality in luxury goods.

Key words: tanning, camelids, collagen, microbiology, fur.

1. PIELES DE ANIMALES PARA CURTIDO

1.1. Pieles de animales altoandinos para curtido

Los camélidos son una familia única en el mundo compuesta actualmente por seis increíbles especies, de las cuales cuatro habitan en los diversos paisajes sudamericanos: el guanaco, la vicuña, la llama y la alpaca. Sus diferencias y similitudes son sorprendentes, pero también sus orígenes, ya que el guanaco y la vicuña son las dos especies silvestres de camélidos que dieron origen a la llama y la alpaca, gracias a la domesticación que realizaron pobladores andinos hace más de seis mil años atrás (Chamorro, 2023).

Las llamas se utilizan principalmente como animales de carga y como fuente de carne, mientras que las alpacas proporcionan principalmente lana que se utiliza en la producción textil. también se utilizan otros productos como la piel para la producción de cuero y el estiércol como material de construcción o calefacción. la vicuña y el guanaco fueron cazados en tiempos (pre) históricos y se utilizaron para el suministro de proteínas y lana.

La producción ovina en las zonas rurales del Perú se caracteriza por ser un sistema extensivo y de subsistencia, con escaso desarrollo tecnológico y un manejo tradicional. Esta actividad económica complementa a la agricultura, constituyendo un pilar fundamental para la economía familiar campesina. El ganado ovino criollo, resultado del proceso de adaptación de razas introducidas por los españoles durante la colonia, se ha consolidado como la variedad predominante en las zonas altoandinas (Mamani-Cato et al., 2022).

Estos animales destacan por su notable resistencia a las condiciones extremas de la sierra peruana: altitud elevada, clima riguroso y terrenos accidentados. La capacidad de adaptación demostrada por esta raza criolla superó con creces las expectativas iniciales, transformándose en un recurso genético valioso que se ha integrado perfectamente al ecosistema andino. Su rusticidad y versatilidad lo convierten en el animal ideal para los sistemas de producción campesina, donde se aprovecha tanto su carne como su lana, contribuyendo así a la seguridad alimentaria y economía de las familias rurales (Mamani-Cato et al., 2022).

La piel de oveja es relativamente pequeña, con un grosor de 0,8 mm, y se utiliza comúnmente para prendas de vestir como chaqueta, abrigo, falda y pantalones (Griyanitasari et al., 2020).

1.2. Historia y evolución del curtido

Como lo menciona Barbe., (2013) el curtido de pieles es uno de los oficios más antiguos de la humanidad, cuyos orígenes se remontan a la edad de piedra, alrededor del 8000 a.C., cuando los primeros grupos humanos comenzaron a preservar pieles mediante el uso de grasas animales y con el paso del tiempo, surgieron tres métodos principales que aún se utilizan: el curtido con grasa, el curtido vegetal y el curtido mineral. Hacia el 3000 a.C., en Egipto y Mesopotamia, se desarrolló el curtido vegetal utilizando extractos ricos en taninos, como los provenientes de la corteza de Acacia nilótica, este método, aunque lento, permitió obtener cueros más duraderos y resistentes. Los egipcios también aplicaron técnicas de curtido con alumbre y aceites, como el de sésamo; más adelante, los romanos perfeccionaron el curtido mineral, especialmente con alumbre, para producir distintos tipos de cuero, desde los más rígidos hasta los más flexibles (Barbe, 2013).

La Revolución Industrial marcó un punto de inflexión en esta actividad, al introducir avances tecnológicos y químicos que permitieron optimizar el proceso, es así que en la década de 1850 se desarrolló el curtido al cromo, que desplazó al vegetal por su mayor eficiencia, menor tiempo de procesamiento y capacidad de producción a gran escala; en ese mismo periodo también surgió el charol, caracterizado por su acabado brillante (Pat@MontanaLeatherCompany, 2023). Tras la Segunda Guerra Mundial, se introdujo el cuero sintético como una alternativa económica y ética, mientras que el curtido vegetal se modernizó para cumplir con estándares más higiénicos y sostenibles.

En la actualidad, el curtido al cromo sigue siendo el método dominante, aunque la industria continúa innovando hacia prácticas más sostenibles y eficientes, incorporando mejoras como mayor elasticidad del cuero y tecnologías para reducir el impacto ambiental (Pat@MontanaLeatherCompany, 2023).

1.3. La piel

La piel es el tegumento que recubre y protege el cuerpo de los animales, actuando como barrera frente al medio ambiente y reflejando importantes características fisiológicas como la edad, el sexo, la dieta, las condiciones ambientales y el estado de salud.

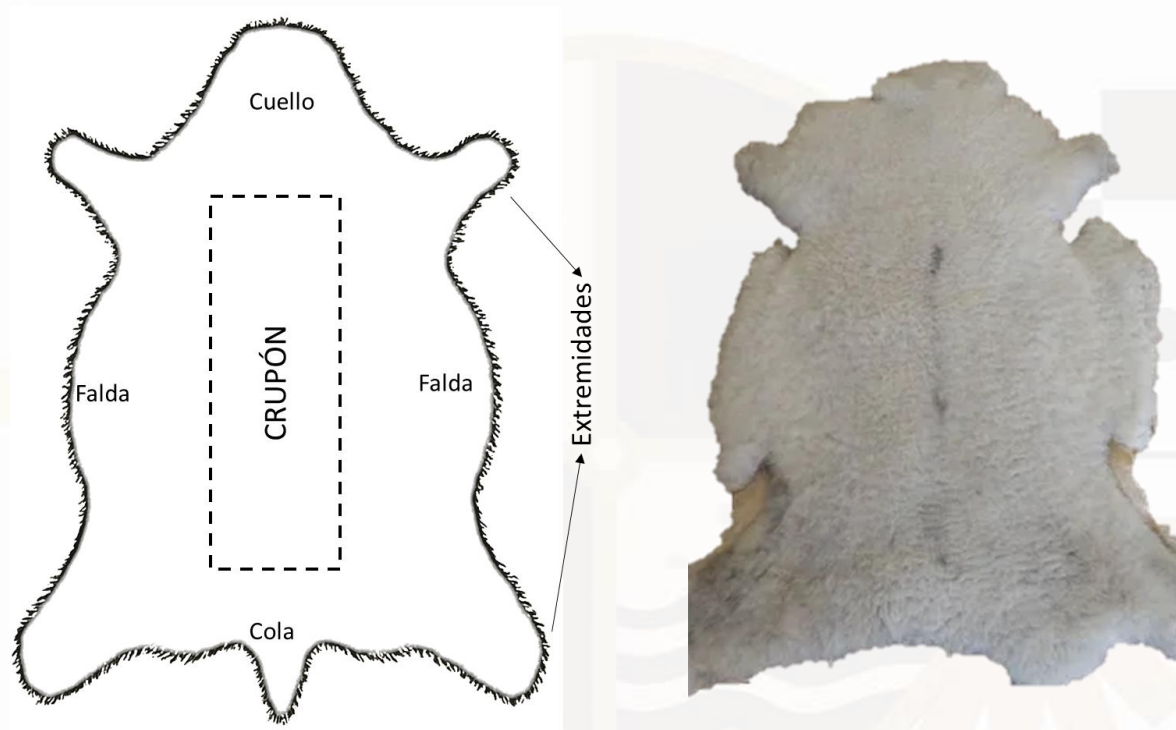
Su estructura es compleja desde el punto de vista histológico, fisiológico y químico, y está compuesta por varias capas superpuestas, generalmente cubiertas de pelos o lana.

Además de su función protectora contra el calor, el frío, la humedad y agentes externos, también regula la temperatura corporal, elimina sustancias de desecho, almacena grasas, alberga órganos sensoriales que permiten la percepción térmica y táctil, y previene la entrada de bacterias al organismo (Adzet et al., 1985, Cajahuanca, 2020).

1.3.1. Partes y características de la piel de alpaca y ovino

Según Trejo, (1993) las distintas partes de una piel presentan variaciones significativas en su constitución, siendo la zona más valiosa el crupón (Figura 1 y 2), que se extiende desde la base de la cola hasta el inicio del cuello y lateralmente hasta la mitad del vientre.

Figura 1. Partes de la piel de ovino

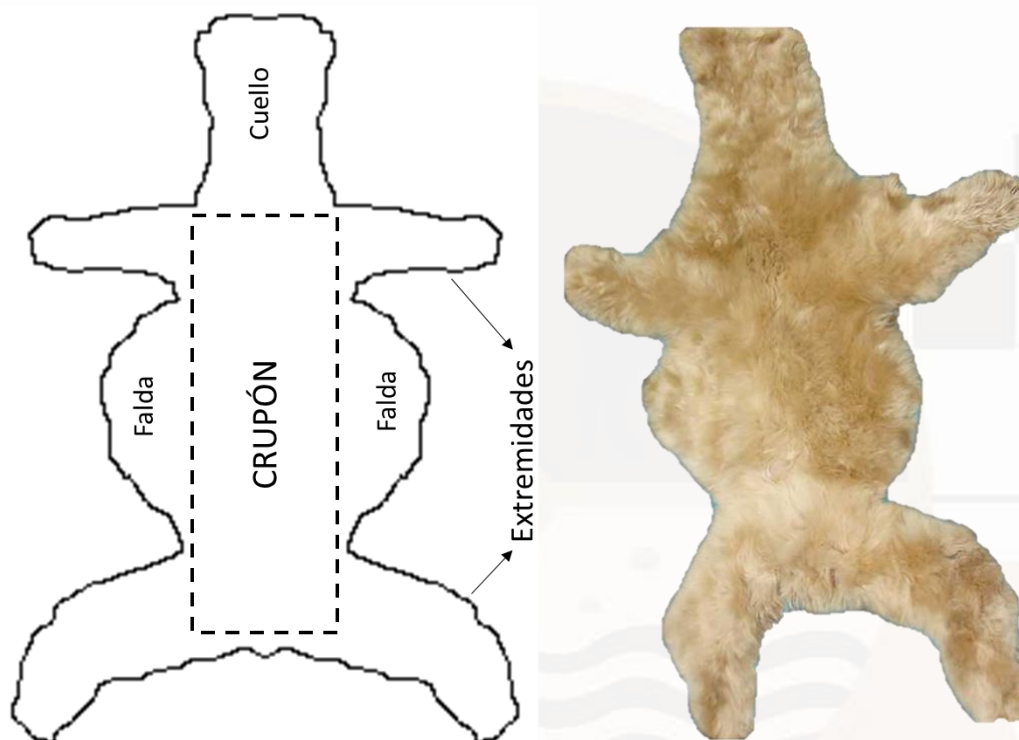


Esta región se caracteriza por la uniformidad en el diámetro y la longitud de sus fibras, lo que la hace representativa tanto por la calidad de su piel como por su fibra. El cuello se distingue por presentar una estructura de fibras cortas con uniformidad en finura y alta densidad, aunque con un mayor grosor dérmico comparado con otras regiones. Por su parte, las extremidades exhiben una cobertura de fibras cortas de mayor diámetro. La región de la

falda muestra fibras de longitud intermedia, acompañadas de una epidermis notablemente más delgada que en las demás áreas corporales. En la zona del pecho, las fibras son largas, rígidas y con poca cohesión entre sí, lo que contribuye a una estructura diferenciada dentro de la piel.

Huaman & Bustinza, (1998) describen las características de la piel de alpaca: presenta alto contenido proteico, una disposición de fibras distinta a la de otras especies animales, de tal manera que al ser procesado a cuero muestra una elevada resistencia a la tracción y aceptable elongación que lo convierte en una interesante alternativa para la industria del cuero, y posee poro fino y presenta flor lisa que lo asemeja al apreciado cuero de becerro

Figura 2. Partes de la piel de alpaca



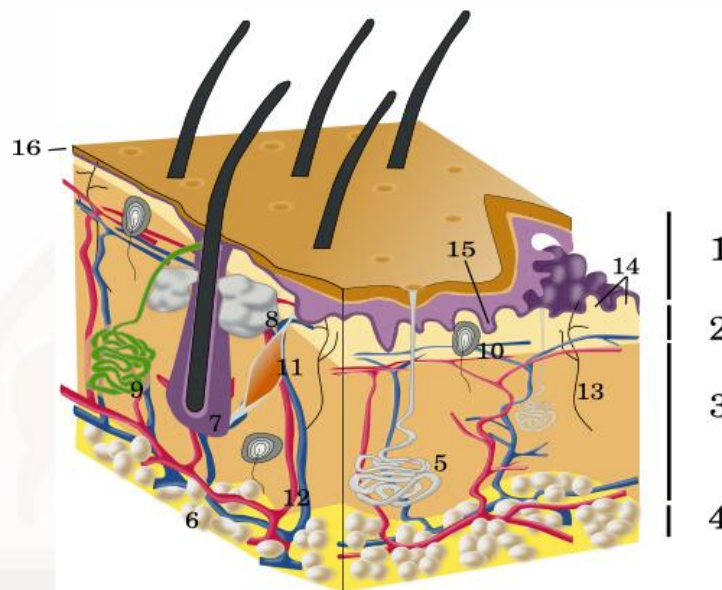
Nota: extraído de Trejo, (1993)

1.3.2. Anatomía de la piel: epidermis, dermis e hipodermis

Desde el punto de vista histológico la piel está constituida por tres capas: una superficial denominada epidermis; la capa media llamada dermis o corión y el extremo denominada hipodermis (Cajahuanca, 2020), como se muestra en la Figura 3.

La epidermis es la capa más externa de la piel, compuesta por células epiteliales autorreproductoras y sin vasos sanguíneos propios, por lo que se nutre a partir de la dermis subyacente. Además de formar la epidermis, estas células también constituyen las glándulas pilosas, sudoríparas y sebáceas. Su principal componente es la queratina, y su grosor varía según la especie, el sexo, la presión que recibe y la cantidad de pelo o lana presente, siendo más delgada en zonas con mayor cobertura de fibra. Se divide en dos capas: el estrato córneo, seco y expuesto al exterior, y el estrato germinativo, más blando y húmedo, donde se encuentran los pigmentos responsables de la coloración de la piel.

Figura 3. Esquema de los principales componentes del tegumento



Nota: extraído de Megías et al., (2023). Donde: 1: epidermis, 2: dermis papilar, 3: dermis reticular, 4: hipodermis, 5: glándula sudorípara ecrina, 6: células adiposas, 7: folículo piloso, 8: glándula sebácea, 9: glándula sudorípara apocrina, 10: corpúsculo de Pacini, 11: músculo erector, 12: vasos sanguíneos, 13: terminal nerviosa sensorial, 14: papilas dérmicas, 15: crestas epidérmicas, 16: epidermis delgada

La dermis es la capa más relevante para la curtiduría, compuesta por tejido conjuntivo con abundantes vasos sanguíneos y terminaciones nerviosas. Es flexible, fibrosa y resistente, proporcionando elasticidad a la piel. Se compone principalmente de colágeno, junto con fibras elásticas y reticulares, siendo el colágeno el elemento esencial en la formación del cuero. Su red de fibras otorga al cuero propiedades industriales, mientras que su disposición define su textura y estética. En la parte superior se encuentran glándulas, músculos y folículos

pilosos, formando la "capa termostato", que regula la temperatura. En la parte inferior, la "capa reticular" posee fibras dispuestas en forma de red. La "membrana del grano" o "flor" es la zona de contacto inmediato con la epidermis.

Por último, la **hipodermis**, aunque no forma parte estructural de la piel, está compuesta por tejido conjuntivo laxo que la une a las capas internas del organismo. Contiene fibras de colágeno y elastina en una estructura suelta con depósitos de grasa, conocida como "carne" en la curtiduría. Dado que no tiene importancia en la fabricación del cuero, debe eliminarse durante el procesamiento mediante métodos físicos o químicos.

1.3.3. Composición química y física de la piel

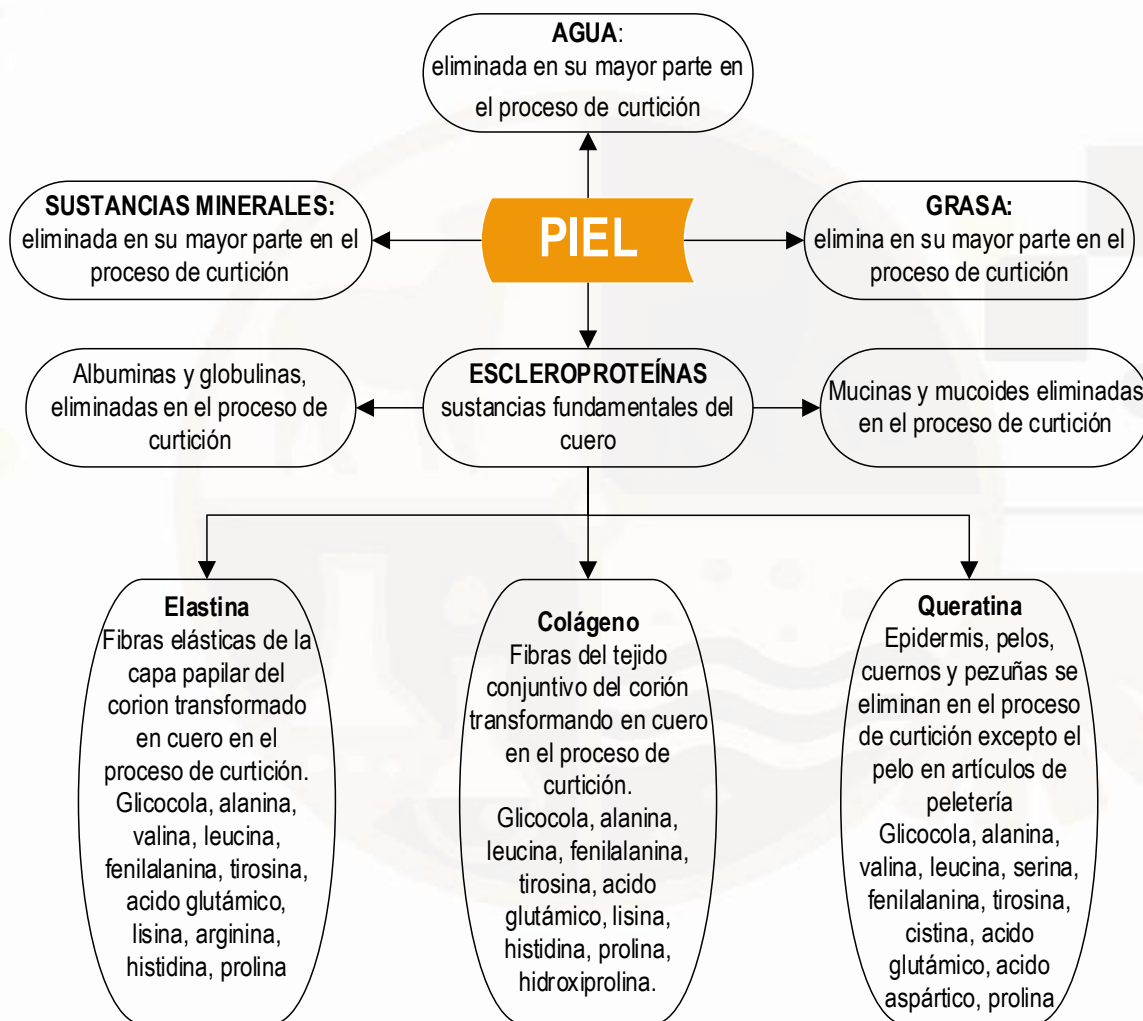
De acuerdo a Cajahuanca, (2020) la piel animal es una emulsión viscosa compuesta por sustancias albuminoideas, las cuales, al exponerse al agua caliente, adquieren una textura gelatinosa. Su composición química incluye aproximadamente 50% de carbono, 25% de oxígeno, 7% de hidrógeno y 17.8% de nitrógeno, además de trazas de sales, minerales, proteínas y grasas. En su estado natural, contiene cerca del 50% de agua, mientras que, tras el proceso de curtido o secado, este porcentaje se reduce al 14%. La cantidad de grasa varía según la especie y las condiciones del animal; por ejemplo, en la oveja merina puede alcanzar el 20% del peso de la piel, mientras que en bovinos se reduce al 0.75%. Entre los minerales presentes destacan aluminio, sodio, fósforo, azufre, magnesio y hierro. En cuanto a las proteínas, la queratina se encuentra en la epidermis y sus derivados (pelo, lana, fibra), mientras que el colágeno compone la mayor parte de la dermis, aportando resistencia y flexibilidad. También se hallan elastina, que confiere elasticidad, y mucinas, formadas por glucoproteínas, albuminas y globulinas. El colágeno representa cerca del 96% de la materia seca de la dermis. En estado seco, la piel adquiere un color córneo opaco y una estructura transparente. Sus fibras de colágeno presentan una temperatura de encogimiento, lo que significa que, al calentarse en agua entre 60°C y 65°C, se contraen bruscamente hasta perder dos tercios de su longitud original, volviéndose más elásticas y similares al caucho. El comportamiento químico de la piel en soluciones electrolíticas es clave para su industrialización. El colágeno reacciona con ácidos y álcalis, formando compuestos específicos, como el "cloruro de colágeno" en medios ácidos o el "colágeno de calcio" en medios alcalinos. Existe un punto isoeléctrico en pH 4.8, donde la piel pasa de una reacción

ácida a alcalina, lo que influye en su hinchamiento, tamaño y textura. El equilibrio entre sales y ácidos durante el curtido es fundamental para controlar este fenómeno, ya que, por encima de pH 10, la absorción de álcali incrementa el hinchamiento.

1.4. Transformación de la piel en proceso de curtición

Gómez Allca, (1997), concluyo que la piel está compuesta por diversos elementos que, en su mayoría, son eliminados o transformados durante el proceso de curtición. Entre sus principales componentes se encuentran el agua, la grasa y las sustancias minerales, que son removidas casi en su totalidad durante dicho proceso (Figura 4.).

Figura 4. Componentes de la piel y su transformación



Nota: descrito por Gómez Allca, (1997)

Dentro de su estructura, la piel contiene escleroproteínas, las cuales constituyen los elementos fundamentales para la formación del cuero. Entre ellas, el colágeno es la proteína más importante, ya que sus fibras del tejido conjuntivo del corion se transforman en cuero. Su composición incluye aminoácidos como glicocola, alanina, valina, leucina, fenilalanina, tirosina, ácido glutámico, lisina, histidina, prolina e hidroxiprolina. La elastina, presente en la capa papilar del corion, contribuye a la elasticidad de la piel y también se convierte en parte del cuero tras la curtición. Su composición química es similar a la del colágeno, incluyendo aminoácidos como glicocola, alanina, leucina, fenilalanina, tirosina, ácido glutámico, lisina, arginina, histidina y prolina. Por otro lado, la queratina, presente en la epidermis, pelos, cuernos y pezuñas, se elimina mayormente en el proceso de curtición, a excepción del pelo en artículos de peletería. Su estructura química está conformada por glicocola, alanina, valina, leucina, serina, fenilalanina, tirosina, cistina, ácido glutámico, ácido aspártico y prolina. Adicionalmente, existen otras proteínas, como las albuminas y globulinas, así como las mucinas y mucoides, que también son eliminadas durante el proceso de curtido, dado que no aportan a la formación del cuero.

En conjunto, estos elementos determinan las propiedades físicas y químicas de la piel, influyendo en su transformación y calidad como material curtido.

1.5. Características de la piel de animales para peletería

La piel de los animales domésticos está cubierta por apéndices especializados que, en los mamíferos, se presentan como pelos y, en las aves, como plumas. Algunos de estos animales poseen un pelaje abundante y de crecimiento continuo, lo que permite su explotación periódica, como ocurre con las ovejas en la producción de lana y con los conejos de raza Angora en la obtención de su pelo; en ciertos casos, la piel, junto con el pelo o las plumas, forma parte del producto consumible, como sucede con los cerdos y las aves. En otros animales, la piel es más resistente y, tras la eliminación del pelaje y un adecuado tratamiento de curtido, se convierte en cuero, como en el caso de los bovinos, ovinos y equinos; por otro lado, existen especies con un pelaje denso, vistoso y con excelentes propiedades aislantes, lo que las hace ideales para la confección de prendas de abrigo y ornamentos. Estos son los denominados animales de peletería, cuya piel se valora no solo por su resistencia, sino también por la calidad del pelaje adherido a ella (Cajahuanca, 2020).

1.6. Microbiología de las pieles

La putrefacción es un proceso de descomposición anaeróbica de las proteínas y compuestos nitrogenados orgánicos, generando amoníaco (NH_3) y compuestos aromáticos de olor desagradable (Gómez Allca, 1997). En el caso de las pieles, la degradación autolítica ocurre debido a la activación de enzimas degradativas inactivas en células vivas, las cuales, tras la muerte del animal, descomponen los componentes celulares si no se detiene su acción, lo que puede comprometer la calidad de la piel (Gómez Allca, 1997). Asimismo, la microbiología de la piel fresca está regulada por los mecanismos de defensa del organismo mientras está vivo; sin embargo, una vez que estos cesan tras la muerte, la piel queda expuesta a la acción de microorganismos. Bacterias como *Proteus sporogenes* y *Escherichia coli* degradan las proteínas de la piel, favoreciendo la proliferación de otras bacterias y hongos, especialmente en su pH neutro (6.0 - 7.5). Si no se aplican medidas de conservación adecuadas, la proliferación de microorganismos proteolíticos deteriorará la piel, afectando la calidad del cuero resultante (Gómez Allca, 1997).

1.7. Anomalías frecuentes de pieles

En la tabla 1 se presenta una clasificación de diversos tipos de alteraciones en la piel de los animales, junto con sus causas específicas.

Tabla 1. Alteraciones en la piel de los animales y sus causas

TIPO	CAUSA
Marcas	Consecuencias de calor o frío extremo (marcado con hierro candente y con nieve carbónica)
Arañazos	Arbustos espinosos, alambre de espino y otros
Cicatrices	Luchas (mordeduras)
Abscesos	Inyecciones
Marcas de cauterización	Cerramientos de otras heridas con aplicación de calor.
Cicatrices producidas por yugos y arreos	Diseño o medidas inadecuadas
Daños producidos por agujadas	Uso excesivo de varas afiladas o pesadas
Adomos	Cortes profundos en la superficie
Irritaciones producidas por excrementos	Suciedad y mugre general
Daños producidos por la vegetación	Penetración de semillas de malas hierbas en la superficie
Cicatrices producidas durante la esquila	Técnicas inadecuadas y/o premura excesiva

Nota: extraído de (FAO - COMITÉ DE PROBLEMAS DE PRODUCTOS BÁSICOS (ME/HS 2001), 2001)

Entre las principales afectaciones se incluyen marcas, cicatrices, abscesos, daños por herramientas de trabajo, irritaciones y heridas causadas por factores ambientales o prácticas inadecuadas. Se destacan las cicatrices producidas por mordeduras, marcas de cauterización, daños por el uso excesivo de varas afiladas, cortes profundos (adomos) y lesiones derivadas de la esquila inadecuada. Asimismo, se identifican factores externos como el contacto con arbustos espinosos, la penetración de semillas de malas hierbas y la acumulación de suciedad como desencadenantes de estas alteraciones. Estas afecciones pueden afectar la calidad del cuero y, en consecuencia, su valor comercial, por lo que es fundamental implementar buenas prácticas de manejo y cuidado animal.

1.8. Conservación de las pieles

La conservación de las pieles se basa en la inhibición del crecimiento microbiano, lo que puede lograrse mediante su procesamiento inmediato en la curtiembre o a través de la reducción de la humedad. Desde el momento del sacrificio del animal, la piel inicia un proceso de descomposición debido a la presencia de suciedad en su superficie y a la carga microbiana natural en su interior, la cual, mientras el animal está vivo, se mantiene bajo control metabólico. Una vez separadas de la carne, las pieles son altamente vulnerables a la putrefacción, así como al ataque de bacterias, hongos e insectos, especialmente en climas templados y cálidos. Factores como la tierra, la humedad y la contaminación ambiental aumentan el riesgo de infección. Para prevenir estos efectos degradativos, se emplean métodos de conservación que interrumpen la descomposición, principalmente mediante la deshidratación y el uso de sales. Entre los métodos más comunes se encuentran el secado al aire, la salazón y la aplicación de soluciones conservantes (Cajahuanca, 2020). De acuerdo a Perinat, (2009), el secado natural de pieles surge como solución práctica en regiones con acceso limitado a la sal o cuando el transporte a largas distancias lo exige. Este método, tan económico como efectivo, actúa deshidratando progresivamente el material hasta volverlo inhóspito para el desarrollo bacteriano. Su éxito depende de un delicado equilibrio: debe iniciarse inmediatamente tras el desuello y realizarse a la sombra con ventilación óptima, evitando tanto la exposición solar directa -que causa daños hidrotérmicos irreversibles- como las temperaturas superiores a 30°C que desnaturalizan las fibras de colágeno. La disposición en bastidores elevados resulta fundamental, permitiendo que el aire circule libremente por

ambas caras de la piel y previniendo el secado desigual que deforma el material. Paralelamente, se requiere una limpieza exhaustiva de residuos grasos y aplicación preventiva de biocidas, ya que moscas y hongos pueden comprometer irreversiblemente la calidad. Curiosamente, las pieles pequeñas suelen alcanzar mejores resultados al secarse más uniformemente gracias a su favorable relación superficie-peso (Perinat, 2009). Aunque aparentemente rudimentario, este proceso demanda precisión técnica: un secado demasiado acelerado produce deshidratación superficial prematura, mientras que condiciones ambientales inadecuadas reducen la resistencia mecánica final. Cuando se ejecuta con rigor -controlado humedad, temperatura y flujo de aire- se obtienen pieles estables que mantienen su potencial de transformación, demostrando que los métodos tradicionales bien aplicados pueden rivalizar en eficacia con técnicas industriales más complejas (Perinat, 2009).

1.9. Industria peletera

Desde los primeros tiempos se han utilizado medios rudimentarios para conservar las pieles, que todavía se practican en muchas partes del mundo. Normalmente, después de raspada la piel y limpiada por lavado, se impregna con aceite animal, que sirve para conservarla y hacerla más flexible. Después puede batirse o masticarse para conseguir una buena impregnación con el aceite. En la moderna industria peletera, las pieles se obtienen de granjeros, o cazadores. En esta fase, las pieles se han desenfundado del animal muerto, se han desollado, eliminando los depósitos de grasa por raspado, y se han estirado y secado al aire. La industria peletera clasifica las pieles según factores como el estado general, la longitud, el rizado y el dibujo del pelo. Todas ellas pasan por una serie de operaciones de tratamiento para conservarlas. También pueden teñirse. El tratamiento y la tintura se efectúan en lotes, y generalmente por piezas se trasladan de una operación a otra mediante carretillas manuales (Braid, 1998). Antes de confeccionarse en prendas de vestir, las pieles pueden cortarse y estirarse por corte y recosido. Esto implica realizar una serie de cortes en diagonal o en forma de V muy juntos, tras lo cual la piel se estira para alargarla o ensancharla según sea necesario. Seguidamente se recose, este tipo de operación requiere gran destreza y experiencia. Luego se humedece a fondo y se coloca y fija sobre una tabla según un patrón marcado con tiza, se deja secar y se cose. La aplicación del forro y otras operaciones de acabado completan la prenda (Braid, 1998).

CAPÍTULO II: CURTIDO DE PIELES¹²

Antonieta Mojo¹³, Amanda R. Maldonado¹⁴, Ybar G. Palomino Malpartida¹⁵

RESUMEN

Este capítulo describe el proceso integral de conversión de pieles animales en cuero terminado, comenzando con las etapas preparatorias. La fase inicial de remojo busca restaurar la hidratación natural de las pieles mientras elimina contaminantes, requiriendo un control estricto de parámetros como temperatura (óptima 15-20°C) y pH (entre 4.5-11) para prevenir deterioro microbiano. Posteriormente, el descarnado remueve tejidos subcutáneos y regula el espesor, seguido del desengrasado que elimina lípidos residuales para garantizar una absorción uniforme de los curtientes.

La etapa crítica del piquelado acondiciona la piel mediante un tratamiento ácido-salino (pH objetivo ~2.5, concentración salina >5. 5°βe), preparando su estructura fibrosa para la posterior fijación de agentes curtientes. Técnicas como el piquel acelerado o de equilibrio se seleccionan según el tipo de piel y producto final deseado. El curtido al cromo, predominante en la industria, utiliza sales de cromo trivalente para crear enlaces irreversibles con el colágeno, otorgando estabilidad térmica e hidrológica. Una neutralización cuidadosa (pH 5-5.3) prepara el material para etapas posteriores como tintura y engrase.

El engrase mejora la flexibilidad mediante la lubricación de fibras, mientras que el secado (en cámaras convencionales o sistemas especializados como Pasting/Secoterm) define características finales de textura y rendimiento. Los ensayos de resistencia a la tracción (medida en N/mm²) y alargamiento a la rotura (% de deformación máxima) validan la calidad mecánica del producto terminado, asegurando su idoneidad para diversas aplicaciones industriales.

PALABRAS CLAVE: propiedades mecánicas, piquelado, curtido al cromo, remojo.

¹² Derivado del proyecto de investigación: Piquelado en el curtido de pieles de alpaca y ovino bebé para la industria peletera

¹³ Docente investigadora, UNSAAC- Perú, antonieta.mojo@unsaac.edu.pe

¹⁴ Docente investigadora, UNSAAC- Perú, amanda.maldonado@unsaac.edu.pe

¹⁵ Docente investigador, UNSCH-Perú, ybar.palomino@unsch.edu.pe

CHAPTER II: TANNING OF LEATHERS

ABSTRACT

This chapter describes the comprehensive process of converting animal hides into finished leather, beginning with the preparatory stages. The initial soaking phase seeks to restore the hides' natural hydration while removing contaminants, requiring strict control of parameters such as temperature (optimal 15-20°C) and pH (between 4.5-11) to prevent microbial spoilage. Subsequently, fleshing removes subcutaneous tissue and regulates thickness, followed by degreasing, which eliminates residual lipids to ensure uniform absorption of tanning agents.

The critical pickling stage conditions the hide through an acid-saline treatment (target pH ~2.5, salt concentration $>5.5^\circ\beta e$), preparing its fibrous structure for the subsequent fixation of tanning agents. Techniques such as accelerated or equilibrium pickling are selected according to the hide type and desired final product. Chrome tanning, prevalent in the industry, uses trivalent chromium salts to create irreversible bonds with collagen, providing thermal and hydrological stability. Careful neutralization (pH 5-5.3) prepares the material for subsequent stages such as dyeing and fatliquoring.

Fatliquoring improves flexibility by lubricating the fibers, while drying (in conventional chambers or specialized systems such as Pasting/Secoterm) defines final texture and performance characteristics. Tensile strength (measured in N/mm²) and elongation at break (% maximum strain) tests validate the mechanical quality of the finished product, ensuring its suitability for various industrial applications.

Key words: mechanical properties, pickling, chrome tanning, soaking.

2. CURTIDO DE PIELES

2.1. El cuero

El cuero es un material versátil empleado en la fabricación de calzado, prendas de vestir, tapicería y componentes automotrices, entre otros usos. Sus aplicaciones demandan propiedades específicas, lo que influye directamente en los procesos de transformación. Desde la selección de la materia prima hasta el curtido, recurtido, teñido y acabado, cada etapa se adapta según el destino final del producto, definiendo sus características técnicas y estéticas (Perinat, 2009). Según Frankel. (1991), antes de obtener un cuero propiamente dicho, es necesario llevar a cabo diversas etapas que aseguren su adecuada transformación. De acuerdo a Perinat, (2009) la curtición es el proceso irreversible que transforma la piel percedera en un material durable y confeccionable, estabilizando su estructura contra la putrefacción. En la industria actual, se distingue entre:

- Piel sin pelo (tradicionalmente llamada "cuero"), y
- Peletería (piel con pelo o lana), siendo este último término el preferido para productos de alta gama.

Los objetivos fundamentales de la curtición incluyen:

- Estabilizar las fibras contra enzimas y agentes químicos
- Mejorar la resistencia térmica e hídrica
- Reducir la hinchazón y deformación
- Aumentar la flexibilidad y porosidad
- Optimizar las propiedades mecánicas

Estos logros se obtienen mediante el entrecruzamiento molecular de las cadenas de colágeno con agentes curtientes, proceso que ha evolucionado técnicamente para producir materiales tan refinados como los textiles más exclusivos, redefiniendo el concepto de "moda en piel frente al tradicional "cuero.

2.2. Transformación de la piel de animales en cuero

Trabajo de ribera: Su finalidad es preparar la piel para el curtido, ya que solo la dermis se convierte en cuero, para ello, es fundamental eliminar la epidermis, y el tejido subcutáneo. La fase inicial, conocida como trabajo de ribera —denominada así por el uso intensivo de

agua que tradicionalmente requería ubicarse cerca de ríos—, incluye operaciones clave como remojo, deslanado, descarnado y piquelado. Estos procesos preparan la estructura fibrosa de la piel, eliminando impurezas y componentes no deseables para obtener un cuero apto para su posterior transformación. La combinación de tratamientos mecánicos y químicos en esta etapa es fundamental para garantizar la calidad y funcionalidad del material en sus diversas aplicaciones industriales (Perinat, 2009).

Curtido: En esta fase, las pieles y cueros se someten a tratamientos que le confieren mayor resistencia a la descomposición causada por la humedad, al tiempo que los hacen más flexibles cuando están secos; además, para obtener un producto final de calidad, el curtido se complementa con procesos como el teñido, engrase y recurtición.

Zurrado: Consiste en una serie de operaciones mecánicas que se llevan a cabo con herramientas o maquinaria específica, dependiendo del tipo de cuero que se desee obtener; entre estas operaciones se incluyen el satinado y el ablandado, entre otras.

Este conjunto de procesos es esencial para garantizar la obtención de un cuero con las propiedades físicas y estéticas adecuadas para su uso en diversas aplicaciones.

2.2.1. Remojo

El remojo es la primera etapa del proceso de fabricación del cuero, y consiste en sumergir las pieles en agua dentro de una tina, moliente o bombo (Adzet et al., 1985); su principal objetivo es eliminar las impurezas adheridas a la superficie (como tierra, sangre, linfa o excrementos) y restaurar la hidratación original que tenían las pieles cuando estaban frescas. En el caso de pieles saladas, además de remover las impurezas, es necesario eliminar gran parte de la sal absorbida y restituir la humedad natural de la piel; las pieles frescas, por su parte, no requieren un remojo tan intensivo, sino un lavado profundo que permita su limpieza sin alterar significativamente su estructura, en cambio, el tratamiento de pieles secas es más complejo, ya que el proceso de secado provoca la unión de las fibras dérmicas, dificultando la posterior penetración del agua de remojo. Durante esta etapa también se eliminan ciertas proteínas solubles, como la albúmina de la sangre, las cuales se dispersan con soluciones moderadas de sal y son arrastradas por el agua de lavado (Frankel, 1991). La eliminación de estas proteínas es fundamental, ya que, de no hacerlo, podrían interferir negativamente en el proceso de curtido, generando complicaciones técnicas.

Factores que influyen en el remojo

La eficacia del remojo está condicionada por varios factores operativos que afectan directamente la calidad del proceso:

- **Acción mecánica:** El movimiento generado durante el remojo facilita la rehidratación de las pieles, favoreciendo la separación de las fibras dérmicas internas. Además, esta acción contribuye a mantener la temperatura constante del baño, lo que mejora el rendimiento del proceso (Melgar O, 2000).
- **Temperatura del agua:** La temperatura influye en la disolución de proteínas solubles y sales presentes en la piel. A 10 °C el desarrollo bacteriano es muy limitado, con un período latente de hasta 36 horas. Sin embargo, al superar los 20 °C, dicho período desaparece y el crecimiento bacteriano se vuelve óptimo. Por ello, se recomienda mantener la temperatura del remojo entre 15 °C y 20 °C, a fin de lograr una rehidratación eficiente sin fomentar el crecimiento microbiano (Adzet et al., 1985).
- **pH del baño:** Aunque el rango aceptable de pH es amplio, entre 4.5 y 11.0, es preferible trabajar en condiciones ligeramente alcalinas, sin superar un pH de 11, para evitar daños en la estructura dérmica (Melgar O, 2000).
- **Calidad del agua:** La dureza del agua no representa un problema directo, pero grandes variaciones pueden indicar contaminación por aguas superficiales con alto contenido microbiano. Se sugiere utilizar agua semidura para mantener la estabilidad del proceso. La relación agua/piel varía según el tipo de conservación: de 3 a 4 partes de agua por cada parte de piel fresca o salada, y de 6 a 8 partes en el caso de pieles secas (Melgar O, 2000).
- **Tiempo de remojo:** La duración del proceso y, en particular, el tiempo de contacto de cada baño con las pieles, son factores determinantes. Para evitar el desarrollo bacteriano excesivo, se debe optar por el recambio oportuno del baño o por la incorporación de productos antisépticos (Melgar O, 2000).

Sistemas de remojo

El tratamiento varía según el tipo de piel. Las pieles secas requieren un pre-remojo seguido del remojo principal, mientras que las pieles saladas pueden pasar directamente a este último tras un lavado preliminar. Existen diferentes equipos según las necesidades del

proceso. Las tinajas de remojo se usan principalmente en el pre-remojo de pieles secas y no aplican acción mecánica. Los molinetes se emplean cuando se requieren baños prolongados, como en el caso de pieles lanosas o para peletería, con una acción mecánica reducida. Por su parte, los bombos clásicos son los más adecuados para el remojo de pieles vacunas, ya que, aunque operan a baja velocidad, su efecto mecánico es significativamente superior al de los molinetes (Adzet et al., 1985)

Hinchamiento

El hinchamiento es un fenómeno que acompaña las transformaciones químicas de la estructura colagénica durante el proceso. Este ocurre cuando los grupos básicos de la proteína se descargan, formando colagenatos disociados. Como resultado, se generan cargas negativas que provocan la repulsión entre zonas con igual signo eléctrico, lo cual rompe parcialmente las cadenas polipeptídicas, acorta las fibras y aumenta el espesor de la estructura fibrosa. El estado final, denominado turgencia, se produce cuando la estructura tridimensional ya no puede ceder más al acortamiento de las fibras, volviéndose la piel rígida y dura (Angelinetti y Lacour, 1983).

2.2.2. Descarnado

El objetivo del descarnado es eliminar el tejido subcutáneo y graso para facilitar la penetración uniforme de los productos químicos en etapas posteriores, además de regularizar el espesor de la piel. En el caso de pieles destinadas a cueros al cromo para empeine, no se recomienda un descarnado excesivo en la zona de los flancos (Frankel, 1991). Esta operación puede realizarse manualmente con cuchillas, lo cual ofrece buenos resultados, pero requiere personal capacitado y es un proceso lento. Por ello, en la práctica se emplean máquinas descarnadoras, donde la piel se coloca con la flor hacia un cilindro de apoyo, mientras cuchillas afiladas montadas en espiral sobre otro cilindro cortan el tejido sobrante (Adzet et al., 1985)

2.2.3. Desengrasado

El desengrase se realiza sobre pieles húmedas mediante tres técnicas principales: prensado, emulsión con agentes tensoactivos o extracción con disolventes orgánicos en emulsión acuosa. Esta operación es esencial, ya que un exceso de grasa residual puede afectar

la absorción de curtientes, provocar eflorescencias, tintes irregulares y acabados defectuosos. La eficiencia del proceso depende de la temperatura, el tipo de disolvente y el grado de agitación aplicado (Melgar O, 2000).

2.2.4. Piquelado y su importancia en el curtido

El piquelado es una etapa fundamental en el proceso de curtido, cuyo propósito principal es acondicionar las pieles mediante un tratamiento ácido en soluciones salinas. Este procedimiento interrumpe la acción de las enzimas sobre el colágeno y prepara la estructura dérmica para recibir los curtientes, particularmente las sales de cromo, evitando su fijación inmediata y permitiendo una penetración uniforme a través del espesor de la piel. Además, el piquelado cumple una función de conservación, especialmente en pieles de cordero, que pueden almacenarse hasta por un año sin deterioro significativo. Una modalidad comúnmente empleada es el piquel en paleta, especialmente cuando se trabaja con pieles con pelo, ya que ofrece una acción mecánica menos agresiva. Sin embargo, este método conlleva un mayor consumo de sal, agua y ácido. El proceso implica el uso de soluciones ácidas que, en muchos casos, generan hinchamiento de la piel al provocar la hidratación de las fibrillas dérmicas. Ácidos como el sulfúrico y el clorhídrico presentan un alto poder hinchante, seguidos por algunos ácidos orgánicos fuertes, mientras que otros apenas provocan este efecto. Como es necesario reducir el pH de la piel antes del curtido, el uso de estos ácidos puede resultar problemático. Para contrarrestar el hinchamiento no deseado, se incorporan sales inertes, como el cloruro de sodio o el sulfato de sodio, que deshidratan la piel y equilibran el efecto del ácido. En síntesis, el piquelado debe realizarse en un medio ácido con adición de sal, para alcanzar el pH adecuado sin causar un hinchamiento excesivo (Melgar O, 2000).

El control del piquelado es esencial para evitar daños en la piel y defectos en el cuero terminado. El primer control corresponde a la concentración de sal, que debe verificarse a los 15 minutos de iniciado el proceso, midiendo la densidad del baño con un densímetro de grados Baumé; esta debe superar los 5.5 °Be antes de añadir el ácido. El segundo control se refiere al pH del baño y a la penetración del ácido en la piel, lo cual se evalúa a la primera o segunda hora de rodado, permitiendo realizar ajustes necesarios. Para asegurar una buena penetración de las sales de cromo, el pH del cuero al final del piquel debe estar en torno a 2.5. Un piquel mal ejecutado puede generar diversos defectos en el cuero. Un baño

excesivamente ácido, si no es detectado a tiempo, puede originar un cuero mal curtido, con encogimiento elevado durante la prueba de ebullición. También puede provocar putrefacción ácida si quedan residuos que dañan las fibras y reducen la resistencia del cuero. Por el contrario, un baño poco ácido ralentiza el proceso de curtido, genera una fijación superficial de los curtientes y deja una flor débil. Asimismo, una concentración inadecuada de sal provoca hinchamiento excesivo y fijación irregular del cromo, dificultando su penetración y comprometiendo la calidad del producto final (Melgar O, 2000).

Métodos de piquelado

- **Piquel de corta duración o acelerado**

Este tipo de piquel puede llevarse a cabo en paleta o tambor y consiste en que, una vez iniciado el piquel, o sea una vez añadidos la sal común y el ácido, y después de que la solución ácida a penetrado un poco en la piel, se comienza la adición de los curtientes. En este caso es necesario un riguroso control del piquel en relación al tiempo de adición de los productos y a una selección de las pieles en cuanto a su grosor, ya que cualquier error originaría que los cueros no se curtan en la parte central (Melgar O, 2000).

En los sistemas de piquelado con sal (8-10 °βe) o con bajo contenido de sal (6 °βe), se utiliza una longitud de baño del 50-150% y el agente curtiente de cromo se añade después de un tiempo de piquelado de 1 a 12 horas. Sin embargo, cuando se utilizan escamas de Picaltal, el procesamiento se puede realizar con un 20-50% de baño y el agente curtiente de cromo se puede añadir después de sólo 5-10 minutos sin riesgo de problemas de precipitación o difusión (Kizilkaya, 1993).

- **Piquel a equilibrio**

El piquel a equilibrio a diferencia del anterior, consiste en que los curtientes no son añadidos hasta que la solución ácida no haya atravesado totalmente la piel. Dicho piquel es más fácil de controlar que el anterior, ya que no requiere mucha experiencia y habilidad como en el caso anterior (Melgar O, 2000).

- **Piquel de conservación**

Cuando el objetivo del piquel es la conservación, conviene añadir exceso de ácido y un poco más de sal, para lograr una deshidratación más fuerte. Cuando se procesan pieles

divididas es más o menos rápido el atravesarlos con la solución ácida, pero cuando el cuero esta sin dividir es más tardado, pero más seguro que el piquel acelerado. Puede efectuarse en tambor o paleta generalmente en pieles de cordero. Las pieles conservadas por este método deben des-piquelarse parcialmente antes de empezarlás a curtir, esto se lleva a cabo con un tratamiento de una solución de sal y con álcalis débiles, tales como el bicarbonato y acetato sódico (Melgar O, 2000).

Factores que afectan al piquel

La velocidad con que la sal penetra en la piel es bastante rápida, alcanzando, por ejemplo, una penetración de 80- 90 % a través del espesor de la piel en una hora y si la atraviesa en un total de 3-4 horas, se debe a que la sal no se combina con la piel, como es el efecto del ácido y el no dejar hinchar la misma sólo depende de su concentración en el baño (Melgar O, 2000). Debido al daño que pueden causar a la piel y al cuerpo terminado, los ácidos fuertes como el ácido sulfúrico, y el ácido clorhídrico, es importante un control exacto y sistemático de este proceso.

- **Concentración de sal**

Tener bajo control la concentración de sal es muy importante y para hacer un buen cálculo, se deben tomar en cuenta el contenido de humedad de la piel y de la sal.

El control debe hacerse a los 10 o 15 minutos de haber añadido la sal, el agua y las pieles al tambor e iniciado el rodado del mismo. El control consiste en medir la densidad del baño con un densímetro de grados Baumé. La densidad debe ser mayor de 5.5°Be; si el baño no la tiene, es necesario añadir más sal, rodar 15 minutos y volver a medir la densidad. Se debe estar seguro de que la densidad sea la indicada antes de añadir el ácido (Melgar O, 2000).

- **Cantidad de ácido**

El ácido se combina con la piel y entre más ácidos se le ofrece a la misma, más se combinará hasta llegar al punto en que la piel ya no puede combinarse con más ácido y este punto se logra añadiendo 1.2 % de ácido sulfúrico y todo exceso de ácido que se agregue quedará en el baño y la piel sin combinarse. El ácido más utilizado para el piquel es el sulfúrico, pero es conveniente utilizar ácidos débiles en combinación con los anteriores (0.3 - 0.8 %), ya que estas sustancias y los ácidos débiles harán que las primeras etapas de

curtición sean suaves y se obtendrá una mejor distribución del cromo en la piel. También formarán soluciones tampones, o sea soluciones que mantienen un pH constante (Melgar O, 2000). En la tabla 2 se muestran los ácidos usados en el piquelado de pieles.

Tabla 2. Productos ácidos usados para el piquelado

Producto	Densidad (g/cm ³)	pH (1:10)	Observaciones
Ácido fórmico 85-100%	1,195	1,65	ácido orgánico fuerte; enmascaramiento.
Bascal S	-	2,3	enmascaramiento; mejora el agotamiento del cromo, muy adecuado para el piquelado de pieles de peletería.
Decaltal N	-	3	enmascaramiento; generalmente se aplica en combinación con ácidos de piquelado fuerte; mejora la finura de flor.
Ácido acético 6 °βe	1,043	2,15	ácido orgánico débil.
Ácido láctico 80%	1,197	1,7	ácido orgánico débil.
Ácido oxálico cristalizado	-	0,75	ácido orgánico fuerte.
Picaltal en escamas	-	0,50	mezcla de ácidos sulfónicos aromáticos; enmascaramiento; relleno.
Ácido clorhídrico 37%	1,188	0,20	ácido inorgánico fuerte; sin efecto de relleno.
Ácido sulfúrico 96%	1,835	0,15	ácido inorgánico fuerte.

Nota: extraído de (Perinat, 2009)

El control consiste en medir el pH del baño y ver la penetración del ácido en el corte de la piel al cabo de la primera o segunda hora de rodado. Si es necesario se hacen las correcciones necesarias inmediatamente, para que al final del piquel nos encontremos con las condiciones adecuadas para curtir.

- **Velocidad de piquelado**

La velocidad del piquelado puede aumentar con el aumento de la temperatura, pero es poco recomendable debido a que, con el aumento de la misma, la piel se empezará a solubilizar; por ejemplo, a 40 °C, se solubiliza aproximadamente el 10 % de la piel en 24 horas (Melgar O, 2000).

Defectos que puede ocasionar un mal piquel en el cuero terminado

Cuando el baño de piquel es demasiado ácido y no se nota esta irregularidad, puede causar los siguientes defectos. Cuero muy mal curtido: Presentará un alto encogimiento al someterlo a la prueba de agua hirviendo. Putrefacción ácida: Cuando quedan residuos de ácidos en el cuero, estos "quemán" las fibras y la piel empieza a perder su resistencia. Cuando el baño de piquel es poco ácido: Habrá una alta fijación de curtientes en la flor, las pieles

tardarán más tiempo para curtirse y el cuero puede quedar con la flor muy frágil. Cuando la sal no tiene la concentración adecuada: El cuero se hinchará y llevará mucho tiempo terminar el piquelado, el cromo se fijará muy irregularmente, aparte de que dará problemas para lograr la penetración de los curtientes.

2.2.5. Curtido y acabado del cuero

El objetivo del curtido es evitar que las proteínas de la estructura fibrosa de la piel se pudran, lo que se lleva a cabo mediante 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. Dicha estabilidad de la proteína se debe a la formación de enlaces transversales en los que participa el curtiente dando lugar a una reticulación de la estructura que tiene lugar no solo con cadenas polipeptídicas de una macromolécula de colágeno, sino también entre cadenas de macromoléculas distintas (Angelinetti & Lacour, 1983).

Curtido al cromo

Entre las sales minerales empleadas (Sales de cromo, hierro, aluminio, zirconio); las de cromo son las más importantes. Este proceso está basado en la reacción entre la piel y una sal de cromo trivalente, usualmente sulfato básico de cromo. En el proceso, cuando se agrega el agente curtiente las pieles están en un estado de piquelado a un pH menor de 3,5. A estos valores de pH la afinidad de la sal curtiente por la proteína es baja teniendo lugar una penetración del cromo en la piel. Luego de la penetración por difusión del material curtiente, se aumenta el pH provocándose cambios en la sal de cromo y en la proteína de la piel que favorecen la reacción entre ellos. Al término de la reacción se dice que el cuero está curtido al cromo, y en estas condiciones ya tienen estabilidad hidrotérmica (Angelinetti y Lacour, 1983).

La curtición con sales de cromo básico sencillos produce a veces cueros algo vacíos. Este fenómeno se explica por la fuerte afinidad de la sustancia piel y el curtiente cromo, que se depositan de preferencia en las capas externas distribuyéndose en forma no apropiada; sin embargo, con soluciones de sales de cromo y glucosa se logra, lo contrario, una distribución

bastante más homogénea del cromo, y un cuero más lleno. Se sabe que este efecto está relacionado con la formación de ácidos denominados “enmascarantes” (ácido fórmico, ácido oxálico) procedentes de la reducción con glucosa. Por enmascarado se entiende una “protección” del complejo de cromo frente a los grupos de la sustancia piel con tendencia a formar complejos (Frankel, 1991).

Después de que el cromo ha penetrado total y uniformemente, la basicidad del licor es incrementada por una adición controlada de álcali para fijar el cromo y esto debe ser hecho muy lenta y cuidadosamente para evitar peligro de precipitación del cromo existente en el baño, este proceso es denominado basificado. La fijación del cromo es realmente lo más importante; sin embargo, no es el primer paso en la curtición del cromo, primero deben ser los curtientes transportados adentro de la estructura fibrosa donde se deben fijar (Melgar O, 2000).

2.2.6. Neutralizado

Después de curtir el cuero, este se encuentra en medio ácido. La neutralización del ácido es muy importante, ya que, si no sucede así, puede actuar desfavorablemente en los procesos subsiguientes como son: recurtición, tintura y engrase; pudiéndose fijar los productos que se utilizan en la superficie, provocando manchas o precipitaciones, causando un teñido no uniforme acentuados en el engrase (Melgar O, 2000). Los productos neutralizantes más comunes incluyen la ceniza de soda (Na_2CO_3), que se usa poco debido a su efecto superficial y demasiado drástico; el bórax, también de uso limitado, ya que aunque al principio actúa suavemente, con el tiempo puede volverse más alcalino que la ceniza de soda y provocar una desacidificación excesiva; y el bicarbonato de sodio (NaHCO_3), el más utilizado por su acción equilibrada y penetrante (*Cueronet. Com*, n.d.). Sin embargo, si se aplica en exceso o a temperaturas superiores a 35°C , puede transformarse en carbonato sódico, elevando el pH por encima de 6 y causando problemas como flor suelta o de mala calidad. Estos neutralizantes suelen emplearse en cantidades controladas, a veces combinados con productos más suaves. En dosis bajas, solo actúan superficialmente, pero en mayores concentraciones logran una neutralización profunda, aunque con el riesgo de sobre neutralizar la flor y debilitar el cuero. Por ello, su uso debe ser cuidadoso para evitar efectos adversos (*Cueronet. Com*, n.d.). Los factores que influyen durante la operación son: la

temperatura, que puede crear modificaciones en las sales utilizadas; la concentración del baño respecto a la proporción de sales utilizadas y los tiempos de rotación. Al terminar la neutralización, los cueros han de tener en la superficie un pH de 5 a 5.3. En el interior de los cueros el pH debe disminuir progresivamente hasta alcanzar 4.5 aproximadamente. En el control de esta operación es importante el pH final del baño de neutralizado y la profundidad de penetración de los productos neutralizantes. El empleo del indicador de verde de bromocresol y la cinta pH, nos muestran la diferencia del pH en el baño con el pH al interior de la piel durante la operación (Adzet et al., 1985).

2.2.7. Recurtido

La recurtición del cuero al cromo es el tratamiento de dicho cuero con uno o más productos, con el objeto de obtener unas cualidades del cuero terminado, que no son fácilmente obtenibles con la sola curtición al cromo (Angelinetti & Lacour, 1983).

2.2.8. Engrase

La operación de engrase se realiza con la finalidad de obtener un cuero de tacto más suave y flexible. La función de la materia grasa sobre el cuero es la de mantener las fibras separadas y lubricadas para que se puedan deslizar fácilmente. Unas con relación a las otras. El mayor o menor grado de impermeabilidad de un cuero depende de la cantidad y tipo de grasa empleada, lo cual condiciona el artículo que se quiere obtener. Por otro lado, altas cantidades de grasa natural evitan un secado rápido, cuando se usan adecuadamente influyen positivamente en el cuerpo de cuero; dan un tacto grasoso. El uso de aceites crudos puede ser útil para tener emulsiones más finas de aceites fuertemente sulfitados, así ayudar a su penetración y agotamiento, dando también ciertas características de tacto sedoso y buen cuerpo (Melgar O, 2000).

2.2.9. Secado

El secado básico de cueros implica suspenderlos libremente en barras dentro de cámaras estáticas o túneles con flujo de aire caliente por convección forzada. Existen métodos especializados como el secadero Pasting (emplea placas de vidrio) y el Secoterm (utiliza placas metálicas calefaccionadas) que ofrecen alternativas tecnológicas al proceso convencional. El secado al vacío consiste en extender el cuero sobre una placa caliente

metálica y evaporar el agua a presión reducida haciendo el vacío (Adzet et al., 1985). El secado se consideraba una operación física tan simple, evaporar el agua de la piel, no obstante, la realidad es muy otra, ya que durante la operación de secado y dependiendo del tipo de aparato que se utilice, se producen migraciones de diversos productos, formación de enlaces, modificación del punto isoeléctrico, etc. Es decir que en esta operación existen modificaciones importantes (Frankel, 1991).

2.3. Control de calidad y características físicas del cuero

De acuerdo a Gaidau et al., (2022), los factores que determinan la calidad de las pieles de animales, abarca tanto las etapas in vivo (durante la vida del animal) como in vitro (procesamiento industrial). En la fase in vivo, aspectos como la genética, las condiciones de cría (clima, salud) y el manejo durante el sacrificio influyen en defectos como pelo escaso, baja resistencia de la fibra, cicatrices o arrugas por grasa natural. Posteriormente, en la etapa in vitro, procesos industriales como el remojo, descarnado, desengrase, teñido y acabado pueden introducir problemas como cuero desigual, áreas sin pelo, superficies reducidas o exceso de pulido, lo que afecta la calidad final del producto.

El control de calidad final de las pieles de lana implica una evaluación integral que abarca tanto aspectos organolépticos como pruebas físico-mecánicas y químicas. En el cuero, se analizan propiedades como la elongación, suavidad, tacto y plenitud, mientras que en la lana se evalúan la finura, imperfecciones, longitud del pelo y grado de individualización de las fibras. Adicionalmente, se determina el área utilizable de la piel. Las pruebas técnicas se centran principalmente en el cuero, el cual debe presentar una elongación y resistencia a la rotura adecuadas, así como una óptima resistencia al desgarrado, tanto en costuras como en el material mismo, para garantizar su idoneidad en la confección de prendas de calidad (Gaidau et al., 2022).

Es importante evaluar la calidad final del cuero cuando se emplea una nueva formulación química para su procesamiento (Ghosh, 2018).

2.3.1. Resistencia a la tracción del cuero

La resistencia a la tracción mide la fuerza requerida para fracturar una muestra de cuero en forma de mancuerna. La muestra se sujeta firmemente entre dos abrazaderas, las

cuales se separan progresivamente a una velocidad constante de aproximadamente 100 mm por minuto. Durante este proceso, se registra de manera automática la fuerza necesaria para estirar el material. Al alcanzar su límite, la muestra se rompe, y la fuerza máxima aplicada en ese momento se denomina resistencia a la tracción, expresada en Newtons (N) (Abebe et al., 2024). Para evaluar esta propiedad, se toman muestras tanto en sentido longitudinal como transversal de la piel. Estas se cortan en dimensiones específicas, considerando el grosor (mm) y el ancho (mm) del cuero. El cálculo de la resistencia a la tracción se obtiene dividiendo la carga de rotura registrada (N) entre el área de la sección transversal de la muestra, que corresponde al producto del grosor por el ancho. El resultado final se expresa en N/mm^2 (Abebe et al., 2024).

2.3.2. Porcentaje de elongación a la ruptura

Durante la prueba de resistencia a la tracción descrita anteriormente, también se mide el alargamiento a la rotura. A medida que la muestra de cuero se estira bajo la fuerza aplicada, llega a un punto en el que se rompe. En este punto, el porcentaje de estiramiento que experimenta la muestra antes de romperse se denomina alargamiento a la rotura (Abebe et al., 2024). El alargamiento a la rotura se calcula comparando la variación de longitud de la muestra de cuero en el punto de rotura con su longitud original. La diferencia se expresa como un porcentaje de la longitud original, representando el grado de estiramiento que sufrió el cuero antes de romperse. Esta medición proporciona información valiosa sobre la ductilidad y flexibilidad del cuero. Indica hasta qué punto se puede estirar el cuero antes de alcanzar su punto de rotura (Abebe et al., 2024).

CAPÍTULO III: PIQUELADO EN PIELES DE ALPACA BEBE ¹⁶

Antonieta Mojo¹⁷, Raul Mamani¹⁸, Juan Callañaupa¹⁹

RESUMEN

El objetivo principal consistió en evaluar cómo el proceso de piquelado afectaba la calidad del cuero obtenido de alpacas bebé. Para ello, se compararon dos tipos de ácido (acético y láctico) combinados con diferentes concentraciones salinas (9°βe y 12°βe), utilizando un diseño experimental que incluyó 12 muestras.

Previamente a los tratamientos, se seleccionaron cuidadosamente las pieles según su integridad estructural, coloración uniforme y flexibilidad. Estas pasaron por etapas de remojo, desengrasado, piquelado y curtido con sales de aluminio y cromo. Los análisis posteriores demostraron que la combinación de ácido acético con una concentración salina de 12°βe generó los mejores resultados en resistencia a la tracción (2488.80 N/cm²), superando ampliamente los valores de referencia. En cuanto a la elasticidad, el ácido láctico a 12°βe produjo el mayor alargamiento (24.58%), aunque todos los tratamientos cumplieron con los estándares mínimos establecidos.

Los expertos clasificaron las pieles procesadas entre las categorías de "buena" y "muy buena" calidad, confirmando su idoneidad para la fabricación de artículos peleteros de alto valor. Este trabajo evidenció que la selección adecuada de reactivos durante el piquelado influye directamente en las propiedades mecánicas del producto final, proporcionando pautas técnicas valiosas para el sector.

PALABRAS CLAVE: proceso de piquelado, cuero de alpaca, resistencia mecánica, curtido al cromo, control de calidad.

¹⁶ Derivado del proyecto de investigación: Piquelado en el curtido de pieles de alpaca y ovino bebé para la industria peletera

¹⁷ Docente investigadora, UNSAAC- Perú, antonieta.mojo@unsaac.edu.pe

¹⁸ Estudiante de posgrado, UNSAAC- Perú, 173338@unsaac.edu.pe

¹⁹ Docente investigador, UNSAAC- Perú, juan.callañaupa@unsaac.edu.pe

CHAPTER III: PICKLING BABY ALPACA SKINS

ABSTRACT

The main objective was to evaluate how the pickling process affected the quality of leather obtained from baby alpacas. To this end, two types of acid (acetic and lactic) combined with different salt concentrations (9°βe and 12°βe) were compared using an experimental design that included 12 samples.

Prior to treatment, the hides were carefully selected based on their structural integrity, uniform color, and flexibility. They underwent soaking, degreasing, pickling, and tanning with aluminum and chromium salts. Subsequent analyses showed that the combination of acetic acid with a salt concentration of 12°βe produced the best results in tensile strength (2488.80 N/cm²), far exceeding the reference values. Regarding elasticity, lactic acid at 12°βe produced the greatest elongation (24.58%), although all treatments met the established minimum standards.

The experts classified the processed hides into "good" and "very good" quality categories, confirming their suitability for the manufacture of high-value fur products. This work demonstrated that the appropriate selection of reagents during pickling directly influences the mechanical properties of the final product, providing valuable technical guidelines for the industry.

Keywords: pickling process, alpaca leather, mechanical strength, chrome tanning, quality control.

3. PIQUELADO EN PIELES DE ALPACA BEBE

3.1. Lugar de estudio

El estudio fue entre abril y diciembre de 2017. Las pruebas preliminares y experimentales sobre la curtición de cuero para peletería de alpaca bebé se realizaron en la empresa privada “Piel del Sur Andino”, en el distrito de Sicuani, provincia de Canchis-Cusco-Perú (Latitud: 14° 14' 17" Sur Longitud: 71° 13' 51" Oeste). Los ensayos físico-mecánicos del cuero fueron efectuados en el Laboratorio de Ensayos del Centro de Investigación Tecnológica del Cuero, Calzado e Industrias Conexas (CITEccal), Rímac – Lima - Perú.

3.2. Diseño experimental

La investigación se enfocó particularmente en el proceso de piquelado, donde se evaluaron los efectos del ácido acético y láctico, así como dos niveles de concentración de sal en ° β e (Tabla 3). Estos factores determinaron el comportamiento de la piel en las etapas posteriores del curtido. Para su análisis, se empleó un diseño factorial completo de 2², (Tabla 4) permitiendo así evaluar la influencia de cada variable en la obtención del cuero final.

Tabla 3. Identificación de variable independiente

Variable Independiente	Unidades	Tipo	Bajo	Alto	Niveles
Tipo de ácido	Unid.	Categorico	Láctico, Acético		2
Salmuera de piquelado	° β e	Continuo	9.0	12.0	2

Nota: la tabla muestra el tipo de variable y sus niveles

Tabla 4. Matriz de diseño experimental, factorial 2²

Tratamiento	V. Independiente		V. Dependiente		
	Ácido	° β e	Costura (N/cm ²)	Elongación (%)	Tracción (N/cm ²)
T1	Láctico	9	...	...	...
T2	Láctico	12	...	...	...
T3	Acético	9	...	...	...
T4	Acético	12	...	...	...

Nota: los 4 tratamientos se trabajaron con 3 repeticiones, con un total de 12 unidades experimentales.

3.3. Metodología aplicada

La metodología empleada para el procesamiento de piel de alpaca bebé en cuero para peletería se basó en un control riguroso de la materia prima, el proceso de curtición y la calidad del producto final. Dicho control incluyó evaluaciones organolépticas mediante una inspección detallada de las pieles, análisis fisicoquímicos a lo largo del proceso de curtición y ensayos físico-mecánicos para evaluar las propiedades del cuero obtenido.

Materia prima y Selección

Constituida por pieles de alpaca bebe (obtenidas por muerte natural) seco - dulce, de la variedad Huacaya, rigurosamente seleccionadas, procedentes de las alturas de la provincia de Canchis del departamento del Cusco. La selección de las pieles de alpaca bebe en seco dulce, fueron realizadas por un juez entrenado, artesano peletero con 40 años de experiencia (Figura 5) de acuerdo a la tabla 5 considerando los criterios de calidad de las pieles.

Tabla 5. Criterios de calidad de las pieles del juez calificador

Parámetro	Lado Piel	Criterio	Calificación	Puntaje
Defectos	Carnaza	Recalentado (descomposición)	Muy Malo	1
		Zorreado (muerto/ ataque animal)	Malo	2
		Cortes (desuello)	Bueno	4
		Entero	Muy Bueno	5
	Fibra	Mala fijación (desprende fácilmente)	Muy Malo	1
		Regular fijación (desprende difícilmente)	Regular	3
Buena fijación (no se desprende)		Muy Bueno	5	
Prueba de Doblado	Carnaza	Quebradizo	Malo	2
		Suave	Bueno	4
Color	Carnaza	Rojo oscuro (sangre)	Regular/malo	3/2
		Manchado (presencia de carne)	Regular	3
		Natural (limpio)	Muy Bueno	5
	Fibra	Moro (bicolor)	Regular	3
		Uniforme (no blanco)	Bueno	4
		Blanco	Muy Bueno	5

Nota: la tabla muestra la puntuación asignada a cada criterio de acuerdo al lado de la piel

Una piel con buenas a muy buenas características presentará una estructura íntegra sin defectos graves, asegurando un lado carnaza libre de recalentado, zorreado o cortes, lo que garantizará su resistencia y uniformidad. En la fibra, debe observarse una buena fijación, evitando desprendimientos que puedan comprometer la calidad del cuero. La piel debe ser suave en la prueba de doblado, lo que indicará flexibilidad y ausencia de fragilidad. En cuanto al color, la carnaza se mantendrá limpia y natural, mientras que la fibra mostrará una

tonalidad uniforme o blanca, reflejándose en un adecuado proceso de curtido y acabado. Estos atributos favorecen su uso en la industria peletera, asegurando un material de alta calidad y durabilidad.

Clasificación. La clasificación de las pieles se llevó a cabo considerando su tamaño, medido desde la cola hasta el cuello. Se establecieron cuatro categorías: EXTRA (65 cm o más), PRIMERA (55 - 60 cm), SEGUNDA (45 - 50 cm) y TERCERA (menos de 45 cm).

Figura 5. Control de calidad de pieles de alpaca bebe



Nota: la figura muestra al experto juez seleccionando y clasificando las pieles

Remojo. Esta operación tuvo como objetivo restablecer la hidratación y flexibilidad de la piel. Para ello, se realizó un remojo en estado estático (Figura 6. (a)), utilizando un lote de 50 pieles seco-dulce, sumergidas en una solución compuesta por 1000% de agua, 72 g de detergente, 7 ml de bactericida, 36 g de BLANQUIT, 18 ml de QUIMEX 900 (desengrasante de cuero) y 18 ml de LAVAPIEL (desengrasante de fibra). El proceso se llevó a cabo durante 48 horas a temperatura ambiente (aproximadamente 18 °C). Durante este procedimiento, se eliminaron todas las impurezas y materias extrañas.

Figura 6. Remojo, escurrido y recortado de pieles de alpaca bebe



Nota: la Figura muestra en (a): operación de remojo y (b): escurrido y recortado

Escurreido y recortado. Finalizado el remojo, se escurrieron las pieles y se procedió al recorte de las partes no necesarias (Figura 6. (b)), para confección de prendas, juguetería, colchas, accesorios, etc. como la cola, los codos y los flancos sin fibra.

Primer lavado y desengrasado. El lavado y desengrasado se realizaron en agua a una temperatura de 40 - 45 °C, con la adición de una solución preparada con 135 g de detergente, 45 g de QUIMEX y 9 g de LAVAPIEL. Esta etapa permitió eliminar la grasa natural y las impurezas remanentes, tales como estiércol, sangre y barro, mediante el uso de un peine de clavos. Posteriormente, se efectuó un enjuague con abundante agua y un nuevo escurrido.

Piquelado y escurrido. Para evitar el hinchamiento ácido, se preparó un baño de 150 litros de agua con sal en concentraciones de 9 y/o 12 °Bé, a temperatura ambiente. Se introdujeron las pieles y, posteriormente, se añadió ácido acético y/o láctico diluido en una proporción de 1:10, hasta alcanzar un pH de 3. Las pieles permanecieron en reposo durante 24 horas, permitiendo su adecuada acidificación. Concluido este tiempo, se escurrieron para su posterior procesamiento, esta operación se muestra en la Figura 7.

Figura 7. Piquelado y escurrido de pieles de alpaca bebe



Nota: la Figura muestra el control de la densidad en °Bé, el baño ácido y el escurrido de las pieles.

Descarnado y piquelado. El descarnado se efectuó manualmente utilizando una herramienta denominada rancheta con dentadura (Figura 8 (a)), sobre un caballete de madera. Mediante esta operación, se eliminaron la hipodermis, los tejidos adiposos y los restos de carne. Tras el descarnado, las pieles fueron reintroducidas en el baño de piquelado (Figura 8 (b)) por 24 horas adicionales, con el propósito de uniformizar su acidificación. Se realizó un control del pH y de la densidad de la solución.

Figura 8. Descarnado y segundo piquelado



Nota: la Figura muestra el descarnado manual y el segundo piquelado

Escurrido. Para continuar con el proceso de curtido, las pieles acidificadas fueron escurridas durante cinco horas, obteniendo pieles oreadas.

Curtido. El curtido se llevó a cabo aplicando la solución con una brocha por el lado de la carne, evitando afectar la fibra (Figura 9). La formulación utilizada consistió en 100 g de sulfato de aluminio tipo A y 50 g de sulfato básico de cromo III por cada litro de agua. Las pieles se extendieron sobre tableros de madera para la aplicación de la solución y se dejaron reposar en esa misma posición durante 30 minutos.

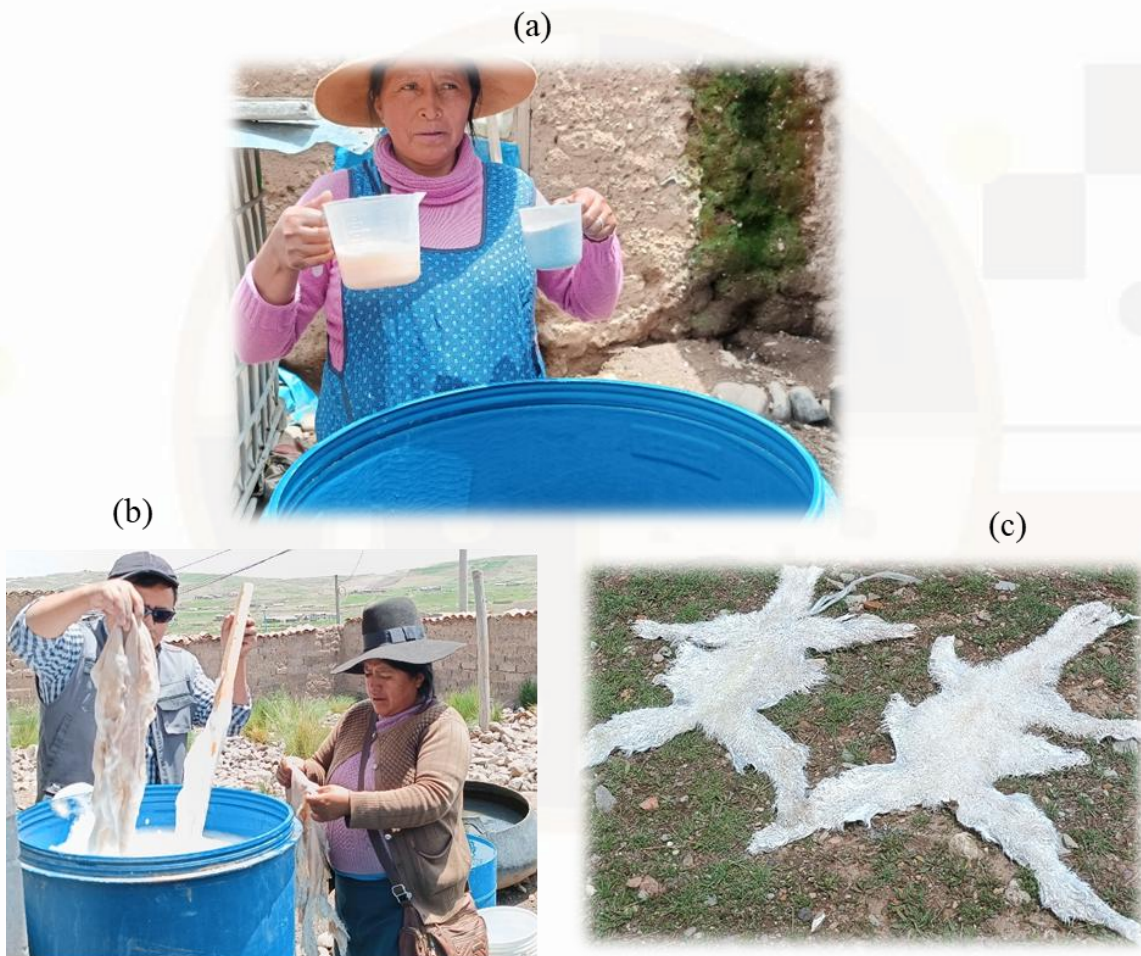
Figura 9. Curtido de las pieles



Basificado. Para favorecer la fijación de los agentes curtientes, se realizó el basificado mediante la aplicación, con brocha, de una solución de 50 g de bicarbonato de sodio por cada litro de agua. Luego, las pieles fueron oreadas por 30 minutos y posteriormente cubiertas hasta el día siguiente.

Segundo lavado y secado. Se efectuó un segundo lavado, siguiendo el mismo procedimiento que en la primera etapa, con agua a 40 - 45 °C y la adición de una solución de 135 g de detergente, 45 g de QUIMEX y 9 g de LAVAPIEL. Este proceso permitió eliminar residuos de los insumos curtientes y mejorar la higiene del producto final. Posteriormente, se realizó un enjuague con abundante agua, seguido de escurrido y secado, evitando deshidrataciones severas en el lado de la carne, como se muestra en la Figura 10.

Figura 10. Segundo lavado y secado de las pieles



Nota: la Figura muestra (a): dosificación de insumos, (b): control de la operación, (c): secado de pieles.

Refinado y rebajado. El refinado se llevó a cabo manualmente con la rancheta sobre un caballete de madera, limpiando la parte de la carne de toda la piel. El rebajado se efectuó únicamente en el cuello, debido a su mayor espesor, utilizando una rancheta de filo liso.

Recurtido. El recurtido permitió conferir a la piel mayor blandura y cuerpo. Se aplicó con brocha una solución de 100 g de sal y 100 g de sulfato de aluminio tipo A por cada litro de agua, a una temperatura de 60 °C. Luego, las pieles fueron cubiertas y dejadas en reposo hasta el día siguiente.

Estirado y engrasado. Para el estirado, se emplearon tableros de madera y clavos de una pulgada y media (Figura 11). Se comenzó expandiendo el área del cuello, seguido del cuerpo y, finalmente, las extremidades, respetando la forma natural de la piel. Concluido este proceso, se procedió al engrasado mediante la aplicación, con brocha, de una solución de aceite sintético y agua a 65 °C en una proporción 1:1.

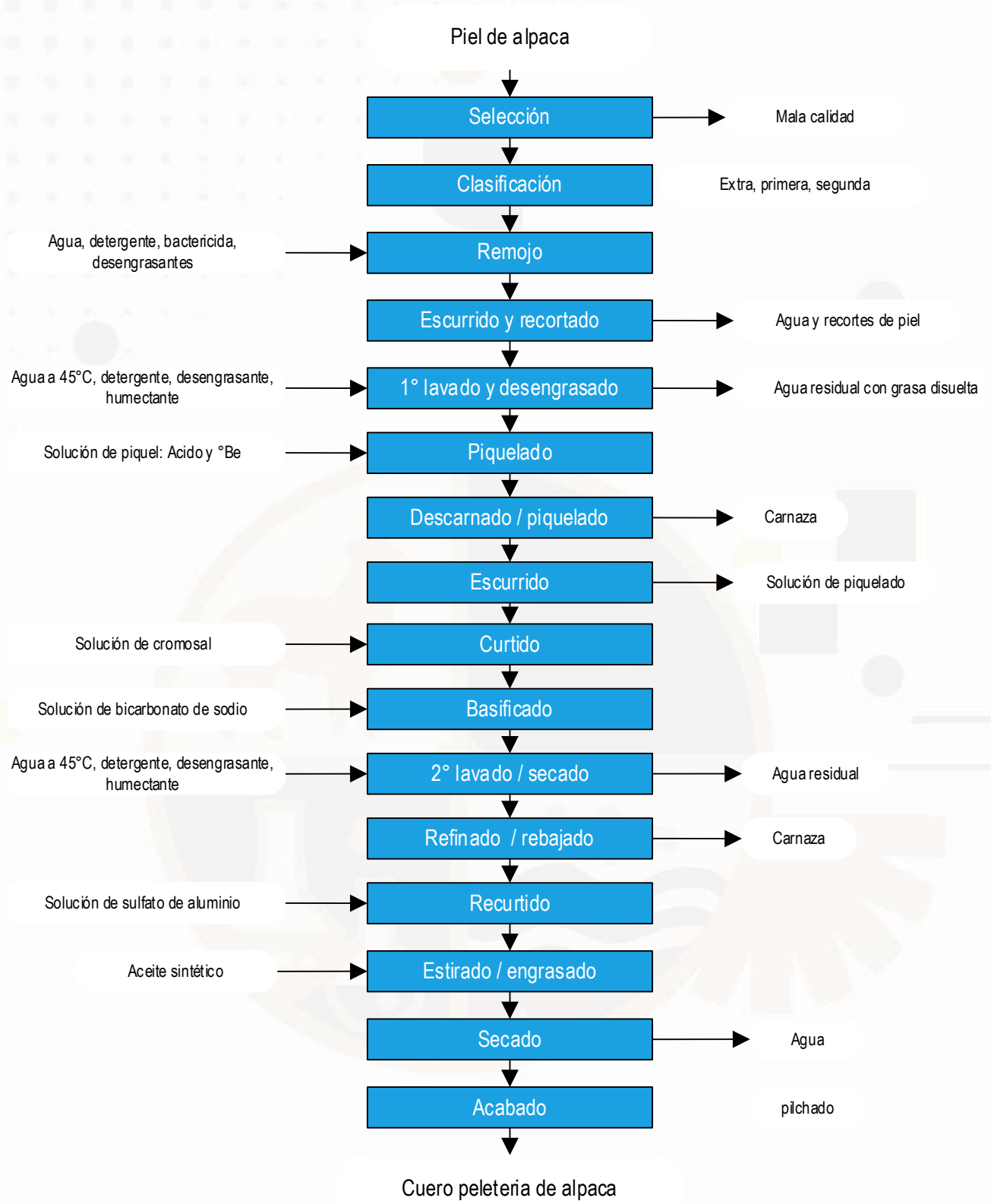
Figura 11. Estirado y engrasado de las pieles



Nota: en la Figura se muestra el estirado (claveteado) y el engrasado de las pieles de alpaca bebe.

En la figura 12 se muestra el diagrama de flujo para la obtención de cuero peletería artesanalmente de piel de alpaca bebe.

Figura 12. Diagrama de flujo para la obtención de cuero peletería de piel de alpaca



Nota: el diagrama muestra un proceso artesanal de curtido de piel de alpaca en cuero peletería

Secado. Las pieles curtidas, estiradas y engrasadas fueron expuestas al ambiente para su secado. El tiempo de secado varió según las condiciones climáticas y se verificó hasta alcanzar pieles completamente secas, momento en el que fueron desclavadas.

Acabado. Finalmente, las pieles fueron sometidas a un proceso de acabado, que incluyó suavizarlas manualmente como se muestra en la Figura 13, para reducir su rigidez y pilchar la fibra con el propósito de obtener la pomposidad característica de este tipo de pieles.

Figura 13. Acabado manual del cuero peletería



Nota: en la Figura se muestra el acabado de forma manual

3.4. Técnicas de análisis de calidad del cuero para peletería de alpaca

El control de calidad del producto final se llevó a cabo mediante ensayos físico-mecánicos realizados en el Centro de Innovación Tecnológica del Cuero, Calzado e Industrias Conexas (CITEccal) en la ciudad de Lima, Perú. Para ello, los cueros fueron acondicionados durante 48 horas a una humedad relativa del 50 % y una temperatura de 25 °C, tras lo cual se procedió a la ejecución de los ensayos físico-mecánicos.

3.4.1. Evaluación de la resistencia a la tracción de pieles cosidas

El ensayo de resistencia a la tracción en pieles cosidas se realizó utilizando una costura de 8 puntadas por cada 10 mm, con aguja N° 16 e hilo de nylon N° 26, de acuerdo con la norma técnica peruana NTP 291.035.

3.4.2. Evaluación de la resistencia a la tracción

La resistencia a la tracción del cuero constituye una de sus propiedades más relevantes. Este ensayo consistió en someter la muestra seleccionada a una fuerza de tensión mediante un dinamómetro electrónico, siguiendo el método establecido en la Norma Técnica Peruana – ISO 3376:2012 (revisada en 2017). Para la realización del ensayo, se seleccionaron y cortaron muestras de cuero utilizando un sacabocados, asegurando que presentaran dimensiones precisas. Posteriormente, se midieron con exactitud el ancho (h) y el espesor (e) en la zona más angosta de cada muestra. Luego, estas fueron sujetadas en las mordazas del dinamómetro, garantizando que la flor quedara en un solo plano. Una vez aseguradas, se puso en marcha el dinamómetro y se continuó el ensayo hasta que la muestra se rompiera. En ese momento, se registró la fuerza máxima alcanzada por el equipo y, finalmente, se calculó la resistencia a la tracción empleando la ecuación 1.

$$T = \frac{F}{h.e} \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde: T: Resistencia a la tracción en N/mm², F: Fuerza máxima registrada en N, h : Ancho promedio de la muestra en milímetros y e : Espesor medio de la probeta en milímetros.

3.4.3. Evaluación del porcentaje de alargamiento a la rotura

El ensayo para determinar el alargamiento a la rotura permitió evaluar la capacidad del cuero para soportar la máxima resistencia a la que se encuentra sometido. Este análisis se llevó a cabo de acuerdo con la Norma Técnica Peruana – ISO 3376:2012 (revisada en 2017). El procedimiento consistió en utilizar una probeta de 7 cm x 4 cm, obtenida siguiendo el método descrito en el apartado anterior, la cual fue sometida a tensión en un lástometro. Durante el ensayo, se aplicó una fuerza de tracción que generó una elongación progresiva en la muestra. Si el cuero no presentaba suficiente elasticidad para adaptarse a la deformación, se producían grietas o fracturas en la superficie. El grado máximo de estiramiento alcanzado

se midió en porcentaje, registrando los valores en los puntos inicial y final del ensayo. La elongación se determinó mediante la ecuación 2:

$$Eb = \frac{L_2 - L_0}{L_0} \times 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde: *Eb*: Porcentaje de alargamiento a la rotura, *L₂*: Separación entre las mordazas o los sensores en la rotura y *L₀*: Separación inicial entre las mordazas o los sensores.

3.5. Resultados y discusiones

3.5.1. Evaluación de la calidad de las pieles de alpaca bebe

Se evaluaron doce unidades de piel, analizando defectos, color y flexibilidad tanto en la carnaza como en la fibra. La evaluación se realizó utilizando una escala de 1 a 5, donde 5 representaba la mejor calidad. Los resultados (Tabla 6) mostraron que las pieles de alpaca exhibieron una calidad notable. En cuanto a los defectos, tanto la carnaza como la fibra presentaron mínimas imperfecciones, con promedios de 4.3 y 4.6 respectivamente. El color se mantuvo homogéneo y de alta calidad en ambas caras de la piel, con promedios de 4.3 para la carnaza y 4.9 para la fibra. La prueba de doblado reveló una buena flexibilidad en la carnaza, con un promedio de 4.0. En general, el promedio de todas las evaluaciones fue de 4.4, lo que indica que las pieles de alpaca analizadas poseían una calidad que oscilaba entre buena y muy buena. Esto sugiere que las pieles cumplieron con los estándares necesarios para el curtido y la producción de artículos de peletería de alta gama.

Tabla 6. Calidad de la materia prima: pieles de alpaca bebe

Parámetro	Lado Piel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	\bar{x}
		Puntuación/calificación												
Defectos	Carnaza	4	4	5	4	5	3	4	4	4	5	4	5	4.3
	Fibra	5	5	5	4	4	4	4	5	5	5	4	5	4.6
Color	Carnaza	5	5	5	3	4	4	5	4	4	4	5	4	4.3
	Fibra	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	4.9
Prueba de doblado	Carnaza	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4.0
Promedio		4.6	4.6	4.8	3.8	4.4	4	4.4	4.4	4.4	4.6	4.4	4.6	4.4
Calificativo		De bueno a muy buena calidad												

Nota: La tabla muestra los resultados de la calificación por juez experto de 12 pieles antes de su procesamiento. \bar{x} es promedio

3.5.2. Resistencia a la costura de cuero peletería de alpaca bebe

Para la evaluación se acondicionó los cueros por el espacio de 48 horas, a una humedad relativa de 50% y 23°C de temperatura, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Resistencia a la tracción de pieles cocidas (N/cm²)

Acido	°Be	\bar{x}	DS	CV (%)	*	NTP 291.037
Láctico	9	1043.45	48.86	4.68	a	686 (N/cm ²) mínimo
Acético	9	1187.55	55.08	4.64	a	
Láctico	12	914.45	120.70	13.20	a	
Acético	12	1370.80	75.80	5.53	a	
Patrón		1215.80	162.35	13.35		

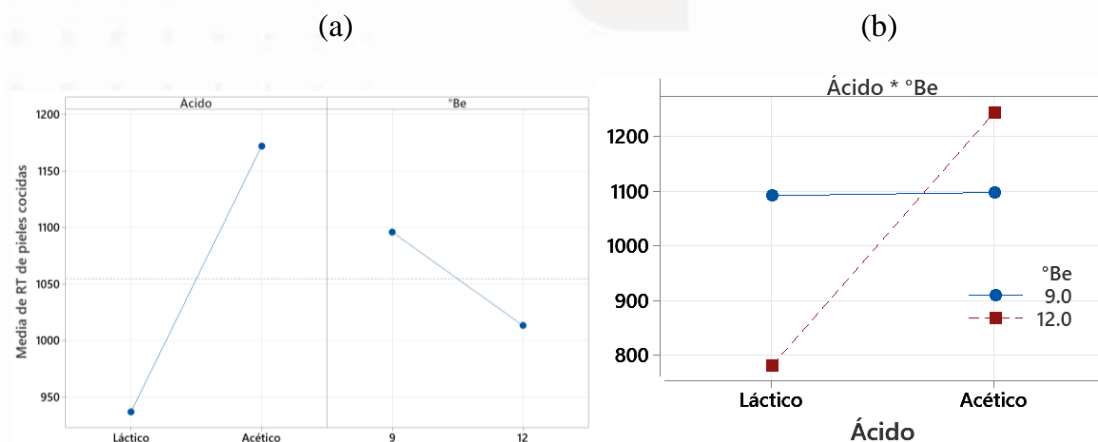
Donde: °Be es grados Baumé (concentración de sal), \bar{x} es la media aritmética; DS es la desviación estándar; CV% es coeficiente de variabilidad y, * muestra significancia; y diferentes letras seguidas indican una diferencia significativa, evaluada con la prueba de Tukey con un 95% de confianza.

La Tabla 7 muestra los resultados comparativos de resistencia a la tracción en pieles cocidas (N/cm²) utilizando diferentes tipos de ácidos (láctico y acético) y concentraciones salinas (9°Be y 12°Be), contrastadas con un patrón de ácido fórmico. Los datos revelan que el tratamiento con ácido acético a 12°Be alcanzó el máximo valor de resistencia (1370.80 N/cm²), superando en un 12.7% al patrón de ácido fórmico (1215.8 N/cm²), mientras que el ácido láctico en la misma concentración mostró el menor rendimiento (914.45 N/cm²), un 24.8% inferior al patrón. Es destacable que todos los tratamientos evaluados excedieron el valor mínimo de 686 N/cm² requerido por la norma técnica peruana NTP 291.037.1988 *PELETERIA. Pieles de alpaca cría curtidas artesanalmente. Requisitos físicos*, confirmando que el ácido acético a 12°Be no solo constituye una alternativa viable al ácido fórmico, sino que representa la opción más efectiva para optimizar la resistencia mecánica de las pieles en procesos de curtido artesanal.

La figura 14. (a) representa los efectos principales de dos factores: el tipo de ácido, láctico y acético, y la concentración del ácido 9 °Be, y 12 °Be, sobre la media de la resistencia a la tracción (RT) de pieles cocidas. El ácido acético muestra una RT significativamente mayor en comparación con el ácido láctico. Esto sugiere que el ácido acético, bajo las condiciones experimentales, induce una mayor resistencia en las pieles cocidas. La

concentración de sal en la solución de piquel también influye en la RT. Se observa una tendencia decreciente en la RT al aumentar la concentración de 9 °Be a 12 °Be. Esto indica que, en general, una menor concentración de sal (°Be) podría ser más efectiva para mejorar la resistencia de las pieles.

Figura 14. Gráfica de efectos principales e interacción de factores para resistencia a la tracción de las pieles cocidas.



Nota: (a) es efectos principales y (b) es la interacción

Se observa una interacción significativa entre los dos factores (Figura.14. (b)). Para el ácido láctico, la RT disminuye considerablemente al aumentar la concentración. Sin embargo, para el ácido acético, la RT aumenta notablemente al pasar de 9 °Be a 12 °Be. Esto indica que el efecto de la concentración de sal en la solución del piquelado (°Be) sobre la RT depende del tipo de ácido utilizado. Específicamente, el ácido acético a una concentración de 12 °Be parece ser la combinación más efectiva para maximizar la resistencia a la tracción de las pieles cocidas.

3.5.3. Resistencia a la tracción de cuero peletería de alpaca bebe

La tabla 8 presenta los resultados de la resistencia a la tracción (N/cm²) del cuero de peletería de alpaca bebé, evaluada tras el proceso de curtido. En el experimento, se variaron dos factores en la operación de piquelado: el tipo de ácido (láctico y acético) y la concentración de sal en la solución del piquelado, expresada en grados Baumé (°Be) a 9 y 12. Como tratamiento control, se utilizó ácido fórmico.

Los valores de resistencia a la tracción muestran diferencias significativas entre los tratamientos, con un mínimo requerido de 980 N/cm² según la Norma Técnica Peruana “NTP 291.037.1988 PELETERIA. Piel de alpaca cría curtidas artesanalmente. Requisitos físicos”. Se observa que el tratamiento con ácido acético a 12 °βe presentó la mayor resistencia a la tracción (2488.80 N/cm²), seguido por el tratamiento con ácido acético a 9°βe (1729.75 N/cm²), ambos superiores al valor obtenido en el tratamiento control (1546.83 N/cm²). Por otro lado, los valores más bajos se registraron en los tratamientos con ácido láctico a 9°βe (1418.40 N/cm²) y 12 °βe (1500.25 N/cm²). El análisis estadístico de Tukey al 5% indica que los tratamientos con ácido láctico a 9°βe y ácido acético a 12 °βe pertenecen a grupos significativamente distintos, lo que sugiere que la concentración de sal y el tipo de ácido influyen en la resistencia a la tracción del cuero.

Tabla 8. Resistencia a la tracción N/cm²

Ácido	(°βe)	\bar{x}	DS	CV (%)	*	NTP 291.037
Láctico	9	1418.40	48.93	3.45	b	980(N/cm ²) mínimo
Acético	9	1729.75	160.30	9.27	ab	
Láctico	12	1500.25	135.55	9.04	a	
Acético	12	2488.80	140.43	5.64	b	
Patrón		1546.83	185.32	11.98		

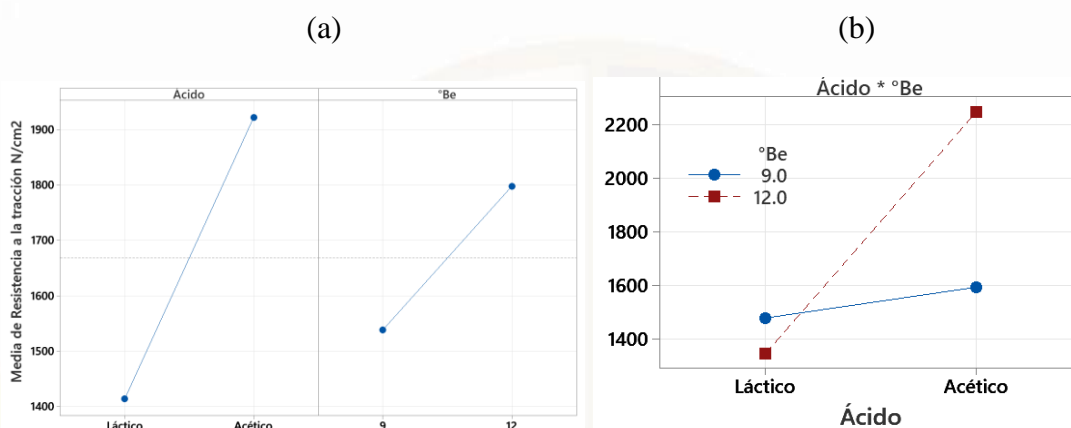
Donde: \bar{x} es la media aritmética; DS es la desviación estándar; CV% es coeficiente de variabilidad y, * muestra significancia; y diferentes letras seguidas indican una diferencia significativa, evaluada con la prueba de Tukey con un 95% de confianza.

El uso de ácido acético en el piquelado mejoró significativamente la resistencia a la tracción del cuero de alpaca bebé en comparación con el ácido láctico y el tratamiento control con ácido fórmico. Además, una mayor concentración de sal (12 °βe) favoreció mejores resultados, especialmente en combinación con el ácido acético. Estos hallazgos destacan la importancia del control del piquelado como una operación clave previa al curtido, influyendo directamente en la calidad mecánica del cuero obtenido.

Los gráficos evidenciaron los efectos principales de los factores tipo de ácido y concentración de sal (°βe) (Figura 15. (a)), así como la interacción entre ambos, sobre la resistencia a la tracción del cuero de peletería de alpaca bebé. Se observó un incremento significativo al pasar de ácido láctico a ácido acético, lo que sugiere que este último estabilizó mejor la estructura del colágeno durante el piquelado. De manera similar, un aumento en la

concentración de sal de 9 a 12 ° β e mejoró la resistencia a la tracción, probablemente gracias a una mayor retención de los agentes curtientes en la piel. La interacción (Figura 15 (b)) entre ambos factores se hizo particularmente evidente cuando se empleó ácido acético, ya que la concentración de 12 ° β e produjo un incremento más pronunciado en la resistencia en comparación con el ácido láctico, cuyo efecto mostró menor sensibilidad al cambio de concentración salina. Estos resultados resaltan la importancia de seleccionar cuidadosamente los parámetros del piquelado para optimizar las propiedades mecánicas del cuero, pues la sinergia entre el tipo de ácido y la concentración de sal desempeñó un papel decisivo en la resistencia final del producto.

Figura 15. Gráfica de efectos principales e interacción de factores para resistencia a la tracción.



Nota: (a) es efectos principales y (b) es la interacción

3.5.4. Alargamiento a la rotura de cuero peletería de alpaca bebe

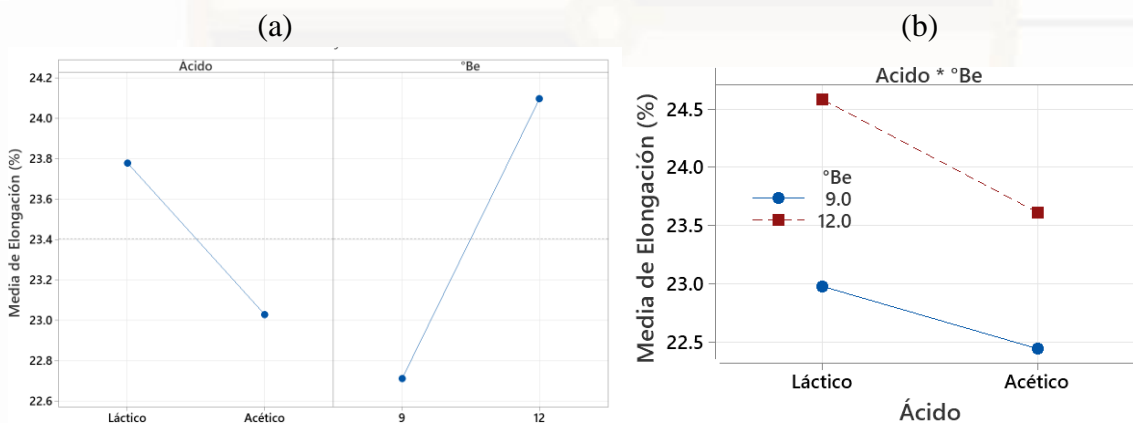
El análisis del alargamiento a la rotura en el cuero de peletería de alpaca bebé mostró que todos los tratamientos superaron el mínimo requerido del 15 % según la “NTP 291.037.1988 PELETERIA. Pieles de alpaca cría curtidas artesanalmente. Requisitos físicos”. Se observó (Tabla 9) que el empleo de ácido láctico con una concentración de sal de 12 ° β e produjo el mayor porcentaje de elongación (24.58 %), lo que sugiere que este tratamiento proporcionó una mayor flexibilidad a la estructura del cuero. Por otro lado, el uso de ácido acético con 9 ° β e resultó en el menor valor de elongación (22.45 %), aunque sin diferencias significativas con el resto de los tratamientos.

Tabla 9. Alargamiento a la rotura (%)

Ácido	°Be	\bar{x}	DS	CV (%)	*	NTP 291.037
Láctico	9	22.98	1.13	4.90	a	15% mínimo
Acético	9	22.45	0.25	1.12	a	
Láctico	12	24.58	1.57	6.39	a	
Acético	12	23.61	0.72	3.06	a	
Patrón		20.64	2.09	10.10		

Donde: \bar{x} es la media aritmética; DS es la desviación estándar; CV% es coeficiente de variabilidad y, * muestra significancia; y diferentes letras seguidas indican una diferencia significativa, evaluada con la prueba de Tukey con un 95% de confianza.

El análisis de efectos principales (Figura 16 (a)) reveló que el factor concentración de sal (°Be) tuvo una influencia más marcada en la respuesta de alargamiento a la rotura, ya que la tendencia general mostró un aumento con valores más altos de °Be. Sin embargo, la interacción (Figura 16 (b)) entre tipo de ácido y concentración de sal evidenció que el comportamiento del cuero variaba según el ácido utilizado. Mientras que en el caso del ácido láctico un mayor °Be incrementó significativamente la elongación, en el ácido acético esta tendencia no fue tan pronunciada. Este comportamiento podría atribuirse a diferencias en la penetración y fijación de los ácidos sobre las fibras colágenas durante el piquelado.

Figura 16. Grafica de efectos principales e interacción de factores para el alargamiento a la rotura

Nota: (a) es efectos principales y (b) es la interacción

Estos resultados resaltan la importancia de optimizar los parámetros del piquelado para garantizar un equilibrio entre resistencia mecánica y flexibilidad del cuero, dependiendo

de su aplicación final. Adicionalmente, la menor variabilidad en los tratamientos con ácido acético sugiere que este podría conferir mayor uniformidad en la producción de cueros de alta calidad, aspecto clave en la industria peletera.

3.6. Aspectos alcanzados y conclusiones

El estudio sobre el piquelado en pieles de alpaca bebé demostró que la combinación de ácido acético y una concentración de salmuera de 12° β e fue la más efectiva para optimizar las propiedades físico-mecánicas del cuero. Los resultados revelaron que este tratamiento alcanzó una resistencia a la tracción de 2488.80 N/cm², superando significativamente el mínimo requerido por la norma NTP 291.037 (980 N/cm²), así como al patrón de ácido fórmico (1546.83 N/cm²). En cuanto a la resistencia a la costura, el ácido acético a 12° β e también destacó con 1370.80 N/cm², mientras que el ácido láctico en la misma concentración presentó valores inferiores (914.45 N/cm²). Por otro lado, el alargamiento a la rotura fue mayor con ácido láctico a 12° β e (24.58%), aunque todos los tratamientos cumplieron con el estándar mínimo del 15%.

La evaluación de la materia prima confirmó que las pieles de alpaca bebé seleccionadas poseían una calidad uniforme, con promedios de 4.4 en una escala de 1 a 5, lo que garantizó un proceso de curtido consistente. Los análisis estadísticos evidenciaron que el ácido acético fue más eficaz que el láctico para mejorar la resistencia mecánica, especialmente cuando se combinó con una mayor concentración salina (12° β e). Esta sinergia entre factores sugirió que el ácido acético favorece una mejor estabilización del colágeno durante el piquelado, mientras que la salmuera alta potencia la retención de agentes curtientes.

En conclusión, el estudio validó que el piquelado con ácido acético a 12° β e es la opción óptima para producir cueros de alpaca bebé con alta resistencia y flexibilidad, cumpliendo con los requisitos normativos y superando los métodos tradicionales basados en ácido fórmico. Estos hallazgos brindan una base técnica sólida para optimizar procesos industriales, asegurando productos competitivos y de calidad superior en el mercado peletero. Se recomienda adoptar este protocolo para garantizar eficiencia y uniformidad en la producción.

CAPÍTULO IV: PIQUELADO EN PIELES OVINO²⁰

Antonieta Mojo²¹, Raul Mamani²², Karin Florez²³

RESUMEN

El estudio tuvo la finalidad de mejorar las propiedades del cuero de ovino bebé mediante la optimización del proceso de piquelado. Se analizaron en las instalaciones de "Pieles del Sur Andino" (Cusco) y el laboratorio CITEccal (Lima) cómo diferentes condiciones de pH (2.5 y 3.5) y concentraciones salinas (9°βe y 12°βe) afectaban la calidad final del cuero peletería. La metodología comenzó con la selección cuidadosa de pieles, continuó con procesos de remojo y desengrasado, y culminó con el piquelado utilizando ácido acético y diferentes concentraciones de sal. Los resultados revelaron que la combinación de pH 2.5 con 12°βe demostró ser la más efectiva, alcanzando una resistencia a la costura de 1525.3 N/cm² y una resistencia a la tracción de 2230.40 N/cm², valores que superaron ampliamente los estándares mínimos establecidos. En cuanto a elasticidad, todos los tratamientos cumplieron con los requisitos, destacándose especialmente la misma combinación (pH 2.5 y 12°βe) con un 46.17% de elongación. Estos resultados demostraron claramente que condiciones más ácidas (pH 2.5) junto con mayor concentración salina produjeron cueros con mejores características mecánicas que el tratamiento convencional con ácido fórmico. El estudio concluyó que el ajuste preciso de los parámetros de piquelado, específicamente utilizando pH bajo y alta concentración de sal, permite obtener productos peleteros de ovino con excelentes propiedades de resistencia y flexibilidad.

PALABRAS CLAVE: proceso de piquelado, cuero de ovino, resistencia mecánica, curtido al cromo, control de calidad

²⁰ Derivado del proyecto de investigación: Piquelado en el curtido de pieles de alpaca y ovino bebé para la industria peletera

²¹ Docente investigadora, UNSAAC- Perú, antonieta.mojo@unsaac.edu.pe

²² Estudiante de posgrado, UNSAAC- Perú, 173338@unsaac.edu.pe

²³ Laboratorista de laboratorio de Investigación, UNSAAC- Perú, karin.florez@unsaac.edu.pe

CHAPTER IV: PICKLING OF SHEEPSKINS

ABSTRACT

The purpose of this study was to improve the properties of baby sheep leather by optimizing the pickling process. The study was conducted at the facilities of "Pieles del Sur Andino" (Cusco) and the CITEccal laboratory (Lima) to analyze how different pH conditions (2.5 and 3.5) and salt concentrations (9°Be and 12°Be) affected the final quality of the fur leather. The methodology began with careful selection of hides, continued with soaking and degreasing processes, and culminated with pickling using acetic acid and different salt concentrations. The results revealed that the combination of pH 2.5 and 12°Be proved to be the most effective, achieving a seam strength of 1525.3 N/cm² and a tensile strength of 2230.40 N/cm², values that far exceeded the established minimum standards. In terms of elasticity, all treatments met the requirements, with the same combination (pH 2.5 and 12°Be) particularly notable, with 46.17% elongation. These results clearly demonstrated that more acidic conditions (pH 2.5) combined with higher salt concentrations produced leathers with better mechanical characteristics than conventional formic acid treatment. The study concluded that precise adjustment of pickling parameters, specifically using low pH and high salt concentrations, allows for the production of sheep leather products with excellent strength and flexibility.

Keywords: pickling process, sheep leather, mechanical strength, chrome tanning, quality control.

4. PIQUELADO EN PIELES OVINO BEBE

4.1. Lugar de estudio

Las pruebas preliminares y experimentales sobre la curtición de cuero para peletería de ovino bebé se realizaron en la empresa privada “Piel del Sur Andino”, en el distrito de Sicuani, provincia de Canchis-Cusco-Perú (Latitud: 14° 14' 17" Sur Longitud: 71° 13' 51" Oeste). Los ensayos físico-mecánicos del cuero fueron efectuados en el Laboratorio de Ensayos del Centro de Investigación Tecnológica del Cuero, Calzado e Industrias Conexas (CITEccal), Rímac – Lima - Perú.

4.2. Diseño experimental

La investigación se enfocó particularmente en el proceso de piquelado, donde se evaluaron los efectos del pH (2.5 y 3.5), así como dos niveles de concentración de sal en °βe (9 y 12). Estos factores determinaron el comportamiento de la piel en las etapas posteriores del curtido. Para su análisis, se empleó un diseño experimental factorial completo $2^2=4$ (Tabla 10), permitiendo así evaluar la influencia de cada variable en la obtención del cuero final.

Tabla 10. Matriz de diseño experimental factorial completo $2^2=4$

Tratamiento	V. Independiente		V. Dependiente		
	pH	°βe	Resistencia a		
			Costura (N/cm ²)	Elongación (%)	Tracción (N/cm ²)
T1	3.5	9	...	...	...
T2	2.5	12	...	...	...
T3	3.5	9	...	...	...
T4	2.5	12	...	...	...

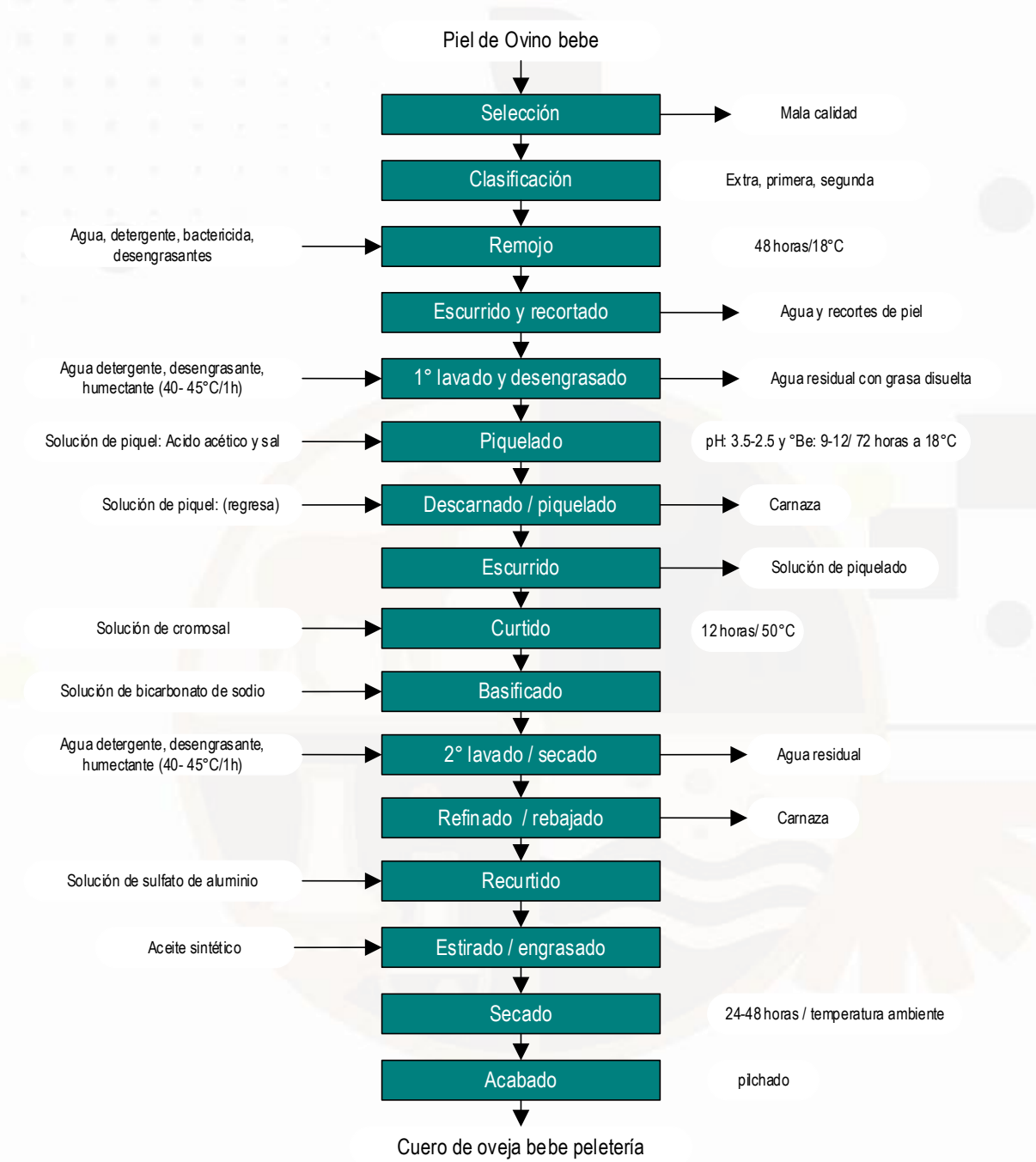
Nota: donde V. significa variable

4.3. Metodología aplicada

La metodología empleada para el procesamiento de piel de ovino bebé en cuero para peletería se basó en un control riguroso de la materia prima, el proceso de curtición y la calidad del producto final (Figura 17). Para iniciar el proceso, se seleccionaron pieles de oveja bebé seco-dulce considerando su coloración uniforme (blanca), la homogeneidad en la tonalidad de la carnaza, la fijación adecuada del pelo, la ausencia de daños por un mal desuello y una resistencia suficiente al doblado manual. Seguidamente, se llevó a cabo el remojo con el propósito de devolver la flexibilidad a las pieles; para ello, se sumergieron en

estado estático dentro de un cilindro de plástico con 35 litros de agua, a la cual se añadieron 72 g de detergente, 7 ml de bactericida, 36 g de BLANQUIT, 18 ml de QUIMEX y 18 ml de LAVAPIEL. El proceso duró 48 horas a una temperatura ambiente de aproximada de 18 °C.

Figura 17. Diagrama de flujo para obtención de cuero peletería de ovino bebe



Nota: el diagrama muestra los insumos necesarios en cada operación, así como los parámetros de trabajo.

Concluida esta etapa, se procedió al rebajado del grosor en la zona del cuello empleando un cuchillo descarnador liso y bien afilado, a fin de homogeneizar el espesor en toda la superficie de la piel. Posteriormente, se realizó un primer lavado y desengrasado a una temperatura de 40 a 45 °C, incorporando 27 g de detergente SAPOLIO, 107 g de detergente ACE, 45 g de QUIMEX y 9 g de LAVAPIEL. Este procedimiento permitió eliminar la grasa natural del animal y las impurezas remanentes tras el remojo, tales como estiércol, sangre o barro, para lo cual se utilizó un peine de clavos y se efectuó un escurrido de aproximadamente dos horas.

La siguiente operación consistió en el piquelado, para ello, se calculó la cantidad de agua en función del peso de la piel húmeda, a 18 °C, disolviendo de cloruro de sodio hasta valores de densidad del baño de 9 y 12 °Be y se sumergieron las pieles en un cilindro de plástico durante 72 horas. A continuación, se añadió el ácido acético en recipientes distintos hasta alcanzar pH 2.5 y 3.5, manteniendo la temperatura a 18 °C por 72 horas. En el curtido, previamente, las pieles se orearon sobre un caballete por unas 3 a 4 horas. Luego, se preparó una solución de 16 % de cloruro de sodio (NaCl) y 9 % de sulfato de aluminio tipo A $[Al_2(SO_3)_3]$, también conocido como alumbre. Las pieles se introdujeron una por una, manteniendo movimientos periódicos durante 24 horas, hasta obtener un pH de 3 a 3.5. Concluida esta etapa, se realizó un segundo lavado y secado para eliminar los residuos de sales curtientes en la fibra. Se utilizó agua a 40 - 45 °C, junto con 27 g de SAPOLIO, 107 g de detergente ACE, 45 g de QUIMEX y 9 g de LAVAPIEL, agitando la solución para sumergir adecuadamente las pieles. Tras el enjuague a temperatura ambiente, se dejaron orear en un caballete de madera por 1 hora y se secaron por el lado de la fibra. Posteriormente, se efectuó el descarnado o rebanado de manera manual con una rancheta dentada sobre un caballete, manteniendo las pieles en suspensión para evitar perforaciones y cortes. Este proceso permitió eliminar restos de grasa, carnaza y partes no útiles para la peletería, facilitando además la penetración de los químicos en operaciones posteriores. El recurtido se llevó a cabo para completar las propiedades requeridas en el cuero. Se preparó una solución con agua, 1.5 % de cromo $[Cr(SO_4)_3]$ y 0.5 % de bicarbonato de sodio $[NaHCO_3]$, a 60 °C constantes, aplicándose por embadurnado en el lado de la carne. Tras doblar las pieles y envolverlas en plástico, se dejó reposar 24 horas. El estirado y engrasado consistieron en extender completamente las pieles y clavarlas por sus extremos sobre tableros, dando la

forma adecuada. Para el engrasado, se utilizó aceite QIMEX 800, que aportó flexibilidad y suavidad, actuando como lubricante y agente adicional de curtido. A continuación, se realizó el secado en un ambiente ventilado y a la sombra, colocando los tableros a una distancia de 30 a 40 centímetros entre sí, durante 36 a 48 horas a temperatura ambiente. Finalmente, una vez secas, las pieles fueron desclavadas y suavizadas manualmente. De ser necesario, se llevó a cabo un lavado adicional para eliminar restos de aceite en la fibra, con el fin de mejorar su apariencia y preparar las pieles para su posterior fabricación.

4.4. Técnicas de análisis de calidad del cuero para peletería de ovino

El control de calidad del producto final se llevó a cabo mediante ensayos físico-mecánicos realizados en el Centro de Innovación Tecnológica del Cuero, Calzado e Industrias Conexas (CITEccal) en la ciudad de Lima. Para ello, los cueros fueron acondicionados durante 48 horas a una humedad relativa del 50 % y una temperatura de 25 °C, tras lo cual se procedió a la ejecución de los ensayos físico-mecánicos. Los ensayos físico-mecánicos fueron como se describió para cuero de alpaca y fueron: evaluación de la resistencia a la costura, evaluación de la resistencia a la tracción, y evaluación del porcentaje de alargamiento a la rotura.

4.5. Resultados y discusiones

4.5.1. Resistencia a la costura de cuero peletería de ovino bebe

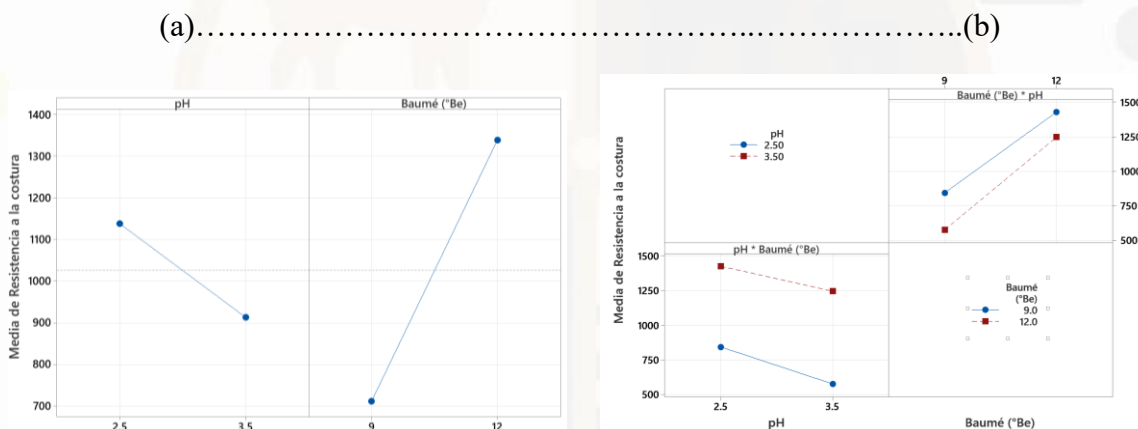
Para la evaluación se acondicionó los cueros por el espacio de 48 horas, a una humedad relativa de 50% y 23°C de temperatura. La tabla 11 muestra los valores de resistencia a la tracción de pieles cocidas en función de dos factores: el pH y la densidad de la solución del piquelado expresada en grados Baumé (°Be). Se presentan cuatro combinaciones experimentales de estos factores, comparadas con un patrón tratado con ácido fórmico. La resistencia mínima requerida, según la norma técnica peruana NTP 291.037, es de 686 N/cm². En los resultados, se observa que las pieles tratadas con pH 2.5 y 12 °Be alcanzaron la mayor resistencia a la tracción (1525.3 N/cm²), con una desviación estándar baja (17.25 N/cm²) y un coeficiente de variabilidad mínimo (1.14 %), indicando alta estabilidad en la respuesta.

Tabla 11. Resistencia a la costura de cuero peletería de ovino bebe

Factores		Resistencia a la costura (N/cm ²)				
pH	(°Be)	\bar{x}	DS	CV (%)	*	NTP 291.037
3.5	9	578.10	58.69	10.15	b	686 (N/cm ²) mínimo
2.5	9	845.97	39.63	4.69	b	
3.5	12	1248.27	116.49	9.33	a	
2.5	12	1525.30	17.25	1.14	a	
Patrón		877.10	31.68	3.61		

Donde: \bar{x} es la media aritmética; DS es la desviación estándar; CV% es coeficiente de variabilidad y, * muestra significancia; y diferentes letras seguidas indican una diferencia significativa, evaluada con la prueba de Tukey con un 95% de confianza.

En cambio, la menor resistencia se obtuvo en pieles tratadas con pH 3.5 y 9 °Be (Tabla 11), presentando una mayor dispersión en los datos. Se evidencia, además, que todas las combinaciones experimentales superaron ampliamente el valor mínimo establecido por la norma, con excepción del tratamiento con pH 3.5 y 9 °Be, que estuvo por debajo del valor exigido.

Figura 18. Efectos principales e interacción de factores para resistencia a la costura del cuero peletería de ovino

Nota: (a) es efectos principales y (b) es la interacción

Los efectos principales (Figura. 18 (a)) muestran que la resistencia a la costura es mayor cuando se trabaja con un pH de 2.5 en comparación con 3.5, lo que sugiere que un ambiente más ácido favorece la resistencia a la costura del cuero. Asimismo, se evidencia que la mayor resistencia se obtiene con una solución de 12°Be en comparación con 9°Be. En la interacción entre los factores (Figura. 18 (b)), se observa que la mejor combinación de

tratamiento corresponde a pH 2.5 y 12°Be, lo que corrobora los resultados obtenidos en la tabla 11.

Desde el punto de vista tecnológico, estos hallazgos sugieren que la combinación de un pH más bajo y una mayor concentración salina en el piquelado mejora significativamente la resistencia a la costura del cuero peletero ovino. El tratamiento con ácido fórmico (patrón) presentó una resistencia media (877.1 N/cm²), lo que indica que, aunque cumple con la norma, su desempeño es inferior a los tratamientos con ácido acético a pH 2.5 y mayor densidad de la solución.

4.5.2. Resistencia a la tracción de cuero peletería de ovino bebe

La tabla 12 presenta los valores de resistencia a la tracción de pieles en función del pH y la densidad de la solución del piquelado expresada en grados Baumé (°Be). Se evaluaron cuatro combinaciones experimentales y un tratamiento patrón, con la norma técnica peruana NTP 291.037 estableciendo un valor mínimo de resistencia de 980 N/cm².

Tabla 12. Resistencia a la tracción (N/cm²) para cuero peletería de piel de ovino bebe

pH	(°Be)	\bar{x}	DS	CV (%)	*	NTP 291.037
3.5	9	1248.25	111.37	8.92	c	980(N/cm ²) mínimo
2.5	9	1060.55	47.59	4.49	c	
3.5	12	1863.50	50.35	2.70	b	
2.5	12	2230.40	127.21	5.70	a	
Patrón		1699.80	143.12	8.42		

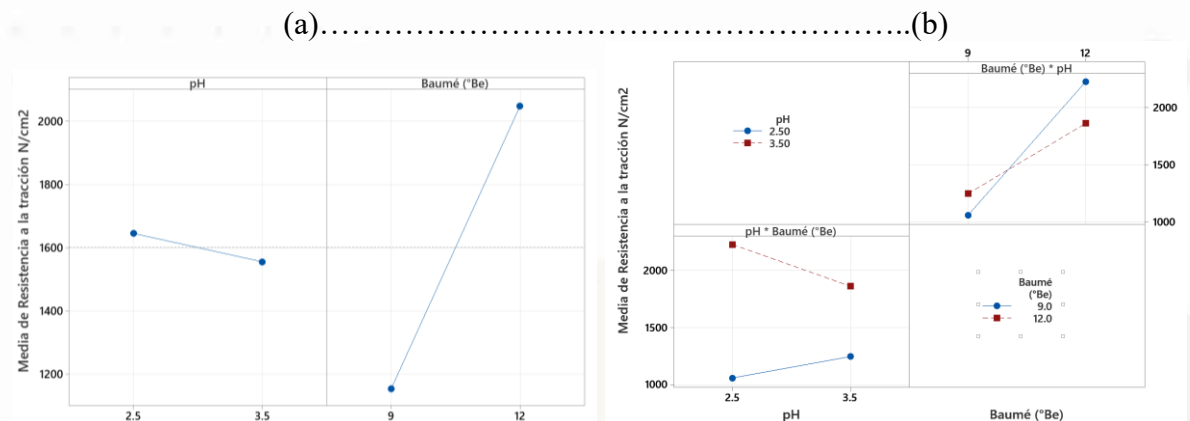
Donde: \bar{x} es la media aritmética; DS es la desviación estándar; CV% es coeficiente de variabilidad y, * muestra significancia; y diferentes letras seguidas indican una diferencia significativa, evaluada con la prueba de Tukey con un 95% de confianza.

En los resultados (Tabla 12), se observa que la resistencia más alta se obtuvo con el tratamiento de pH 2.5 y 12 °Be (2230.40 N/cm²), seguido por el tratamiento con pH 3.5 y 12 °Be (1863.50 N/cm²). Ambos valores superan significativamente el mínimo normativo. En contraste, los tratamientos con 9 °Be presentaron menores valores de resistencia (1248.25 N/cm² para pH 3.5 y 1060.55 N/cm² para pH 2.5), aunque aún cumplen con la norma.

Las gráficas de efectos principales (Figura 19 (a)) indican que la resistencia a la tracción aumenta con el incremento del Baumé, mientras que el efecto del pH es menos marcado, aunque se observa una ligera tendencia a mejores resultados con pH 2.5. La gráfica

de interacción (Figura 19 (b)) refuerza estos hallazgos, evidenciando que la combinación óptima para maximizar la resistencia a la tracción es pH 2.5 y 12 °Bé. El tratamiento patrón, basado en ácido fórmico, presenta una resistencia intermedia (1699.80 N/cm²), lo que indica que, aunque es adecuado, el proceso con ácido acético a pH 2.5 y mayor densidad de la solución ofrece mejores propiedades mecánicas.

Figura 19. Efectos principales e interacción de factores para la resistencia a la tracción de cuero peletería de ovino bebe



Nota: (a) es efectos principales y (b) es la interacción de factores

4.5.3. Porcentaje de alargamiento a la rotura de cuero peletería de ovino bebe

La tabla 13 muestra los valores de alargamiento a la rotura (%) del cuero en función del pH y la densidad de la solución del piquelado (°Bé). La norma técnica peruana NTP 291.037 establece un mínimo del 15%, lo cual indica que todos los tratamientos cumplen ampliamente con este requisito.

En los resultados, se observa que el mayor alargamiento a la rotura se obtuvo con el tratamiento de pH 2.5 y 12 °Bé (46.17%), seguido por pH 3.5 y 12 °Bé (45.22%). Los tratamientos con 9°Bé presentaron valores ligeramente inferiores, con 40.54% para pH 2.5 y 40.25% para pH 3.5. El tratamiento patrón, basado en ácido fórmico, mostró el menor alargamiento (34.81%), aunque dentro del rango aceptable.

Las gráficas de efectos principales (Figura 20 (a)) indican que el alargamiento a la rotura es mayor cuando se emplea una mayor concentración salina en la solución de piquelado (12 °Bé), mientras que el efecto del pH es menos pronunciado. La gráfica de interacción (Figura 20 (b)) confirma que el principal factor que influye en el alargamiento es

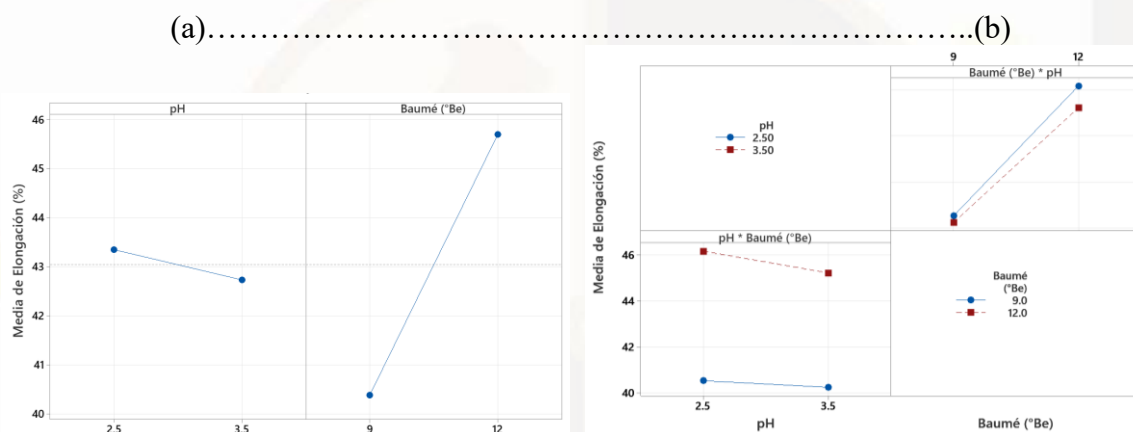
la densidad de la solución, ya que los valores aumentan de manera significativa con el incremento del Baumé, sin una interacción notable con el pH.

Tabla 13. Alargamiento a la rotura (%) para cuero peletería de piel de ovino bebe

pH	(°Be)	Media	DS	CV (%)	*	NTP 291.037
3.5	9	40.25	1.62	4.01	a	15% mínimo
2.5	9	40.54	0.63	1.55	a	
3.5	12	45.22	4.58	10.13	a	
2.5	12	46.17	1.31	2.83	a	
Patrón		34.81	1.70	4.90		

Donde: \bar{x} es la media aritmética; DS es la desviación estándar; CV% es coeficiente de variabilidad y, * muestra significancia; y diferentes letras seguidas indican una diferencia significativa, evaluada con la prueba de Tukey con un 95% de confianza.

Figura 20. Efectos principales e interacción de factores para alargamiento a la rotura de cuero peletería de ovino bebe



Nota: (a) es efectos principales y (b) es la interacción

4.6. Aspectos alcanzados y conclusiones

El estudio realizado en pieles de ovino bebé demostró que la calidad del cuero depende críticamente de las condiciones de piquelado, específicamente del pH y la concentración de salmuera. Los resultados revelaron que la combinación de pH 2.5 y 12 °Be generó los mejores resultados, alcanzando una resistencia a la costura de 1525.3 N/cm², una resistencia a la tracción de 2230.4 N/cm² y un alargamiento a la rotura del 46.17%, superando ampliamente los requisitos de la norma NTP 291.037. Contrariamente, el tratamiento con pH 3.5 y 9°Be mostró un desempeño inferior, aunque aún dentro de los límites aceptables.

Un hallazgo clave fue la superioridad del ácido acético frente al ácido fórmico (patrón), ya que no solo mejoró las propiedades mecánicas del cuero, sino que también redujo la variabilidad en los resultados, lo que sugiere un proceso más estable y reproducible. Además, se observó que la concentración de salmuera (12°Bé) tuvo un impacto más significativo que el pH en el alargamiento a la rotura, mientras que la interacción de ambos factores optimizó la resistencia mecánica.

Estos resultados tienen implicaciones prácticas importantes para la industria peletera, ya que validan un protocolo de piquelado más eficiente y sostenible. La adopción de pH 2.5 y 12°Bé con ácido acético no solo garantiza cueros de alta calidad, sino que también reduce la dependencia de productos químicos tradicionales como el ácido fórmico. Se recomienda implementar estas condiciones en procesos industriales para mejorar la competitividad del producto final, asegurando un equilibrio óptimo entre rendimiento, normativas técnicas y demanda del mercado.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abebe, A., Goshu, G., Bisrat, A., Zewdie, T., Bekele, T., Getachew, T., Abebe, A., Goshu, G., Bisrat, A., Zewdie, T., Bekele, T., & Getachew, T. (2024). Effects of Concentrate Supplementation on Skin Quality Attributes in Crossbred Sheep. In *Latest Scientific Findings in Ruminant Nutrition—Research for Practical Implementation*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1004720>
- Adzet, J. M., Ballestre, B. J., Budo, S. J. M., Bunyol, N. R., Clota, F. P., Gasso, S. R., Gili, B. X., Gratacos, M. E., Palomas, S. J. M., Rodellino, E. L., Romera, P. E., Serra, C. E., & Soler, S. J. (1985). *Química técnica de tenería*. Editorial Romanya/ Valls.
- Angelinetti, R. A., & Lacour, N. A. (1983). *I curso nacional de tecnología del cuero. Lima-Perú*.
- Barbe, J. (2013). *La historia del curtido del cuero*. Maharam. https://www.maharam.com/stories/barbe_the-history-of-leather-tanning
- Braid, P. E. (1998). *Capítulo: CUERO, PIELES Y CALZADO/ INDUSTRIA PELETERA*. Gestión editorial Chantal Dufresne, BA. <https://www.insst.es/documents/94886/161971/Cap%C3%ADtulo+88.+Cuero,+piel+es+y+calzado>
- Cajahuanca, G. T. (2020). *CONSERVACIÓN DE PIELES / CURTIEMBRE RURAL*. <https://es.scribd.com/document/473383340/CONSERVACION-DE-PIELES-Autoguardado-222-docx>
- Chamorro, C. (2023, November 14). Conociendo a los camélidos de América del Sur: Una familia de mamíferos que posee una fascinante capacidad de adaptación. *Explora Hotels*. <https://www.explora.com/es/2023/11/03/mas-de-10-anos-explorando-los-misterios-del-desierto-de-atacama-2/>
- Cueronet. Com.* (n.d.). Copyright © Cueronet.Com. Retrieved August 3, 2025, from <https://cueronet.com/flujograma/neutralizado.htm>
- FAO - COMITÉ DE PROBLEMAS DE PRODUCTOS BÁSICOS (ME/HS 2001). (2001). <https://www.fao.org/4/Y0590s/Y0590s.htm>
- Frankel, A. (1991). *Tecnología del cuero*. Editorial Albatros.

- Gaidau, C., Amanatidou, E., & TONEA, S. (2022). Fur Skin – A Valuable Material, Considerations on Quality Assessment. *ResearchGate*.
<https://doi.org/10.24264/lfj.22.2.5>
- Ghosh, S. K. (2018). *Waste Management and Resource Efficiency: Proceedings of 6th IconSWM 2016*. Springer.
- Gómez Allca, C. (1997). *Preservación y Conservación de Pieles de Camélidos*. Instituto Nacional de Investigación Agraria.
<https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/977>
- Griyanitasari, G., Rahmawati, D., Sugihartono, & Erwanto, Y. (2020). Cleaner sheep leather tanning process using uncaria gambir: The influence of rebating on leather properties. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1524/1/012011>
- Huaman, V., & Bustinza, A. (1998). *Obtención del Box-Calf a partir de la piel de alpaca adulta* [Tesis para optar el título de Ingeniero Químico]. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Kizilkaya, G. (1993). *Pocket Book-for the Leather Technologist* (Fourth edition). BASF.
https://www.academia.edu/32384925/Book_for_Leather_BASF_pdf
- Mamani-Cato, R. H., Condori-Rojas, N., Huacani-Pacori, F. M., Mamani, V. M. C., Mamani-Cato, R. H., Condori-Rojas, N., Huacani-Pacori, F. M., & Mamani, V. M. C. (2022). Parámetros productivos del ovino criollo. *Manglar*, 19(1), 77–84.
<https://doi.org/10.17268/manglar.2022.010>
- Megías, M., Molist, P., & Pombal, M. (2023). *Atlas de histología vegetal y animal*.
https://mmegias.webs.uvigo.es/2-organos-a/guiada_o_a_04tegumento.php
- Melgar O, D. (2000). *Tecnología en el cuero Tomo I Procesos de curtición control de calidad y maquinarias* (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo). Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. <https://repositorio.promperu.gob.pe/items/8a34e3ab-2a77-4c8d-b532-6e919f5090a4>
- Pat@MontanaLeatherCompany. (2023, January 3). History of Leather Tanning: How It All Started. *Montana Leather Company*. <https://www.montanaleather.com/history-of-leather-tanning-how-it-all-started/>
- Perinat, M. de. (2009). *De la materia prima a la piel transformada* (EDYM, España 2009).
https://www.edym.net/Confeccion_en_piel_gratis/index01.html

Trejo, W. (1993). *Tecnología del cuero II Departamento de Producción Animal-Programade Ovino y camélidos Americanos (POCA).*



