

**Franklin Lozano Cusi**

# **TRANSFORMACIÓN TEXTIL**

**BLANQUEAMIENTO DE FIBRAS  
NATURALES DE ALPACA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
MICAELA BASTIDAS  
DE APURÍMAC**

Licenciada por SUNEDU

**Atena**  
Editora  
**Ano 2025**





**Franklin Lozano Cusi**

# **TRANSFORMACIÓN TEXTIL**

**BLANQUEAMIENTO DE FIBRAS  
NATURALES DE ALPACA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
MICAELA BASTIDAS  
DE APURÍMAC**

Licenciada por SUNEDU

**Atena**  
Editora  
**Ano 2025**



**Editor en jefe**

Prof. Dra. Antonella Carvalho de Oliveira

**Editor ejecutivo**

Natalia Oliveira Scheffer

**Asistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecario**

Janaina Ramos

**Diseño gráfico**

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

Vilmar Linhares de Lara Junior

**Imágenes de portada**

iStock

**Edición de arte**

Yago Raphael Massuqueto Rocha

2025 por Atena Editora

Copyright © 2025 Atena Editora

Copyright del texto © 2025, el autor

Copyright © 2025, Atena Editora

Los derechos de esta edición han sido cedidos a Atena Editora por el autor.

*Publicación en acceso abierto de Atena Editora*

El contenido íntegro de este libro está sujeto a la licencia Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Atena Editora mantiene un firme compromiso con la integridad editorial en todas las etapas del proceso de publicación, garantizando el estricto cumplimiento de las normas éticas y académicas. Adopta políticas para prevenir y combatir prácticas como el plagio, la manipulación o falsificación de datos y resultados, así como cualquier interferencia indebida de intereses financieros o institucionales. Cualquier sospecha de mala conducta científica se trata con la máxima seriedad y se investigará de acuerdo con las normas más estrictas de rigor académico, transparencia y ética.

El contenido de la obra y sus datos, en términos de forma, corrección y fiabilidad, son de exclusiva responsabilidad del autor y no representan necesariamente la posición oficial de Atena Editora. Se permite descargar, compartir, adaptar y reutilizar esta obra para cualquier propósito, siempre que se atribuya la autoría y se haga referencia al editor, de acuerdo con los términos de la Licencia Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Los artículos nacionales fueron sometidos a una revisión ciega por pares por parte de miembros del Consejo Editorial de la editorial, mientras que los internacionales fueron evaluados por árbitros externos. Todos fueron aprobados para su publicación con arreglo a criterios de neutralidad e imparcialidad académicas.

## Transformación textil: blanqueamiento de fibras naturales de alpaca

**Autor:** Franklin Lozano Cusi  
**Revisión:** Autor  
**Diagramación:** Thamires Camili Gayde  
**Portada:** Yago Raphael Massuqueto Rocha  
**Indexación:** Amanda Kelly da Costa Veiga

Datos de catalogación en publicación internacional (CIP)	
C986	<p>Cusi, Franklin Lozano            Transformación textil: blanqueamiento de fibras naturales de alpaca / Franklin Lozano Cusi. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2025.</p> <p>Formato: PDF            Requisitos del sistema: Adobe Acrobat Reader            Modo de acceso: World Wide Web            Incluye bibliografía            ISBN 978-65-258-3556-3            DOI: <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.563250107">https://doi.org/10.22533/at.ed.563250107</a></p> <p>1. Procesos en el sector textil. I. Cusi, Franklin Lozano.            II. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 677.028</p>
Preparado por Bibliotecario Janaina Ramos – CRB-8/9166	

**Editorial Atena**  
 Ponta Grossa - Paraná - Brasil  
 +55 (42) 3323-5493  
 +55 (42) 99955-2866  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## DECLARACIÓN DEL AUTOR

A efectos de la presente declaración, el término "autor" se utiliza de forma neutra, sin distinción de género ni de número, a menos que se indique lo contrario. Asimismo, el término "obra" se refiere a cualquier versión o formato de creación literaria, incluidos, entre otros, artículos, libros electrónicos, contenidos en línea, de acceso abierto, impresos y comercializados, independientemente del número de títulos o volúmenes. El autor de esta obra declara, a todos los efectos, que 1. no tiene ningún interés comercial que pueda constituir un conflicto de intereses en relación con la publicación; 2. ha participado activamente en la elaboración del trabajo; 3. el contenido está libre de datos y/o resultados fraudulentos, se ha informado debidamente de todas las fuentes de financiación y se han citado y referenciado correctamente los datos e interpretaciones procedentes de otras investigaciones; 4. no tiene ningún interés comercial que pueda constituir un conflicto de intereses en relación con la publicación. Autoriza plenamente la edición y publicación, incluidos los registros legales, la producción visual y gráfica, así como el lanzamiento y la difusión, de acuerdo con los criterios de Atena Editora; 5. declara ser consciente de que la publicación será de acceso abierto, y podrá ser compartida, almacenada y puesta a disposición en repositorios digitales, de acuerdo con los términos de la Licencia Internacional Creative Commons Reconocimiento 4.0 (CC BY 4.0). 6. se responsabiliza plenamente del contenido del trabajo, incluida la originalidad, la veracidad de la información, las opiniones expresadas y cualquier implicación legal derivada de la publicación.

## DECLARACIÓN DEL EDITOR

Atena Editora declara, a todos los efectos legales, que: 1. esta publicación está bajo licencia Creative Commons Attribution 4.0 International Licence (CC BY 4.0), que permite copiar, distribuir, exhibir, ejecutar, adaptar y crear obras derivadas para cualquier propósito, incluso comercial, siempre que se dé el debido crédito al autor o autores y a la editorial. Esta licencia sustituye la lógica de cesión exclusiva de los derechos de autor prevista en la Ley 9610/98, aplicando los principios del acceso abierto; 2. Los autores conservan íntegramente los derechos de autor y se les anima a difundir la obra en repositorios institucionales y plataformas digitales, siempre con la debida atribución de autoría y referencia a la editorial, de acuerdo con los términos de CC BY 4.0; 3. La editorial se reserva el derecho de poner a disposición la publicación en su sitio web, app y otras plataformas, así como de vender ejemplares impresos o digitales, cuando proceda. En los casos de comercialización directa (a través de librerías, distribuidores o plataformas colaboradoras), la cesión de los derechos de autor se realizará de acuerdo con las condiciones establecidas en un contrato específico entre las partes; 4. De acuerdo con la Ley General de Protección de Datos (LGPD), la editorial no cede, comercializa ni autoriza el uso de los datos personales de los autores para fines que no estén directamente relacionados con la difusión de esta obra y su proceso editorial.

**Consejo Editorial****Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras

Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia

Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa

Prof. Dr. Edevaldo de Castro Monteiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul

Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes – Universidade Federal de Goiás

Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>4</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>5</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
Descripción del problema.....	1
Enunciado del problema.....	1
Problema general .....	1
Problema específico .....	1
Justificación de la investigación .....	2
<b>OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....</b>	<b>3</b>
Objetivos de la investigación .....	3
Objetivo general .....	3
Objetivos específicos.....	3
Hipótesis de la Investigación .....	3
Hipótesis general .....	3
Hipótesis específicas .....	3
Operacionalización de variables .....	3
Variables dependientes.....	3
Variables independientes .....	4
<b>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL .....</b>	<b>5</b>
Antecedentes.....	5
Blanqueamiento de fibra con peróxido de hidrógeno .....	5
Cuantificación del color CIE $L^*a^*b^*$ .....	5
Porcentaje de medulación .....	5
Diámetro medio de fibra .....	6
Marco teórico .....	7
La alpaca .....	7
Fibra de alpaca.....	8



Componentes estructurales de la fibra .....	8
Desarrollo de la médula a nivel folicular .....	12
Métodos de evaluación del porcentaje de medulación .....	13
Factores que determinan la calidad de la fibra .....	14
Porcentaje de medulación y DMF .....	14
Composición química de la fibra .....	16
Colores de fibra de alpaca .....	16
Pigmentación .....	17
Colorimetría .....	18
Despigmentación de la fibra .....	20
Peróxido de hidrógeno .....	21
Crema oxigenada marca Faire Bon 40 vol .....	23
Marco conceptual .....	23
<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>25</b>
Tipo y nivel de investigación .....	25
Tipo de investigación .....	25
Nivel de investigación .....	25
Diseño de la investigación .....	25
Para el proceso de decoloración y colorimetría .....	25
Para porcentaje de medulación .....	26
Para diámetro medio de fibra .....	27
Descripción ética de la investigación .....	28
Población y muestra .....	28
Población .....	28
Tamaño de muestra .....	28
Procedimiento .....	28
Toma de muestra de fibra.....	28

Lavado de fibras .....	29
Decoloración de fibra .....	29
Cuantificación de color por colorimetría .....	30
Porcentaje de fibras meduladas .....	30
Diámetro medio de fibra .....	30
Técnica e instrumentos.....	31
Decoloración de fibra.....	31
Microscopía .....	31
Equipos y materiales .....	31
Análisis estadístico .....	32
<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>33</b>
Análisis de resultados.....	33
Decoloración de fibra con peróxido de hidrógeno .....	33
Porcentaje de fibras meduladas y error estándar en alpaca de color.....	36
Diámetro medio de fibra en alpacas de color .....	39
Contrastación de hipótesis .....	40
Hipótesis general .....	40
Hipótesis específico.....	40
Discusiones .....	40
Cuantificación de color .....	40
Porcentaje de medulación .....	42
Diámetro medio de fibra de alpaca .....	42
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>44</b>
Conclusiones.....	44
Recomendaciones .....	44
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>45</b>
<b>AUTOR.....</b>	<b>55</b>

A nivel mundial existen varias fibras de uso textil entre ellos está el Mohair, Angora, Cachemira, Alpaca, Llama, Vicuña entre otros. Perú es el país productor de fibra de alpaca en mayor cantidad, por ello es necesario conocer los factores que determinan la calidad de la fibra como el porcentaje de medulación y el diámetro medio de fibra. Las comunidades alto andinas del Perú, se dedican a la crianza de alpacas que producen una amplia gama de colores naturales, desde el blanco, marrón con varias tonalidades y negro (Oria et al., 2009).

La variabilidad de la pigmentación se debe a la presencia de melanina, que se encuentra en forma de gránulos localizado principalmente en la corteza y en la médula de la fibra (Wang et al., 2005). Estos pigmentos se forman a partir de la oxidación secuencial de la tirosina y se dividen en eumelanina y feomelanina, el primero produce una pigmentación de negro a marrón oscuro y el segundo produce la pigmentación marrón claro (Cieslak et al., 2011; Sponenberg et al., 1998).

Las fibras pigmentadas mantienen menores precios en el mercado de la industria textil, debido a la presencia de pigmento de melanina y requieren un proceso químico de blanqueo para eliminar el pigmento oscuro (Liu et al., 2003). El agente blanqueador común es el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) en concentraciones mínimas, pero a mayor concentración podría dañar la estructura de la fibra (Liu et al., 2003; Montazer et al., 2009). El porcentaje de medulación se analiza con microscopio de proyección. En fibras blancas es fácil de observar, en cambio las fibras de color negro y marrón oscuro tienen que blanquearse necesariamente usando métodos químicos (Carpio, 1991).

Esta investigación se aborda la decoloración, cuantificación por colorimetría, caracterización de fibras meduladas y diámetro medio de fibra en alpacas de color blanco, negro y marrón. En consecuencia, este estudio ayudara a determinar la calidad de fibra blanca y de color en la Comunidad Campesina de Ssonccoccocha, Distrito de Oropesa, Provincia de Antabamba.

El objetivo de la investigación fue determinar la eficiencia del peróxido de hidrógeno en la decoloración de la fibra de alpaca Huacaya y evaluar el porcentaje de medulación usando Microscopio de Proyección. Para el decolorado de fibra (2 g) se usó peróxido de hidrógeno 40vol (crema oxigenada) y polvo decolorante (High lift de 9 tonos) en una proporción de 2 a 1. La luminosidad ( $L^*$ ) se evaluó mediante colorimetría (PCE-CSM7) a los 5, 10, 35, 70 y 105 minutos de blanqueo en fibras negras; 35 y 70 minutos en marrón. La luminosidad inicial en fibra negra fue de  $5.19 \pm 1.78$  incrementando hasta  $86.60 \pm 1.49$  a los 105 minutos, asimismo en fibra marrón la luminosidad inicial fue  $43.18 \pm 10.47$  incrementando hasta  $86.92 \pm 1.50$  a los 70 minutos, estos valores resultaron igual a la luminosidad de la fibra blanca ( $87.14 \pm 1.43$ ). La medulación de fibra negra se analizó a los 10 minutos de tratamiento, en cambio la fibra marrón y blanco se analizaron sin ningún tratamiento. En alpacas negras las fibras meduladas fueron:  $38.54 \pm 1.98\%$  con médula fragmentada,  $18.77 \pm 1.58\%$  con médula discontinua,  $17.43 \pm 1.53\%$  con médula continua y  $1.05 \pm 0.4\%$  fuertemente medulada. La medulación total  $\pm$  EE fue de  $75.81 \pm 1.72\%$  similar al marrón ( $72.55 \pm 1.78\%$ ) y superior al blanco ( $50.77 \pm 1.97\%$ ). Según sitio de muestreo (paleta, costillar medio y grupa) el porcentaje de medulación en fibra de alpaca Huacaya fue similar. Por otra parte, el diámetro medio de fibra en alpaca negra y marrón fue similar, siendo más grueso que el blanco ( $P < 0.05$ ). En conclusión, el porcentaje de medulación y el diámetro medio de fibra, demuestra menor calidad en alpaca negra comparado con el blanco.

**Palabras-clave:** melanina, alpaca negra, alpaca marrón, blanqueo, medulación.

The objective of the research was to evaluate the efficiency of hydrogen peroxide in the discoloration of black and brown Huacaya alpaca fiber, in addition to characterizing the percentage of pith using a Projection Microscope. For fiber bleaching (2 g), 40 vol hydrogen peroxide (oxygenated cream) and bleaching powder (High lift of 9 tones) were used in a ratio of 2 to 1. Lightness ( $L^*$ ) was evaluated by colorimetry (PCE -CSM7) at 5, 10, 35, 70 and 105 minutes of bleaching in black fibers; 35 and 70 minutes in brown. Where the initial luminosity in black fiber was  $5.19 \pm 1.78$  increasing to  $86.60 \pm 1.49$  at 105 minutes, different in brown fiber the initial luminosity was  $43.18 \pm 10.47$  increasing to  $86.92 \pm 1.50$  at 70 minutes, these values were equal to the luminosity of the white fiber ( $87.14 \pm 1.43$ ). The black fiber medulla was analyzed after 10 minutes of bleaching, while the brown and white fibers were analyzed without bleaching. In black alpacas, the medullated fibers were:  $38.54 \pm 1.98\%$  with fragmented medulla,  $18.77 \pm 1.58\%$  with discontinuous medulla,  $17.43 \pm 1.53\%$  with continuous medulla and  $1.05 \pm 0.4\%$  hard pith. Total pith  $\pm$  SE was  $75.81 \pm 1.72\%$  similar to brown ( $72.55 \pm 1.78\%$ ) and higher than white ( $50.77 \pm 1.97\%$ ). According to the sample site (shoulder, middle rib and rump) the percentage of medullation in Huacaya alpaca fiber was similar. On the other hand, the mean fiber diameter in black and brown alpaca was similar, being thicker than white ( $P < 0.05$ ). In conclusion, the percentage of pith and the average fiber diameter show lower quality in black alpaca compared to white.

**Keywords:** melanin, black alpaca, brown alpaca, bleaching, medullation.



# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1 | DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La fibra de alpaca es un producto de sustento económico para los pobladores alto andinos de la región de Apurímac. En los últimos años la demanda de fibra blanca se incrementó, razón por la cual los alpaqueros incrementaron la población de alpacas blancas. Esta tendencia de blanqueo de fibra conllevó a la disminución de las poblaciones de alpacas de color negro y marrón (Oria et al., 2009). En Apurímac existe escasos estudios en cuanto a la determinación de calidad de fibra de alpaca (Narváez, 2019; Machaca et al. 2017; Vásquez et al., 2015), a pesar de que la región es una de las principales productoras de alpacas con mayor diversidad de colores (Ccaccya et al., 2014), es limitado el estudio del porcentaje de medulación y diámetro medio de fibra (DMF) en alpacas negras y marrones oscuros, debido al alto contenido de pigmento de melanina que dificulta el análisis microscópico de la médula (Carpio 1991).

La calidad de la fibra disminuye en alpacas de color oscuro, el diámetro medio de fibra es más gruesa en alpacas negras (Oria et al., 2009; Aruquipa, 2015; Nina, 2017), la cual se relaciona con mayor porcentaje de fibras meduladas (McGregor, 2006). Para la caracterización de fibras meduladas en alpacas de color negro aún no se cuenta con un método estandarizado, por ello alternativamente se ha propuesto un método químico de blanqueamiento en la fibra de color (negro y marrón) usando el peróxido de hidrógeno (Liu et al., 2003). La metodología a usar consiste en un proceso de despigmentación de la fibra con peróxido de hidrogeno en presentación de crema oxigenada, posterior a ello la evaluación del porcentaje de fibras meduladas usando el microscopio de proyección, de esta forma se caracterizará la calidad de fibra de color en cuanto al porcentaje de medulación y diámetro.

## 2 | ENUNCIADO DEL PROBLEMA

### 2.1 Problema general

¿Cuál es la eficiencia del peróxido de hidrógeno en la decoloración de fibra negra y marrón de alpaca Huacaya y cómo influye en el análisis microscópico del porcentaje de medulación?

### 2.2 Problema específico

- ¿Cuál es la eficiencia del peróxido de hidrógeno en la decoloración de la fibra negra y marrón en alpaca Huacaya, cuantificados mediante colorimetría?
- ¿Cuál es la variación del porcentaje de medulación en alpaca Huacaya negro, marrón y blanco, según sitio de muestreo analizados con Microscopio de Proyección?

- ¿Cuál es la variación del diámetro medio de fibra (DMF) en alpaca Huacaya negro, marrón y blanco?

## 2.3 Justificación de la investigación

El mercado nacional y extranjero cada vez más exige calidad de fibra blanca y de color, por esta razón se ha priorizado el estudio del diámetro medio de fibra (DMF) y el porcentaje de fibras meduladas en alpacas blancas y de color (negro y marrón), sabiendo que los pobladores alto andinos de la región Apurímac se dedican a la crianza de alpacas la cual es un sustento económico.

Las fibras de color fueron poco estudiadas debido al bajo precio y menor interés en la crianza de alpacas por parte de los pobladores alto andinos. Actualmente los consumidores buscan productos ecológicos de calidad y prendas confeccionadas de fibras de color natural debido a que las prendas teñidas suelen causar algunos problemas alérgicos en la piel, por la presencia de componentes químicos e industriales.

Los resultados del presente estudio servirán como referencia para nuevas investigaciones relacionados con la metrología de fibra y con el mejoramiento genético de alpacas de color. Asimismo, la investigación contribuirá al mejoramiento de la calidad textil de fibra de color sabiendo el diámetro medio de fibra y el porcentaje de medulación. Por otro lado, contribuirán indirectamente en la conservación de la diversidad de alpacas de color en la región de Apurímac.

# OBJETIVOS E HIPÓTESIS

## 1 | OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1 Objetivo general

Determinar la eficiencia del peróxido de hidrógeno en la decoloración de fibra de alpaca Huacaya y evaluar el porcentaje de medulación usando Microscopio de Proyección.

### 1.2 Objetivos específicos

- Determinar la eficiencia del peróxido de hidrógeno en la decoloración en fibra negra y marrón de alpaca Huacaya usando el colorímetro PCE-CSM7.
- Evaluar el porcentaje de medulación en fibra de alpaca Huacaya según color (negro, marrón y blanco) y sitio de muestreo (paleta, costillar medio y grupa) usando Microscopio de Proyección.
- Determinar el diámetro medio de fibra en alpaca Huacaya según color (negro, marrón y blanco).

## 2 | HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

### 2.3 Hipótesis general

El peróxido de hidrógeno es eficiente en la decoloración y el porcentaje de medulación varía según sitio de muestreo en fibras de color (negro y marrón).

### 2.4 Hipótesis específicas

- El peróxido de hidrógeno y el polvo decolorante actúan eficientemente en la despigmentación de la fibra negra y marrón, al cuantificar con el colorímetro PCE CSM7.
- El porcentaje de medulación varía en fibra de alpaca Huacaya, según color (negro, marrón y blanco) y sitio de muestreo (paleta, costillar medio y grupa).
- El diámetro medio de fibra varía en fibra de alpaca Huacaya según color (negro, marrón y blanco).

## 3 | OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

### 3.5 Variables dependientes

Las variables dependientes en este estudio son luminosidad, porcentaje de medulación y el diámetro medio de fibra.

Variables dependientes	Indicador	Unidad de medida
Porcentaje de medulación (PMF)	(MF, MD, MC y FM)	%
Diámetro medio de fibra (DMF)	Finura	$\mu\text{m}$
Luminosidad ( $L^*$ )	Blancura	0-100

Tabla 1 — Variables dependientes

### 3.6 Variables independientes

Las variables independientes o factores que fueron considerados en este estudio son color de fibra (negro, marrón y blanco,) y sitio de muestreo (paleta, costillar medio y grupa).

Variables independientes	Indicador	Unidad de medida
Color de fibra	Negro	$L^*a^*b^*$
	Marrón	$L^*a^*b^*$
	Blanco	$L^*a^*b^*$
Sitio de muestreo	Paleta	-
	Costillar medio	-
	Grupa	-
Tiempo de decolorado	Cambio de color	minutos

Tabla 2 — Variable independiente

# MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

## 1 | ANTECEDENTES

### 1.1 Blanqueamiento de fibra con peróxido de hidrógeno

Montazer et al. (2009) en el trabajo de investigación “despigmentación de lana pigmentada” usó mordiente sulfato de hierro a 80°C por 1 hora y el decolorado se realizó con 30% de peróxido de hidrógeno, 60°C por 90 minutos a un pH de 9.5. La luminosidad ha aumentado significativamente en 90 minutos.

Liu et al. (2003) en su trabajo de investigación “análisis comparativo de dos métodos de blanqueamiento selectivo en fibras de alpaca” usó sulfato ferroso heptahidratado 10g/l como mordiente (pH de 2.9) a 80°C por 60 minutos. En el método I se blanqueó con peróxido de hidrógeno a 14g/l, pH de 6.7 a 68°C por un tiempo de 80 minutos, en el método II se blanqueó, con peróxido de hidrógeno a 28g/l, pH de 8.3 a 70°C por un tiempo de 50 minutos. Estos autores concluyen que el método II fue mejor que el método I mostrando una claridad de color mucho mejor en profundidades pálidas; sin embargo, la solidez al lavado del producto terminado no fue lo suficientemente buena para mantener la profundidad o claridad del color.

En otro trabajo de investigación denominado efecto de blanqueo de lana negra de tunecina se usó el peróxido de hidrógeno al 30% p/v. La luminosidad inicial de  $58.5 \pm 3.4$  incrementó a  $79.7 \pm 5.4$ , luego de 90 minutos (Bouagga et al., 2020).

### 1.2 Cuantificación del color CIE L\*a\*b\*

La fibra de alpaca negra tiene menor luminosidad que la fibra de alpaca marrón y blanco. Pinares et al. (2021) reportaron una luminosidad de  $29.85 \pm 03.78$  en alpacas marrón claro y  $19.02 \pm 05.10$  en alpacas de color negro. En la misma población de alpacas Cruz et al. (2021) reportaron similares valores, luminosidad en fibra blanca de  $87.1 \pm 3.97$ , en fibra marrón  $31.4 \pm 4.97$  y en fibra negra  $17.40 \pm 1.09$ . En alpacas provenientes de Huancavelica la luminosidad en blanco de 73.58, en color crema de 62.36, en marrón 36.25 y en alpaca negro 17.23 (Guridi et al., 2011). Lupton et al. (2006) también reportó una luminosidad de 70.0 en alpacas blancas, 56.54 en gris y 64.52 en marrón.

### 1.3 Porcentaje de medulación

Radzik-Rant y Wiercinska (2021) en un trabajo análisis de las características de grosor y medulación de la fibra en función al sexo y color en alpacas de Polonia, reportaron aalto porcentaje de medulación en fibras marrones ( $79.44 \pm 3.27\%$ ) con un diámetro medio de  $27.16 \pm 0.89 \mu\text{m}$ , mientras que en alpacas blancas el porcentaje de medulación fue  $58.39 \pm 4.48\%$  con  $23.45 \pm 1.22 \mu\text{m}$ , estos autores concluyeron que las alpacas blancas tienen fibra más fina que las alpacas de marrones.



Aruquipa (2015) en un estudio de evaluación de la calidad de fibra de alpaca Huacaya en dos comunidades de Bolivia, concluyó que la fibra negra presenta mayor porcentaje de medulación y diámetro medio de fibra comparado con las blancas. El porcentaje de medulación para alpacas blancas fue 25.47% con  $21.57\mu\text{m}$ , en alpacas marrón fue 26.86 % con  $22.42\mu\text{m}$  y en negra fue 27.92 % con  $22.58\mu\text{m}$ .

Guillen y Leiva (2020) en un trabajo de investigación denominado efecto de medulación en vellones de alpaca Huacaya hembra categorizó las fibras según médula completa (27.3%), partida (22.08%) y sin médula (17.23%), donde el diámetro medio de fibra ( $19.91\mu\text{m}$ ) incrementa con la presencia de la médula y disminuye con la ausencia, concluyendo que la medulación causa variación en el diámetro de fibras.

Pinares et al. (2019) en un estudio con 36 alpacas machos blanco de diferentes edades reportaron alto porcentaje total de medulación promedio  $\pm$  EE ( $67.44 \pm 1.74$ ) con un diámetro medio de fibra de  $22.16\mu\text{m}$ . por otra parte, Carpio (1978) en un análisis de porcentaje de medulación en alpacas Huacaya y Suri de 3 regiones según edades y sexo, indica una variación de 51.2% a 79.7% en alpacas del departamento de Arequipa, en Juliaca de 44.5% a 91.9% y en Puno de 26.7% a 50%.

Contreras (2010) en su trabajo de investigación denominado estructura y características de fibra de alpaca realizado en el departamento de Huancavelica con 248 animales de diferentes edades y sexo determinó el porcentaje de medulación de  $71.14 \pm 3.10\%$  en con un rango de variación de  $49.51 \pm 5.49\%$  hasta  $96.5 \pm 8.6\%$ , esta variación se debe a que los animales de menor edad presentan menor porcentaje de medulación y los animales de mayor edad mayor porcentaje de medulación.

Radzik-Rant et al. (2018) estudiaron las características de la fibra de alpaca ubicados en diferentes continentes (Australia, África y Europa), estos autores reportaron el porcentaje de medulación y **diámetro medio de fibra** en alpacas blancas machos y hembras, para Australia 53.56% y  $20.2\mu\text{m}$ , para el continente de África 51.73% y  $22.78\mu\text{m}$  y para el continente de Europa 52.84% y  $24.14\mu\text{m}$ , esta investigación fue.

## 1.4 Diámetro medio de fibra

Huanca et al. (2007) en una investigación de 550 alpacas en tres comunidades de Puno en tres regiones corporales del animal (paleta costillar medio y grupa) reportaron  $22.82\mu\text{m}$  en paleta,  $22.78\mu\text{m}$  costillar medio y  $22.63\mu\text{m}$  para grupa, sin diferencias estadísticas.

Machaca et al. (2017) en un análisis de 145 alpacas Huacaya de diferentes edades y sexo de Cotaruse- Apurímac reportaron para el color blanco ( $22.30 \pm 0.34\mu\text{m}$ ) de diámetro, color intermedio ( $23.81 \pm 0.66\mu\text{m}$ ) y en color oscuro ( $26.69 \pm 0.97\mu\text{m}$ ) diámetro, utilizadas el OFDA 2000 llegando a concluir que la edad, color de fibra y lugar de procedencia influyen en el diámetro medio de fibra.

Nina (2017) En el trabajo de investigación de 3190 alpacas Huacaya de diferentes edades y sexo realizados en Puno-Perú, menciona que el diámetro medio de fibra blanca es de  $20.17\mu\text{m}$ , en color café  $70.77\mu\text{m}$ , en fibras con dos colores a mas  $21.30\mu\text{m}$ , en color marrón y tonalidades  $21.18\mu\text{m}$  y en color negro  $25.25\mu\text{m}$ . concluyendo que no hubo diferencia significativa en cuanto a sexo ( $p > 0.05$ ), en cambio hubo diferencia significativa en cuanto a color y edad ( $p < 0.05$ ).

Vásquez et al. (2015) en una investigación de 405 alpacas Huacaya provenientes de las zonas alto-andinas de Apurímac a diferentes edades y sexo, determinó que el (DMF) en alpacas (DL) fue de  $17.8 \pm 0.2\mu\text{m}$ , en alpacas de (2D)  $19.7 \pm 0.3\mu\text{m}$ , en alpacas de (4D)  $20.7 \pm 0.3\mu\text{m}$  y en alpacas (BLL)  $22.1 \pm 0.3\mu\text{m}$ . concluyendo que existe una diferencia significativa en cuanto a edad y sexo del animal ( $p < 0.05$ ) y el diámetro aumenta con la edad del animal.

Oria et al. (2009) en un estudio de variabilidad de 2341 alpacas blancas y de color en Huancavelica, determino que el 66% son de color blanco y el 34% son de otros colores, el diámetro medio de fibra (DMF) en color blanco reportó  $22.45 \pm 0.53\mu\text{m}$ , color crema  $23.91 \pm 0.47\mu\text{m}$ , color café  $25.36 \pm 0.66\mu\text{m}$  y en negro  $27.1 \pm 1.27\mu\text{m}$ . Concluyendo que la calidad de la fibra de los animales de color es inferior a los animales de color blanco.

## 2 I MARCO TEÓRICO

### 2.1 La alpaca

La alpaca (*Vicugna pacos*) es un animal rumiante doméstico, su habitat alrededor de los 4000 m.s.n.m. en la parte alta de los andes. La crianza es por su fibra de alta calidad. La alpaca se clasifica en dos fenotipos: Huacaya y Suri, la diferencia está en la fibra, la Huacaya, se caracteriza por tener fibras finas, onduladas, rizada, compacta y esponjosa, en cambio la Suri se caracteriza por tener fibras más finas que la Huacaya, agrupadas en mechales rizadas y lacias (Lupton et al. 2006; Quispe et al., 2013). Según su taxonomía (Wheeler, 2012), la alpaca queda clasificada de la siguiente manera:

Clase: Mamalia

Orden: Artiodactyla

Sub orden: Tylópoda

Familia: Camelidae

Sub familia: Camelinae

Tribu: Lamini

Género: Vicugna

Especie: *Vicugna pacos* L.

## 2.2 Fibra de alpaca

La fibra de alpaca es un producto textil que se obtiene después de la esquila del animal tiene características finas y propiedades especiales, las cuales son muy apreciadas y acogedoras por el mercado textil en el mundo (Bustinzá, 2001) y otras cualidades como la gama de colores naturales (Liu et al., 2003; Huanca et al., 2007). La fibra de alpaca está compuesta por células queratinizadas que emergen del folículo piloso (Alzola, 2002).

La fibra de alpaca está formada principalmente por la proteína queratina la cual está formada a base de elementos como son: carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y azufre. La superficie externa de la fibra de alpaca está compuesta por una serie de células cuticulares superpuestas una sobre otras en forma de escamas, estas células cuticulares facilitan la unión de las fibras durante el hilado y tejido (Carpio, 1991).

## 2.3 Componentes estructurales de la fibra

Microscópicamente la fibra de alpaca blanca y de color oscuro están formadas por tres componentes celulares, desde la parte más interna hacia la superficie: médula, corteza y cutícula (Villarreal, 1963; Carpio, 1991; Wang et al., 2005; Pinares et al., 2018). En las fibras finas generalmente no hay presencia de médula, estas fibras solo tienen su corteza y cutícula (Figura 1A).

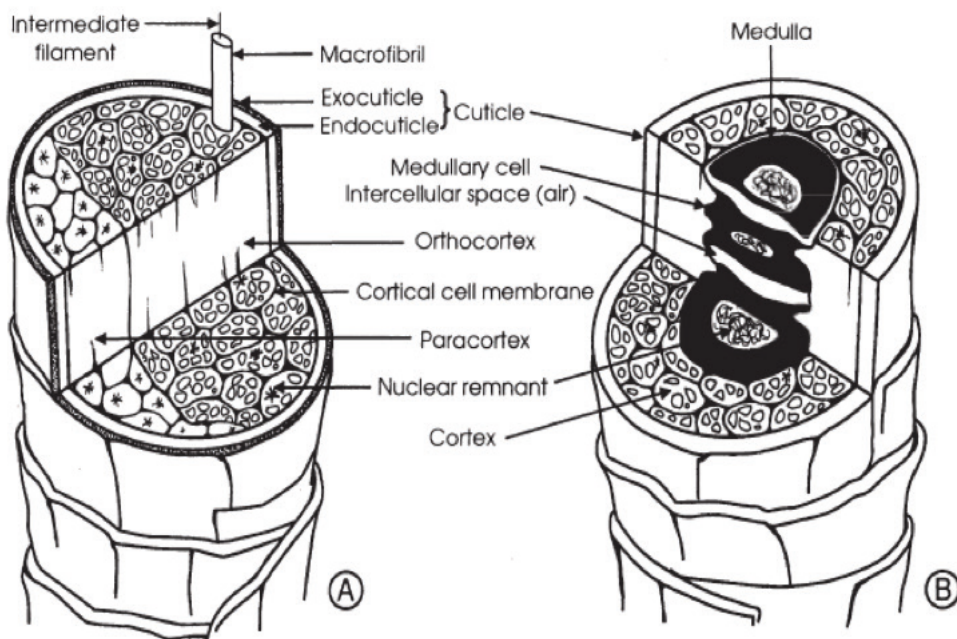


Figura 1 — A: representación gráfica de fibra sin médula donde aparecen la cutícula y la corteza; B: fibra medulada con los tres componentes: médula, corteza y cutícula. Tomado de Powell y Rogers (1997)

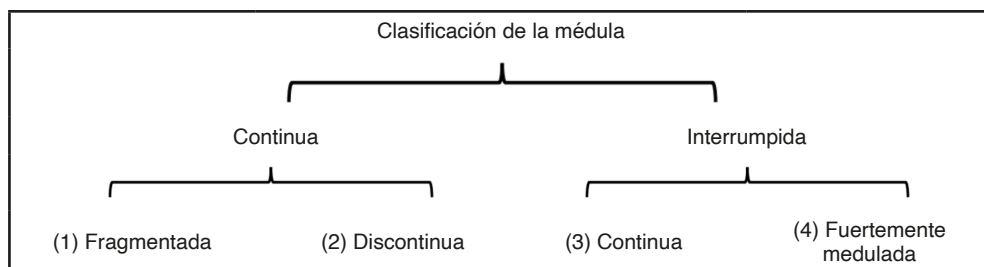
### 2.3.1 La médula

La médula es la parte central de la fibra que contiene aire, se encuentra con frecuencia en fibras gruesas, en cambio en las fibras finas se observan en baja frecuencia. La médula se origina en el folículo y se mantiene como un espacio longitudinal semivacío (Rogers, 2004; Carpio, 1991).

La presencia de la médula en la fibra de alpaca tiene atributos únicos y particulares, se afirma que la fibra de esta especie retiene calor más que otras fibras, la cual es catalogado como el mejor aislante térmico debido a la presencia de médula (Moore et al., 2011; Wang et al., 2005; Liu et al., 2003). La fibra medulada es considerada indeseable en las industrias, debido a que son gruesos con bajo rendimiento al hilado, también porque aparecen con tonos fuertes durante el teñido (Hunter et al., 2013).

#### 2.3.1.1 Clasificación de las fibras meduladas

Las fibras meduladas son clasificadas de la siguiente manera:



**Figura 2— Esquema de clasificación de fibras meduladas. Adaptado de Pinares et al. (2018)**

Los tipos de fibra se pueden observar microscópicamente en forma longitudinal y transversal (Figura 3 y 4). Considerando la codificación numérica (0): fibra no medulada, generalmente son fibras finas con menor diámetro; (1) medulada fragmentada, la médula está interrumpida, comenzando a formarse en pequeñas islas; (2) medulada discontinua, la médula está interrumpida a intervalos más o menos regulares, se podría decir que la médula no ha completado su formación; (3) medulada continua, presenta médula continua bien formada de color oscuro; (4) fuertemente medulada, la médula ocupa >60% de la corteza en fibras mayores a  $30\mu\text{m}$ , en ovinos se denomina Kemp (Carpio, 1991).

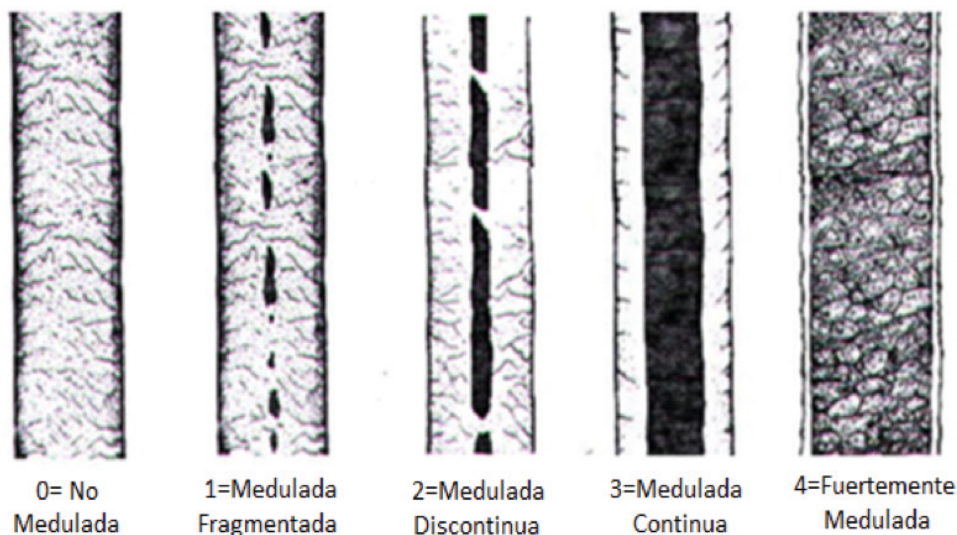


Figura 3— Clasificación de fibras según la presencia y tipos de médula, corte longitudinal. Adaptado de Pinares et al. (2018)

En forma transversal la médula y la elipticidad de la fibra, se observan en forma circular las fibras más finas, mientras aumenta su diámetro la elipticidad es más notorio llegando a una forma arriñonada (Villarroel, 1963); (0) con diámetro medio en promedio de  $15\text{-}20\mu\text{m}$ , tiene forma circular; (1) con diámetro medio de  $20\text{-}30\mu\text{m}$  tiene una forma ligeramente ovoide, angular y formación de la elípticidad; (2) con diámetro medio de  $30\text{-}40\mu\text{m}$  tiene una forma triangular, arriñonada y elíptica; (3) con diámetro medio de  $40\text{-}60\mu\text{m}$  tiene una forma arriñonada, ovoide o elíptica, la sección transversal tiende a estrecharse en la parte media; (4) con diámetro medio de  $60\mu\text{m}$  a más tiene una forma de riñón amplio o estrecho, elíptico amplio o estrangulado (Figura 4) (Villarroel, 1963).

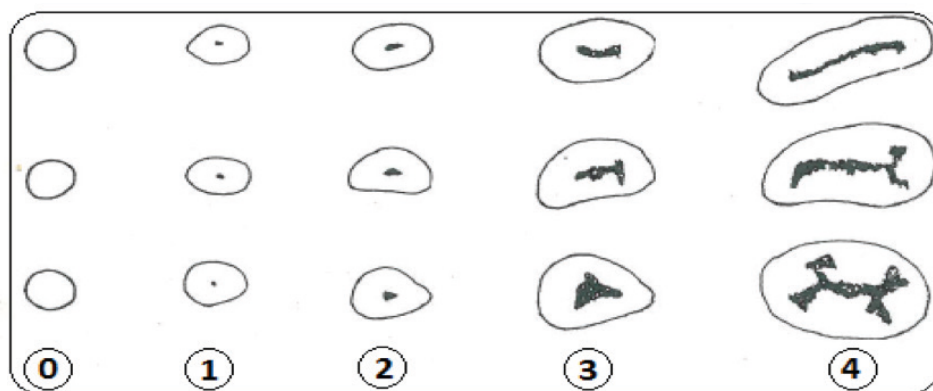


Figura 4 — Representación gráfica del corte transversal de la fibra de alpaca. Adaptado de Villarroel (1963)



### 2.3.2 *La corteza*

La corteza es la parte estructural que conforma el 90% la fibra, está compuesta por células, microfibrillas y protofibrillas, al corte transversal muestran una forma poligonal, las células verticales están formadas de fibrillas orientadas longitudinalmente y tienen residuo nuclear en su parte central. Las fibrillas pueden dividirse en unidades más pequeñas visibles al microscopio electrónico que se les denomina microfibrillas a su vez compuestos por queratinas (Carpio, 1991).

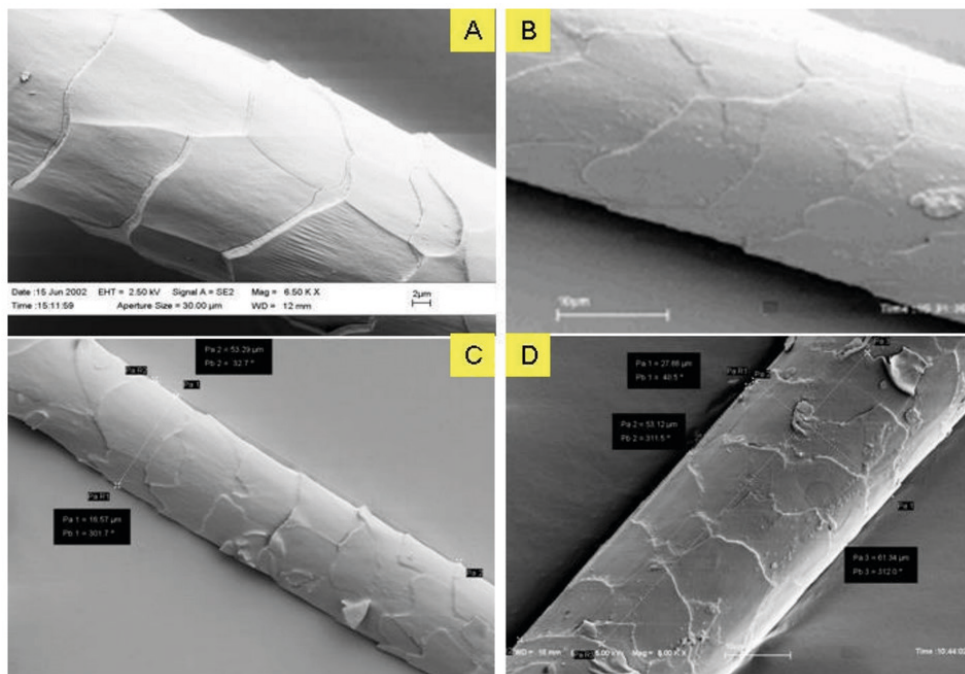
La corteza de la fibra está conformada por una serie de células estas presentan también forma particular y que eventualmente pueden servir de diferenciación. Las células de ambas secciones corticales se conocen como células orto y para, las mismas que originalmente se denominan células blandas y duras, también existen fibras finas que en su estructura sólo presentan cutícula y corteza, en el otro extremo, existen fibras gruesas donde se distinguen claramente la cutícula, corteza y médula (Villarroel, 1963). En la corteza se almacenan mayormente los pigmentos de melanina (Wang et al., 2005).

### 2.3.3 *La cutícula*

La cutícula es la capa externa de la fibra de forma poligonal, la cual está compuesta por células superpuestas unas a otras, está unida fuertemente por una membrana finísima que tiene el papel de encerrar y proteger a las células corticales (Carpio, 1991; Wang et al., 2005).

La cutícula presenta bordes ligeramente ovaladas, simples, dentadas y aserradas, es posible observar que cuando el diámetro disminuye la escama se torna semicoronal o coronal, a medida que la fibra se engruesa las escamas en anchura son más pequeñas y sus márgenes se vuelven más irregulares y próximos (Contreras, 2010). En alpacas hembras DL con DMF entre 17.19 y 20.2 $\mu$ m la forma de su cutícula es ligeramente coronaria, con márgenes ovaladas y ligeramente dentadas según que aumenta o disminuye el diámetro. Las hembras 2D, 4D y BL de 20.6a 24.0 $\mu$ m, la forma de cutícula es imbricada con margen de tipo aserrada, dentada y onduladas (Villarroel, 1963; Contreras, 2010).

La cutícula representa un 10% de la fibra total y esta tiene 3 sub divisiones que son: la epicutícula, la exocutícula y la endocutícula, a su vez los bordes de las escamas pueden ser coronarias, imbricadas o cuticulares, la conformación de las escamas varía con la edad de la alpaca y con el engrosamiento del diámetro de la fibra (McGregor y Quispe, 2017). En fibras de 15-20 $\mu$ m la Huacaya presenta escamas coroneles y semicoroneles, fibras de 20-30 $\mu$ m la Huacaya presenta escamas de márgenes próximos de esparcimiento, fibras de 30-40 $\mu$ m las escamas son onduladas suaves y espaciamentos cortos y en fibras gruesas mayores a 40 $\mu$ m la Huacaya presenta escamas onduladas y dentadas con espaciamiento cercano (Villarroel, 1963).

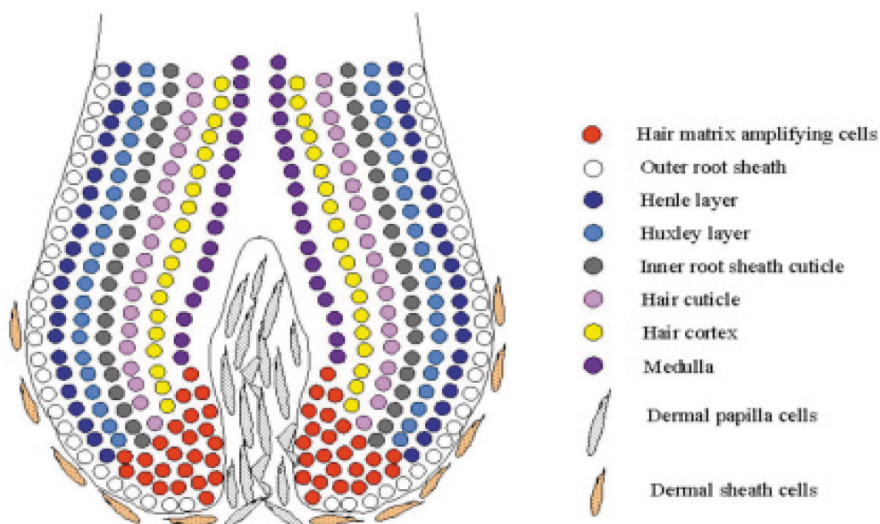


**Figura 5 — Representación gráfica de la cutícula tomada con SEM. (A) Lana de ovino, (B) fibra de alpaca, (C) fibra de alpaca fina de  $16.57\mu m$  (D) fibra gruesa de alpaca de  $27.66 \mu m$ . Tomado de Contreras (2010)**

## 2.4 Desarrollo de la médula a nivel folicular

La médula es un derivado de un grupo de células especiales derivados del folículo de la fibra, las paredes de las células solo están engrosadas con cavidades que queda en cada celda llenándose de aire (Wilson, 1929), donde la queratinización es incompleta, mientras que en la cutícula y corteza la queratinización es completa, las células toman forma y se vuelven sólidas.

La estructura esponjosa de la médula consta de células separadas por grandes espacios intercelulares, la trichialina en forma de gránulos de proteínas fusionadas es el componente principal (Powell y Rogers ,1997). La síntesis de trichialina no llena completamente las células diferenciadas de la médula, al madurar y deshidratarse se encoge y queda atrapado entre las “trabéculas” de las células corticales quedando espacios de aire entre ellos, además contiene residuos de citrulina y se entrecruza mediante enlaces isopeptídicos (Powell y Rogers ,1997).



**Figura 6 — Desarrollo de la médula a nivel folicular. Tomado de Rogers (2004)**

## 2.5 Métodos de evaluación del porcentaje de medulación

Los tres métodos empleados para la determinación del porcentaje de medulación son: microscopio de proyección (autorizado por la norma IWTO-8), Fiber Med y el método OFDA 100 (Analizador Óptico del Diámetro de Fibra).

### 2.5.1 *Microscopio de proyección*

El porcentaje de medulación tradicionalmente se ha reportado usando el microscopio óptico proyectado al monitor, la médula se detecta fácilmente a la observación longitudinal de la fibra (Wilson, 1929). En fibras de alpaca el procedimiento es según la norma IWTO-8 (IWTO, 2011).

### 2.5.2 *Analizador Óptico del Diámetro de Fibra (OFDA 100)*

Es un equipo automatizado donde los resultados que proporcionan son rápidos y menos precisos (Pinares et al., 2018), basado en la detección de opacidad de fibras (Lupton y Pfeiffer, 1998).

### 2.5.3 *Fiber Med (Medulómetro)*

Es un microscopio de proyección computarizado y semi automatizado, que permite evaluar la calidad de la fibra de origen animal, con capacidad de incorporación de procedimientos para otros tipos de fibras. Utiliza la más moderna tecnología de interpretación de imágenes digitales que permite la transmisión y almacenamiento de toda la base de datos y gráficos (Quispe et al., 2018).

## 2.6 Factores que determinan la calidad de la fibra

Los principales factores que determinan la calidad de la fibra de alpaca son los siguientes: porcentaje de medulación y diámetro medio de fibra (DMF).

### 2.6.1 *Porcentaje de medulación*

El porcentaje de medulación en fibra de alpaca es la proporción de fibras meduladas, estas pueden ser fragmentada, discontinua, continua y fuertemente medulada (Pinares et al., 2018). La médula fragmentada representa el 29.29%, medula discontinua 14.01% y medula continua 23.90% en fibra blanca de alpaca (Pinares et al., 2018). Por otro lado, Radzik-Rant y Wiercinska (2021) mencionan que la fibra con médula continua representa el 21.33%, con médula discontinua el 58.11% y fibra no medulada 20.56% en alpacas de Polonia. La incidencia de fibras meduladas aumenta linealmente de 10% a 60% cuando el diámetro incrementa de 22 $\mu$ m hasta 40 $\mu$ m (McGregor, 2006).

### 2.6.2 *Diámetro medio de fibra (DMF)*

El diámetro medio de fibra se expresa en micrómetros ( $\mu$ m), es un parámetro que define la finura de la fibra, considerado como el principal criterio de selección de fibras (Villarroel, 1963). Por otro lado, el diámetro medio de fibra se conoce como una característica técnica de mayor importancia para definir la calidad en la industria textil (Quispe, 2013).

## 2.7 Porcentaje de medulación y DMF

En las alpacas a medida que el diámetro aumenta, hay mayor presencia de medulación, mostrando una relación positiva (Mc Gregor, 2006). El diámetro está relacionado con la fibra, mayor diámetro mayor porcentaje de medulación y a menor diámetro se espera un menor porcentaje de medulación (Guillen y Leiva, 2020), el presente cuadro muestra el porcentaje de medulación y diámetro medio de fibra (DMF) reportado por diversos autores (Tabla 3).

Autor (es)	Porcentaje de medulación (%)	(DMF) $\mu\text{m}$	Lugar de estudio	Animal	Equipo usado
Guillen y Leiva (2020)	47.00	19.91 $\pm$ 4.7	Cusco	AHB	Microscopio de proyección
Barreda (2020)	69.70	19.2 $\pm$ 1.9	Puno	AHB	Fiber EC y Medulómetro de fibras
Radsik-Rant y Wiercinska (2021)	58.4 al 79.4	25.31 $\pm$ 0.75	Polonia	AHC	Microscopio de proyección
Pinares et al. (2018)	18.30	22.16	Perú	AHB	OFDA 100 y Microscopio de proyección
Pinares et al. (2019)	67.44 $\pm$ 1.74	22.16	Perú	AHB	Microscopio de proyección
Radzik-Rant et al. (2018)	53.56 51.73 52.84	20.20 22.78 24.14	Australia África Europa	AHB	Microscopio de proyección
Nina (2017)	-----	Blanco:20.17 Marrón: 20.77 Negro: 25.52	Puno	AHB y de color	OFDA 2000
Aruquipa (2015)	Blanco: 25.47 Marrón:26.86 Negro:27.92	Blanco: 22.42 Marrón: 23.09 Negro:23.63	Bolivia	AHB y de color	Microscopio de proyección
Contreras (2010)	49.5 al 96.5	17.2- 25.9	Perú	AHB	Microscopio y OFDA 2000
Oria et al. (2009)	-----	Blanco: 22.45 Crema: 23.91 Café: 25.36 Negro: 27.10	Muestras de Huancavelica Estudiado en Argentina	AHB y de color	OFDA 2000
Lupton (2006)	59.0	Hembras 27.1 Machos 24.3	USA	AHB	-----
McGregor (2006)	20	24 hasta 29.9	Australia	AHB	OFDA 100
Wang et al. (2005)	28 al 67	Blanco: 25.3 Marrón:25.3 M. O: 25.1	Australia	AHB y color	-----
Carpio (1978)	54.2 al 79.7 44.5 al 91.9 26.7 al 50	-----	Arequipa Perú Juliaca Perú Sicuani Perú	AHB	Microscopio de proyección
Villarroel (1963)	71.1 al 78.9	26.99	Perú	AHB	Microscopio de proyección

Tabla 3— Resumen de porcentaje de medulación y diámetro medio de fibra (DMF)

AHB: alpaca Huacaya blanca y AHC: alpaca Huacaya de color. Adaptado de varios autores.



## 2.8 Composición química de la fibra

La fibra de alpaca está compuesta principalmente por la queratina y los cinco elementos químicos primarios: carbono 50%, oxígeno de 22-25%, nitrógeno de 16-17%, hidrógeno 7% y azufre de 3-4% (Tabla 4), estos elementos son constituyentes de los aminoácidos de la queratina (Carpio 1991).

Aminoácidos	Alpaca Blanca	Alpaca Negra	Llama	Vicuña	Guanaco
Aspartato	7.3	6.9	7.2	7.1	7.2
Treonina	6.3	6.2	7.0	6.4	6.5
Serina	9.6	10.3	11.3	10.6	11.1
Glutamato	14.6	14.0	16.0	14.3	13.7
Prolina	7.6	7.8	8.4	7.9	7.9
Glicina	7.9	7.9	5.9	8.1	8.1
Alanina	5.6	5.4	6.8	5.5	5.5
Cisteína	6.0	7.6	6.3	5.9	6.0
Valina	6.0	5.9	6.3	6.1	5.8
Metionina	0.4	0.5	0.5	0.4	0.5
Isoleucina	3.2	3.0	3.3	3.0	3.0
Leucina	7.8	7.2	8.3	7.5	7.2
Tirosina	2.8	2.6	2.8	2.6	2.9
Fenilalanina	3.0	2.5	3.2	2.6	3.1
Lisina	2.8	2.6	2.9	2.7	2.5
Histidina	0.9	1.0	1.0	1.0	0.8
Arginina	7.9	8.2	8.7	7.7	7.7

Tabla 4 — Composición de aminoácidos (mol%) en fibra de camélidos andinos

Adaptado de Hunter (2020).

## 2.9 Colores de fibra de alpaca

Existen diversos colores naturales en fibra de alpaca la cual se clasifica en cinco colores básicos, blanco, crema, café, gris y negro, que incluye diversas tonalidades y combinaciones. La alpaca blanca representa el 80% de la población, la mayor crianza de este color se debe a la mayor demanda por los industriales, debido a la facilidad de teñido a cualquier otro color y mayor precio en el mercado. En cambio, el 20% son de otros colores. El poco interés en la crianza de alpaca de color se debe a la menor demanda, bajo precio y menor calidad (Oria et al., 2009; Lupton et al., 2006; Carpio, 1991).

Tipo de color	Símbolo	Denominación
Colores enteros	B	Blanco
	LFX	Beige
	LFY	Vicuña
	LFZ	Vicuña Intenso
	CC	Café Claro
	COM	Marrón
	CON	Café Oscuro Negro
	GP	Gris Plata
	GO	Gris Oscuro
	N	Negro
Colores canosos	BMC	Blanco Manchado Claro
	BMO	Blanco Manchado Oscuro Gris Claro con canas blancas
	NM	Negro Manchado
	GC	Gris claro con canas blancas
Colores indefinidos	CIC	Claros indefinidos
	CIO	Indefinidos oscuros

Tabla 5 — Clasificación de fibra de alpaca según el color  
Adaptado de NTP (2004).

### 2.10 Pigmentación

En la naturaleza las fibras de origen animal suelen encontrarse de diversos colores con tonalidades amarillas, marrones y negras, debido a su pigmento natural de la melanina (Bouagga et al., 2020), la fibra de alpaca de color contiene gránulos de pigmento alrededor del 3% en peso, se encuentran en la parte interna de la fibra, estos gránulos de pigmento se distribuyen dentro de las células corticales debajo de la cutícula, alrededor de la corteza y la médula, los pigmentos en fibras marrón son pequeños y dispersos mientras que las fibras más oscuras son homogéneas y redondas (Wang et al., 2005).

El color de la fibra depende principalmente de la cantidad, calidad y distribución del pigmento de melanina, las cuales son clasificados en 2 grupos: eumelanina las que producen pigmentación de color negro a marrón oscuro y la feomelanina producen pigmento de color marrón claro (Sponenberg et al., 1998; Ito y Wakamatsu, 2006; Cieslak et al., 2011).

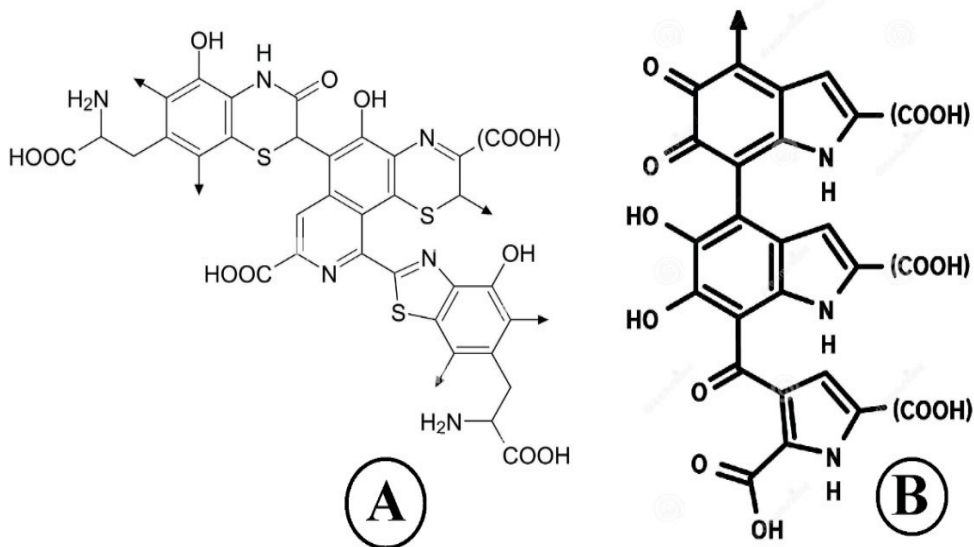


Figura 7 — Estructura química de feomelanina (A) y eumelanina (B). Tomado de Mortazavi et al. (2014)

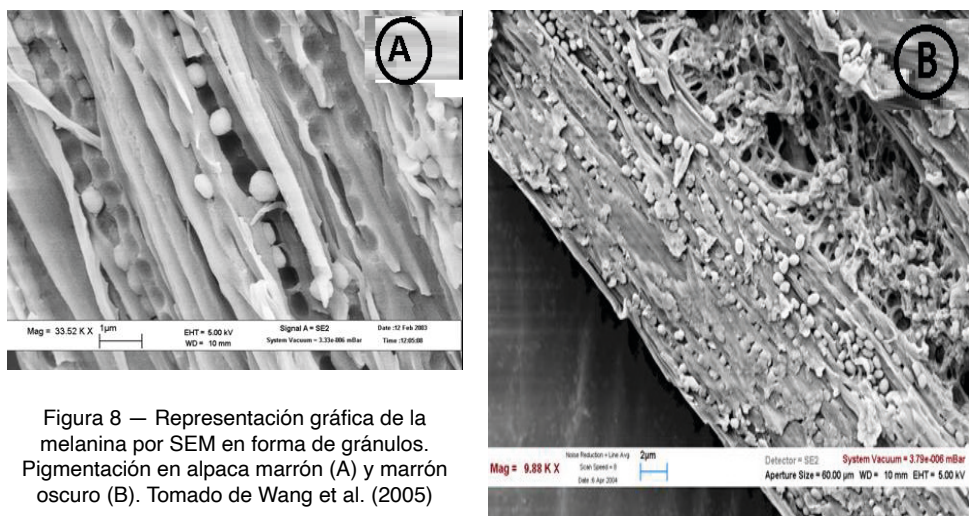


Figura 8 — Representación gráfica de la melanina por SEM en forma de gránulos. Pigmentación en alpaca marrón (A) y marrón oscuro (B). Tomado de Wang et al. (2005)

## 2.11 Colorimetría

La colorimetría en la actualidad se utiliza para determinar la pigmentación y tonalidades en la fibra (Druml et al., 2018). El color es el resultado de la evaluación de la luz radiante en términos de una correlación visual y esta se aprecia por medio del sentido físico de la vista (CIE, 2004). Las mediciones de color se realizan de tres formas (a) formas visuales (con el ojo humano) (b) instrumentales con un colorímetro y (c) utilizando la visión digital (Wu y Sun, 2013).

### a. Sistema Munsell

Este sistema fue desarrollada y publicada en 1905 por Albert H. Munsell, donde establece tres dimensiones de color mediante un sistema apropiado en base a tono, luminosidad y croma de las sensaciones. en este sistema los tonos se organizan de manera circular con 5 tonos principales equidistantes entre sí. Los tonos intermedios varían en una escala de 1-10. Estos tonos son: rojo (R), amarillo (Y), verde (G), azul (B) y púrpura (P). Para determinar el color por medio de este sistema se usa un atlas de colores denominado cartas o diccionario Munsell que es confiable y reproducible Mathias-Rettig (2014).

### b. Sistema Hunter

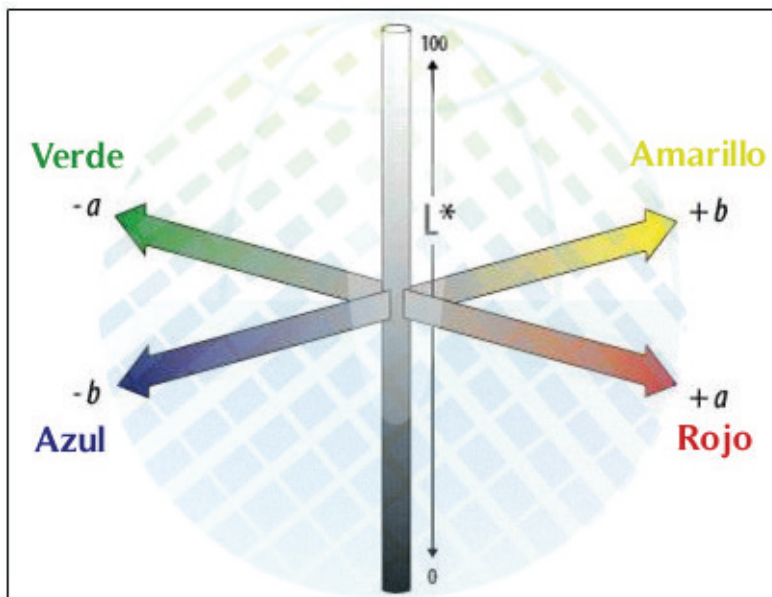
Este sistema menciona que la respuesta se basa en tres tipos de células sensoras de luz que están presente anatómicamente en el ojo humano y su sensibilidad a las luces azul, verde y rojo se combinan sus codificadores opuestos a medida que se desplazan a lo largo del nervio óptico hasta el cerebro, el sistema solido de denomina Hunter Lab, esta tiene una superficie de color definido por tres coordenadas rectangulares, L= luminosidad, donde 0 es el negro y 100 es el blanco, a = rojo a verde, valores positivos para rojo y valores negativos para verde y b= amarillo a azul, valores positivos para amarillo y valores negativos para azul. Este método también se conoce como el método de valores de transmisión de luz, cercano al 0 no es permeable y cercano al 100 es completamente permeable.

### c. Sistema CIE

La (CIE) denominado Comisión Internacional de la Iluminación en la actualidad ha desarrollado sistemas de medición más importantes y de mayor uso para medir el color. El sistema CIE usa tres coordenadas para ubicar un color en un espacio de color que son (1) CIE XYZ, (2) CIE  $L^*a^*b^*$  y (3) CIE  $L^*C^*h^\circ$  (Mathias-Rettig y Ah-Hen, 2014).

Una forma de medir los valores de XYZ es a través del uso de un colorímetro de tres filtros y la variación de color entre dos muestras se calcula con la siguiente formula.  $\Delta E = \sqrt{(\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2)}$ . Por otra parte, un espacio con coordenadas rectangulares ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) y las cordenadas cilíndricas ( $L^*$ ,  $H^*$ ,  $C^*$ ), en un sistema tridimensional. La luminosidad ( $L^*$ ) toma valores de 0 a 100 (de negro a blanco), el punto acromático  $a^*$  corresponde a rojo cuando los valores son positivos y verde cundo los valores son negativos.

La coordenada  $b^*$  define la desviación hacia amarillo cuando los valores son positivo y azul cuando los valores son negativos.  $C^* = (\alpha^{*2} + b^{*2})^{0.5}$  y  $H^* = \arctg(b^*/a^*)$ . El croma ( $C^*$ ) toma valores de -170 a +100 y el tono ( $H^*$ ) toma valores de -100 a +150 (Druml et al., 2018; Mathias-Rettig y Ah-Hen, 2014).



**Figura 9 — Coordenadas de color en el sistema CIELab. Adaptado de Mathias-Rettig y Ah-Hen (2014)**

## 2.12 Despigmentación de la fibra

El color natural de la fibra está estrechamente relacionado con pigmentos de melanina. La melanina es un pigmento polimérico biológico formado a partir de la oxidación secuencial de tirosina y ubicados dentro de la corteza de la fibra (Bouagga et al., 2020). El blanqueo es una solución de eliminación de color con un daño mínimo a las fibras, también sirve para aclarar el color de modo que se puedan producir artículos textiles de diversos colores a partir de fibras de color (Liu, xin et al., 2003).

Estudios demuestran que el blanqueo de fibras pigmentadas se ocupa de mejorar la blancura y las propiedades mecánicas de las fibras blanqueadas. El método de despigmentación comúnmente utilizado en la práctica industrial consiste en un baño de mordiente que contiene iones de hierro o cobre que precede a un proceso de decoloración mediante  $H_2O_2$  (Harizi et al., 2013).

El peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) es un líquido inodoro que es fácilmente manejable y está disponible en formas convenientes y seguras, sin embargo, causa daño a la fibra, el daño surge del ataque a los aminoácidos en la fibra de queratina, este daño puede provocar efectos adversos en las propiedades mecánicas de la fibra en particular por lo que es recomendable usar en mínimas cantidades y menores tiempos (Bouagga et al., 2020; Mortazavi et al., 2014; Montazer et al., 2009; Xin Liu et al., 2003).

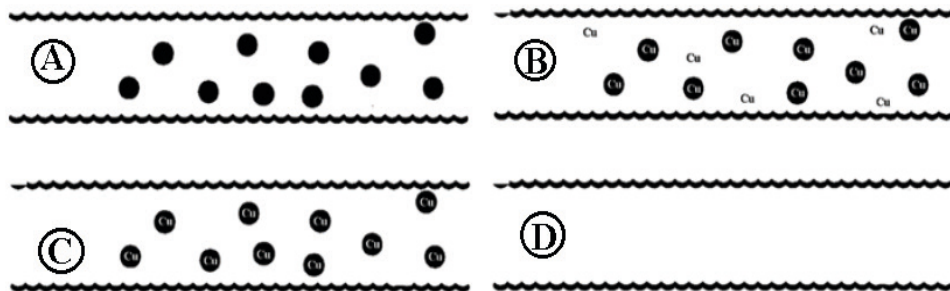


Figura 10 — Principios de blanqueo de fibras pigmentadas. (a) fibra pigmentada, (b) fibra mordentada, (c) fibra mordentada/lavada, (d) fibra blanqueada tomado de Mortazavi et al. (2014)

El agente blanqueador comúnmente utilizado es el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ). Durante la reacción de oxidación, es convertido en la especie perhidroxi ( $HO_2^-$ ), que es responsable de la decoloración. Desde el  $HO_2^-$  el ion es relativamente inestable y forma fácilmente oxígeno molecular ( $O_2$ ), a menudo se agrega un estabilizador (pirofosfato de tetrasodio) al baño de blanqueo mejora la estabilidad de las especies de blanqueo e inhibe la descomposición del ion perhidroxi para producir oxígeno molecular. Además, la tasa de descomposición de  $H_2O_2$  aumenta con el aumento de la temperatura y el pH, al igual que la tasa de blanqueo (Xin Liu et al., 2003).

Autor (es)	Fibra o lana	Concentración de $H_2O_2$	Mordiente	Tiempo de decolorado (minutos)
Bouagga et al. (2020)	Lana cruda de tunecina	30%	( $CuSO_4$ ) $FeSO_4$	90
Mortazavi et al. (2014)	Lana karakul	30%	$CuSO_4$ .	15 a 180
Harizi et al.(2013)	Dromedario	30%	$FeSO_4$	20 a 60
Montazer et al. (2009)	Bakhtiari y Khozestan	30%	Sulfato de hierro (II)	30 a 90
Xin Liu et al. (2003)	Alpaca	14g/l	( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ )	80

Tabla 6 — Proceso de blanqueo en fibra de alpaca a concentraciones, mordientes y tiempos diferentes.

## 2.13 Peróxido de hidrógeno

El peróxido de hidrógeno (conocido también como agua oxigenada)  $H_2O_2$  es un líquido incoloro a temperatura. A su vez es inestable y se descompone rápidamente a oxígeno y agua con liberación de calor. Aunque no es inflamable, es un agente oxidante potente que puede causar combustión espontánea cuando entra en contacto con materia orgánica. En el mercado se encuentra como Dioxidano, Peróxido de Dihidrógeno, Dioxogen, Crema oxigenada, Crema oxidante y Agua Oxigenada (<https://www.arquimi.com/>).

### 2.13.1 Concentraciones que podemos encontrar en el mercado

Las concentraciones de peróxido de hidrógeno convertidos a volúmenes

Agua oxigenada 50 %	Peróxido de hidrógeno 200 volúmenes
Agua oxigenada 35%	Peróxido de hidrógeno 140 volúmenes
Agua oxigenada 30%	Peróxido de hidrógeno 120 volúmenes
Agua oxigenada 10%	Peróxido de hidrógeno 40 volúmenes
Agua oxigenada 8%	Peróxido de hidrógeno 32 volúmenes
Agua oxigenada 5%	Peróxido de hidrógeno 20 volúmenes
Agua oxigenada 3%	Peróxido de hidrógeno 12 volúmenes

### 2.13.2 Usos del peróxido de hidrógeno

Los usos del peróxido de hidrógeno (<https://www.arquimi.com/>).

- a. **En la agricultura:** Se usa de 0.5%- 1% para poder eliminar con algunas plagas en las plantas y prevenir la aparición de estas al futuro.
- b. **En la cosmética:** Se usa desde 0.5% hasta 10% máximos para poder hacer champús, sirve para aclarar el tono del cabello, como agente blanqueador.
- c. **En la construcción:** En la construcción se usa hasta un 25% de concentración para la eliminación de manchas en la pared y en madera para mejorar el color.
- d. **En la ganadería:** Se usa para la limpieza y desinfección de utensilios y lugares contaminados.
- e. **En la salud:** Se usa en una concentración de 3% como máximo para desinfectar heridas y limpiarlos, en la odontología se usa 2-3% para enjuague bucal y limpieza de dientes.
- f. **Industria textil:** Se usa hasta un 10% máximo, para el blanqueamiento de telas y prendas.
- g. **Industria alimentaria:** Se usa de 0.2%-0.4% para la higienización y limpieza de los alimentos antes del consumo o durante un tratamiento de limpieza.
- h. **Farmacia:** Lo usan hasta un 3% en concentración, se comercializa como agua oxigenada y se usa en frecuencia para la desinfección de heridas.
- i. **En el hogar:** En concentraciones de 1 al 3% para poder desinfectar algunos utensilios de limpieza, aseo y ambiente.
- j. **Industria aeroespacial:** Esta industria usa hasta el 50% de pureza la cual utiliza como propulsor para naves y cohetes de largo alcance.

## 2.14 Crema oxigenada marca Faire Bon 40 vol.

El oxidante en crema es un producto cosmético que sirve para decolorar cabello y está a base de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) a diferentes concentraciones (10, 20, 30 y 40 vol.). Faire Bon 40 vol. Es el producto químico realizado para decolorar cabellos sensibles donde elimina el color a través de un proceso químico llamado oxidación, este proceso de la oxidación decolora el pigmento desde el tallo del cabello. El peróxido de hidrógeno y el amoníaco y los sulfatos son los agentes blanqueadores más utilizados a nivel mundial para la coloración y decoloración de la industria cosmética a menudo que se mezclan entre sí, cuando se utilizan por separado son inestables y muy lentos para aclarar el cualquier tipo de fibra, pelo, lana y cabello (<https://starbrandsgroup.com/>).

Polvo decolorante en sobre HLift Lift 9 Alfaparf

El polvo decolorante de Alfaparf Milano es un producto cosmético que sirve para decolorar el cabello ofreciendo resultados buenos, precisos y personalizados, el tono de decoloración depende de la cantidad y del tiempo que se deja el producto sobre el cabello, gracias a su tecnología de protección aclara hasta 9 tonos, esta decolora mientras protege no maltrata tanto, este decolorante sirve para todo tipo de aplicaciones en la industria cosmética. El polvo decolorante está a base de persulfato de amonio, persulfato de potasio y persulfato de sodio, se añaden al decolorante para aumentar la velocidad de la reacción química y de esta forma se hace la reacción eficiente (<https://www.alfaparf milano.com/es-es>).

## 3 | MARCO CONCEPTUAL

- a. **Fibra.** se define como el conjunto integral de fibras que cubre el cuerpo del animal y que se obtiene después de la esquila. Su producción está influenciada por su densidad folicular, el que varía según la variedad, sexo, edad y alimentación.
- b. **Diámetro.** Es el grosor, calibre o finura de la fibra que determina el uso textil en la industria. Fibras finas serán aptas para hilados y tejidos finos.
- c. **Peróxido de hidrógeno:** El un agente oxidante que sirve para decolorar y colorear cabello, fibras y lanas.
- d. **Medulación:** Es el canal o hueco que se encuentra en el centro de la fibra estas pueden ser de forma continua, fragmentada o gruesa depende del tipo de fibra.
- e. **Microscopio de proyección:** Es el equipo que sirve para medir una muestra que el ojo humano no puede ver ni distinguir esta tiene que estar enlazado hacia una computadora para poder dar mejores resultados.
- f. **Aceite de inmersión:** Es un líquido viscoso y transparente que tiene un alto índice refractivo. Por este motivo es muy utilizado en las observaciones microscópicas, ya que brinda la propiedad de concentrar la luz cuando esta pasa a través del objetivo de 100X del microscopio, aumentando su poder de resolución.



- g. **Micrótopo de Hardy:** Un micrótopo (del griego mikros, que significa “pequeño”, y tomo, que significa “parte” o “división”) es un instrumento de corte que permite obtener rebanadas muy finas de material, conocidas como secciones.
- h. **Medula:** Es un espacio vacío, en la parte central de la fibra la cual contiene aire, se encuentra con frecuencia en fibras gruesas, en cambio en las fibras finas se observan en baja frecuencia. La médula se origina en el folículo y se manifiesta como un espacio longitudinal semivacío (Rogers, 2004; Carpio, 1991).
- i. **Blanqueamiento:** Es un proceso donde se usa un agente químico ( $H_2O_2$ ) para la eliminación de pigmento, que contiene en la estructura de la fibra de color.
- j. **Sitio de muestreo:** Es la parte del animal, donde se obtiene la muestra para ser evaluado, también es conocido como zona de muestreo.
- k. **Crema oxigenada:** Es el peróxido de hidrógeno en presentación de crema, con una concentración del 10%, usada principalmente en la industria cosmética.
- l. **Polvo decolorante:** Está compuesto de persulfato de potasio y persulfato de amonio que ayuda en el proceso de blanqueo de cabello, fibra etc.

# METODOLOGÍA

## 1 | TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

### 1.1 Tipo de investigación

El presente trabajo de investigación tiene las siguientes características: investigación en función a la naturaleza de las variables es de tipo cuantitativo, de acuerdo a la finalidad de estudio es de carácter es de tipo experimental debido a que los resultados obtenidos dependerán de la manipulación de variables independientes.

### 1.2 Nivel de investigación

En cuanto al nivel de investigación es de nivel explicativo porque permite proponer alternativas prácticas de solución, que contribuirá a la satisfacción de las necesidades de la población.

## 2 | DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

### 2.1 Para el proceso de decoloración y colorimetría

#### a. Decoloración

En el diseño de investigación del proceso de decolorado se trabajó a 5, 10, 35, 70 y 105 minutos en fibra negra, considerando 3 regiones corporales (paleta, costillar medio y grupa) haciendo un total de 30 muestras por animal para cada tiempo. En fibra marrón se realizó la decoloración a 35 y 70 minutos para cada tiempo se usó 30 muestras considerando 3 regiones corporales del animal. Llegando a blanquearse 210 muestras entre fibras negras y marrones en total (Tabla 7 y Tabla 8).

Tiempo de tratamiento	Fibra negra			Decoloraciones por animal	C.P.D.	C.C.O.
	P	CM	G			
5 min	10	10	10	30	10 gramos	20 gramos
10 min	10	10	10	30		
35 min	10	10	10	30		
70 min	10	10	10	30		
105 min	10	10	10	30		
Total de análisis				150 muestras		

Tabla 7— Diseño de investigación para el proceso de decolorado en fibra negra

Paleta (P), costillar medio (CM), grupa (G), concentración del polvo decolorante (C.P.D.), concentración de crema oxidante (C.C.O.).

Tiempo de tratamiento	Fibra negra			Decoloraciones por animal	C.P.D.	C.C.O.
	P	CM	G			
35 min	10	10	10	30	10 gramos	20 gramos
70 min	10	10	10	30		
Total de análisis				Muestras		

Tabla 8— Diseño de investigación para el proceso de decolorado en fibra marrón  
Paleta (P), costillar medio (CM), grupa (G), concentración del polvo decolorante (C.P.D.),  
concentración de crema oxidante (C.C.O.).

#### b. Para colorimetría

El diseño que usamos en la investigación para la cuantificación de color con el colorímetro PCE-CSM7, se hizo tres repeticiones por cada zona a diferentes tiempos de decolorado por animal, llegando a obtener en total 900 análisis entre fibra blanca y de color (Tabla 9).

Análisis CIE L*a*b* según tiempo de tratamiento	Fibra negra			Fibra marrón			Fibra blanca			Numero de repeticiones	Cantidad de análisis
	P	CM	G	P	CM	G	P	CM	G		
CIE L*a*b* en fibra sin tratamiento	10	10	10	10	10	10	10	10	10	3	270
CIE L*a*b* blanqueado a 5 min	10	10	10	-	-	-	-	-	-	3	90
CIE L*a*b* blanqueado a 10 min	10	10	10	-	-	-	-	-	-	3	90
CIE L*a*b* blanqueado a 35 min	10	10	10	10	10	10	-	-	-	3	180
CIE L*a*b* blanqueado a 70 min	10	10	10	10	10	10	-	-	-	3	180
CIE L*a*b* blanqueado a 105 min	10	10	10	-	-	-	-	-	-	3	90
Total de análisis											900

Tabla 9— Diseño de investigación en el proceso de cuantificación de color en fibras blancas y de color

Dónde: n= 10 número de animales por color, valores del croma (CIE l\*a\*b\*), paleta (P), costillar medio (CM), grupa (G).

## 2.2 Para porcentaje de medulación

Según la norma IWTO-8-2011 se analizó 600 fibras por cada zona del animal, en 30 alpacas según color haciendo un total de 54000 fibras analizadas entre fibras blancas negras y marrón, en fibra negra se analizó el porcentaje de medulación al minuto 10 de tratamiento y en fibras de color marrón y blanco sin tratamiento.

Fibra blanca			Fibra negra			Fibra marrón			Total de análisis
P	CM	G	P	CM	G	P	CM	G	
600	600	600	600	600	600	600	600	600	
600	600	600	600	600	600	600	600	600	
600	600	600	600	600	600	600	600	600	
600	600	600	600	600	600	600	600	600	
600	600	600	600	600	600	600	600	600	
600	600	600	600	600	600	600	600	600	
600	600	600	600	600	600	600	600	600	
600	600	600	600	600	600	600	600	600	
600	600	600	600	600	600	600	600	600	
600	600	600	600	600	600	600	600	600	
<b>6000</b>	<b>6000</b>	<b>6000</b>	<b>6000</b>	<b>6000</b>	<b>6000</b>	<b>6000</b>	<b>6000</b>	<b>6000</b>	<b>54000 fibras</b>

Tabla 10— Diseño de investigación para determinación del porcentaje de medulación

Dónde: paleta (P), costillar medio (CM) y grupa (G)

### 2.3 Para diámetro medio de fibra

Para este diseño se usaron fibras sin ningún tratamiento tanto en fibra blanca como de color, que fueron medidas en el Laboratorio de Electrónica y Mecánica de MAXCORP Technologies S.A.C. Usando el desarrollo del Caracterizador Electrónico de Fibras (CEF) denominado (Fiber IC), para determinar el diámetro medio de fibra se usaron 9000 fibras por muestra del animal, el total de análisis en fibras fue en 10 alpacas del costillar medio para cada color del animal (Tabla 10).

n	Fibra negra	Fibra marrón	Fibra blanca
	<b>CM</b>	CM	CM
<b>1</b>	<b>9000</b>	9000	9000
<b>2</b>	<b>9000</b>	9000	9000
<b>3</b>	<b>9000</b>	9000	9000
<b>4</b>	<b>9000</b>	9000	9000
<b>5</b>	<b>9000</b>	9000	9000
<b>6</b>	<b>9000</b>	9000	9000
<b>7</b>	<b>9000</b>	9000	9000
<b>8</b>	<b>9000</b>	9000	9000
<b>9</b>	<b>9000</b>	9000	9000
<b>10</b>	<b>9000</b>	9000	9000
<b>Total</b>	<b>90000</b>	90000	90000

Tabla 11 — Estructura de datos para el análisis de diámetro medio de fibra.

Costillar medio del animal (CM).

### 3 | DESCRIPCIÓN ÉTICA DE LA INVESTIGACIÓN

El diagnóstico de animales para ser estudiados y el proceso de muestreo de fibra, se realizó siguiendo las normas éticas vigentes, cumpliendo con lo establecido que se detalla en el procedimiento. La limitante que hubo en el laboratorio de fibras y lanas no contamos ambiente controlado de temperatura y humedad tal como lo establece la norma (ITWO-8) sin embargo se ha realizado el trabajo de investigación en cuanto a decoloración en fibra de alpaca Huacaya con peróxido de hidrógeno y evaluación del porcentaje de medulación usando microscopio de proyección.

### 4 | POBLACIÓN Y MUESTRA

#### 4.1 Población

La Comunidad Campesina de Sonccoccocha del distrito de oropesa según la CBC (2015) está conformada por 60 familias con 117 cabezas de alpaca en promedio por familia, la población total de alpacas esta entre 6800 y 7000 cabezas en Sonccoccocha.

#### 4.2 Tamaño de muestra

El muestreo fue por conveniencia, se eligieron 30 alpacas Huacaya, 10 negras, 10 marrones y 10 blancos. Las muestras de fibra (20g) se tomaron de tres partes de la fibra: paleta, costillar medio y grupa. Obteniéndose en total 90 muestras de fibra considerando color y sitio de muestreo (Anexo 25).

### 5 | PROCEDIMIENTO

El procedimiento de esta investigación tanto del proceso de decolorado y evaluación del porcentaje de medulación con microscopio de proyección se detalla en los siguientes flujogramas (Anexo 1 y Anexo 2).

#### 5.1 Toma de muestra de fibra

Inicialmente se selecciona las alpacas que se encuentran en un buen estado y fibra de color homogéneo, con la ayuda de un personal capacitado se coge al animal de la cabeza y cuello, en seguida con una tijera de corte se hace el muestreo, 20 gramos de muestra de cada región corporal (paleta, costillar medio y grupa) haciendo un total de 60 gramos de fibra por animal y se colocan en una bolsa de polietileno de alta densidad bien rotulado. Se realizó el mismo procedimiento para las 30 alpacas (negro, marrón y blanco).

### 5.2 Lavado de fibras

Se realizó el acondicionamiento de la fibra que consistió en separar la parte sucia (estiércol, impurezas, paja etc.) de la fibra muestreada. Se calienta agua a una temperatura de 50-55°C y se sumergen la fibra durante 5-10 minutos el objetivo es de eliminar impurezas, tierra y grasa. En otro recipiente se prepara una solución de agua con detergente liquido de TINOVETINA® al 0.4% a una temperatura de 50-55°C se sumerge la fibra lavada, agitando suavemente durante 5-10 minutos. Paso 4: en otro recipiente se realiza el proceso de enjuague usando agua caliente de 50-55°C agitando suavemente por un tiempo de 5-10 minutos. Seguido a ello se realizó un segundo enjuague con agua a temperatura de ambiente, posterior a ello se retira de los recipientes y se deja secar las muestras a temperatura de ambiente. Se usó las especificaciones de la IWTO-52, que señala el procedimiento y acondicionamiento para evaluaciones textiles. (IWTO-52,2006).

Color de fibra	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4
	Recipiente I	Recipiente II	Recipiente III	Lavado IV
Blanco	T°=50°C 5-10min	T°=50°C 5-10min Tinovetina 0.4%	T°=50°C 5-10min	T°= ambiente 5-10 min
Negro	T°=50°C 5-10min	T°=50°C 5-10min TINOVETINA 0.4%	T°=50°C 5-10min	T°= ambiente 5-10 min
Marrón	T°=50°C 5-10min	T°=50°C 5-10min TINOVETINA 0.4%	T°=50°C 5-10min	T°= ambiente 5-10 min

Tabla 12— Lavado de fibra de alpaca

Modificado de Calderón (2019).

### 5.3 Decoloración de fibra

En un vaso de precipitado de 500 ml se vertió 20g de peróxido de hidrógeno de 40 vol (crema oxigenada) de la marca “Faire Bon” y 10g de polvo decolorante de la marca “High Lift 9” para 2g de fibra negra o marrón, se homogenizó con una varilla de agitación y se dejó reposar por 5 minutos. Este proceso de agitación se realizó cada 5 minutos. Los tiempos de blanqueamiento se evaluaron a 5, 10, 35, 70 y 105 minutos en fibra negra, 35 y 70 minutos en fibra marrón. Finalmente se enjuago con agua a temperatura de ambiente suavemente de 4-5 veces y se dejó secar a temperatura de ambiente por un tiempo de 24-48 horas.

## 5.4 Cuantificación de color por colorimetría

Para la cuantificación del color se calibró el equipo PCE-CSM7 en fondo blanco y negro, siguiendo el manual de instrucciones. Los valores del espacio tridimensional fueron  $L^*$  = luminosidad que varía 0 a +100,  $a^*$  = saturación de color verde (-) a rojo (+) que varía de -100 a +150 y  $b^*$  = saturación de color azul (-) a amarillo (+) que varía de -170 a +100 (Druml et al., 2018).

En base a los valores descritos anteriormente ( $a^*$  y  $b^*$ ), se calculó el valor Croma ( $C^*$ )= $\sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$  y la tonalidad ( $H^*$ ) =  $\arctg(b^*/a^*)$  (Drulm et al.2018; Mathias-Rettig, 2014).

Los parámetros de CIE  $L^*a^*b^*$  se evaluaron en fibras negras y marrón de paleta, costillar medio y grupa antes y después de la decoloración. En fibras negras se evaluaron a 5, 10, 35, 70 y 105 minutos; en fibras marrón se evaluaron a 35 y 70 minutos. Además, los parámetros de CIE  $L^*a^*b^*$  se evaluaron en fibras blancas lavadas de paleta, costillar medio y grupa.

## 5.5 Porcentaje de fibras meduladas

Para determinar el porcentaje de medulación se usaron fibras marrón y blanca lavadas, sin blanqueo, en cambio las fibras negras fueron blanqueados por 10 minutos. Para cada muestra de fibra negra, marrón y blanca de paleta, costillar medio y grupa se prepararon snipeets de 1.8 a 2 mm de tamaño usando el micrótopo de Hardy. En 600 fibras (IWTO-8, 2011) microscópicamente se evaluó el tipo de médula como fue descrito por Pinares et al. (2018): fragmentada, discontinua, continua y fuertemente medulada.

En una hoja Excel se determinó el porcentaje de fibras con médula fragmentada (MF), médula discontinua (MD), médula continua (MC) y fuertemente medulada (FM), la sumatoria hace el porcentaje de medulación total (MT). El porcentaje de fibras meduladas denominado como medulación total se calculó usando la siguiente ecuación:  $MT (\%) = [(m/n) * 100]$  donde: m es la cantidad de fibras meduladas (fragmentada, discontinua, continua y fuertemente medulada) y n es total de fibras analizadas (600). Finalmente, se determinó el error estándar para la medulación total usando la siguiente ecuación:  $EE = \sqrt{\left[\frac{m}{n}\right] * (100 - m)}$  de la norma IWTO-8 (IWTO, 2011) donde (m) es el porcentaje de fibras meduladas y (n) es el número total de fibras analizadas (600).

## 5.6 Diámetro medio de fibra

El diámetro medio de fibra se evaluó en el laboratorio de la empresa MAXCORP Technologies S.A.C. usando el equipo de Fiber EC.

## 6 I TÉCNICA E INSTRUMENTOS

### 6.1 Decoloración de fibra

Durante el blanqueo ocurre una reacción química en la fibra, en consecuencia, se degrada el pigmento al estar en contacto con el peróxido de hidrógeno, esto nos permite analizar la estructura de la médula en la fibra de color negro y marrón. Previamente se ha realizado ensayos preliminares donde se determinó que a 10 minutos de tratamiento con peróxido de hidrógeno ya se logra el aclaramiento de fibras negras sin alterar su estructura, así observar la médula, en fibras marrón se observan sin ningún blanqueo debido a que la pigmentación es menos y la médula es observable.

### 6.2 Microscopía

El microscopio óptico (ZEISS) es un instrumento para la identificación de los tipos de médula, se utilizó el objetivo 10X y el objetivo 40X para el registro de fibras meduladas, siguiendo los pasos de la norma IWTO-8 (IWTO, 2011). Se prepararon snipeets de 1.8 a 2 mm usando un micrótopo de Hardy, la muestra se colocó sobre un portaobjeto se adicionó aceite de inmersión, con una varilla de vidrio se homogenizó la mezcla sin burbujas de aire por último se colocó un cubreobjetos y se identificó con un plumón indeleble el número de la muestra. por este método se identificó las fibras meduladas: fragmentada, discontinua, continua y fuertemente medulada.

### 6.3 Equipos y materiales

#### a. Equipos

- Colorímetro (PCE-CSM 7)
- Microscopio de proyección (ZEISS)
- Balanza analítica

#### b. Materiales de vidrio

- Laminas porta objeto y cubre objeto
- Varilla de vidrio
- Termómetro
- Vaso precipitado 0.5 litros



### c. Otros materiales

- Recipientes volumétricos
- Bolsas de polietileno
- Jeringa de 10 ml
- Guante quirúrgico
- Marcador indeleble
- Micrótopo de Hardy
- Gillette

### d. Insumos diversos

- Peróxido de hidrógeno (crema oxigenada) Faire bon 40vol
- Polvo decolorante en sobre HLift Lift 9 Alfaparf
- Aceite de inmersión
- Detergente en líquido (Tinovetina 0.4%)

## 5 I ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos fueron registrados en Excel, donde se realizó el análisis descriptivo de las variables en estudio. Las figuras y el análisis de datos fueron obtenidos usando el software estadístico R (R Core Development Team, 2021). El análisis de varianza con 2 factores incluyó el color de fibra y el sitio de muestreo, bajo el siguiente modelo aditivo lineal:

$$Y_{ij} = \mu + C_i + S_j + e_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$  = Luminosidad, porcentaje de fibras meduladas y diámetro medio de fibra.

$\mu$  = Efecto de la media poblacional.

$C_i$  = Efecto del i-ésimo color de fibra (i= negro, marrón y blanco).

$S_j$  = Efecto del j-ésimo sitio de muestreo de fibra (j= paleta, costillar medio y grupa).

$e_{ij}$  = Efecto residual.

Para la comparación de medias de las variables en estudio se utilizó la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

# RESULTADOS Y DISCUSIONES

## 1 | ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 1.1 Decoloración de fibra con peróxido de hidrógeno

La luminosidad ( $L^*$ ) de fibra negra fue 5.19, en fibra blanqueada a 105 minutos aumento en 81.37, alcanzando una luminosidad final de 86.56. El parámetro  $a^*$  disminuyó de 49.33 a 4.43, el parámetro  $b^*$  también disminuyó de 22.82 a 13.89 a 105 minutos de blanqueo. En fibras marrones la luminosidad ( $L^*$ ) aumentó de 43.18 a 86.92 en el minuto 70 de blanqueo, el parámetro  $a^*$  disminuyó de 14.22 a 3.91, el parámetro  $b^*$  también disminuyó de 23.93 a 15.80 (Tabla 11).

Color	n	Tiempo	Sitio de muestreo de fibra								
			Paleta			Costillar medio			Grupa		
			$L^*$	$a^*$	$b^*$	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$L^*$	$a^*$	$b^*$
Negro	10	Negro sin decolorar	5.19	49.17	22.66	4.91	50.22	23.27	5.46	48.60	22.54
		5 min	18.72	27.39	28.87	16.92	30.85	26.87	18.20	28.92	29.31
		10 min	30.60	21.25	33.67	28.71	21.77	34.26	29.24	22.35	35.87
		35 min	65.32	14.55	32.68	65.66	13.82	31.47	64.66	13.97	31.53
		70 min	79.16	9.02	21.11	79.31	8.42	20.90	79.11	8.78	22.13
		105 min	86.56	4.73	15.31	86.77	4.50	13.34	86.84	4.07	13.03
Marrón	10	Marrón sin decolorar	43.86	14.27	24.30	43.49	14.26	23.95	42.20	14.12	23.54
		35 min	70.90	9.91	25.24	69.83	8.64	23.11	69.80	10.07	26.12
		70 min	86.92	3.42	14.95	86.37	3.96	15.91	86.74	4.34	16.55
Blanco	10	Blanco	87.14	1.77	8.26	86.55	2.19	8.58	87.61	1.91	8.24

Tabla 13— Valores en promedio del CIE  $L^*a^*b^*$  en fibra de color analizados a diferentes tiempos según sitio de muestreo del fibra

n= número de animales,  $L^*$  = luminosidad,  $a^*$  = variación de color - verde a + rojo,  $b^*$  = variación de color - azul a + amarillo.

La luminosidad ( $L^*$ ) incrementó conforme aumentaba el tiempo de blanqueo ( $p=5.507e-14$ ). Este parámetro alcanzó un valor de 86.56 al minuto 105 en fibra negra y 86.92 al minuto 70 en fibra marrón, siendo similar a 87.14 ( $p>0.05$ ) obtenido en fibra blanca estos 3 experimentos son similares, el efecto de decolorado se dio (Tabla 12, Figura 11). Con peróxido de hidrogeno

n	Tiempo de blanqueo	Promedio	DE
30	0 min Marrón	43.18 <sup>d</sup>	10.47
30	Negro	05.19 <sup>a</sup>	1.78
30	05 min negro	17.94 <sup>b</sup>	1.76
30	10 min negro	29.51 <sup>c</sup>	4.60
30	35 min marrón	70.18 <sup>f</sup>	1.35
30	35 min negro	65.22 <sup>e</sup>	2.35
30	70 min negro	79.20 <sup>g</sup>	2.43
30	70 min marrón	86.92 <sup>h</sup>	1.50
30	0 min Blanco	87.14 <sup>h</sup>	1.43
30	105 min negro	86.56 <sup>h</sup>	1.56

Tabla 14—Promedio y desviación estándar de luminosidad en fibras de color según tiempo de blanqueo  
n= número de muestras de animales. Letras diferentes por columna indica diferencias de promedios por tiempo de blanqueo. Desviación estándar (DE)

La luminosidad ( $L^*$ ) de la fibra negra incrementa cuando el tiempo de blanqueo aumenta de 5 a 105 minutos, demostrándose alta luminosidad de 86.56, asimismo en marrón de 86.92, lográndose un blanqueo comparable con la fibra blanca con una luminosidad de 87.14 (Figura 11).

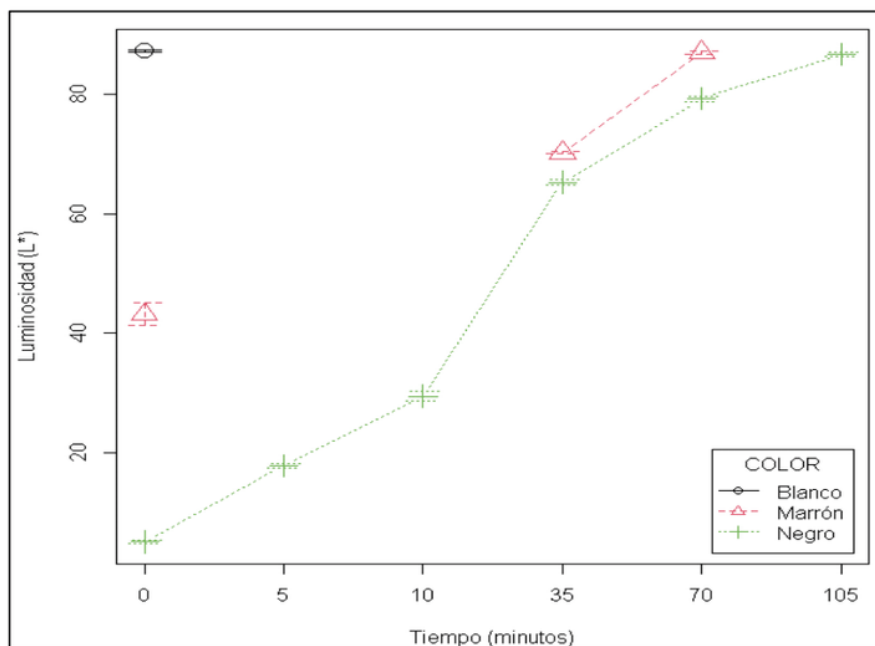


Figura 11 — Variación de luminosidad ( $L^*$ ) en fibras de color según tiempo de blanqueo

El mayor incremento de la luminosidad ( $L^*$ ) de 5.19 a 65.22 se observó en los primeros 35 minutos, donde ocurre la degradación del pigmento eumelanina de negro pasando a marrón oscuro, marrón claro y marrón amarillento. Desde el minuto 35 a 105 la luminosidad incrementó en 21.38, la tonalidad del marrón cambió a LF y blanco total al minuto 105. La variación lenta se debe a la poca cantidad de pigmento residual que se encuentra en la fibra después de los 35 minutos de blanqueo (Figura 12 y Figura 13).

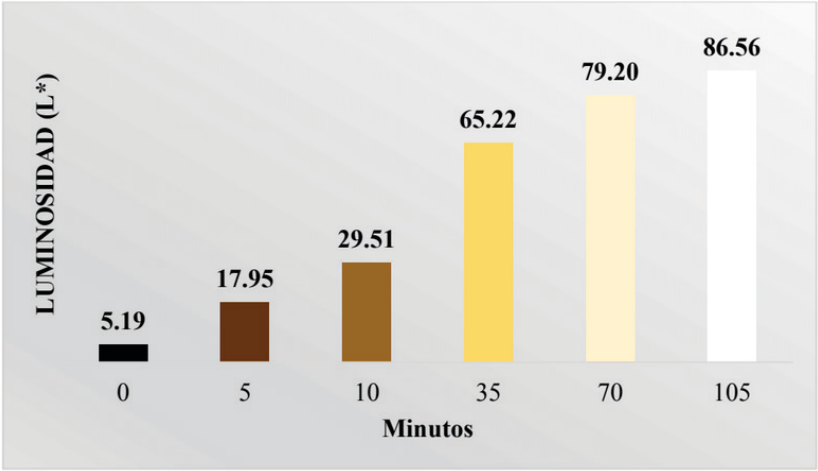


Figura 12—Variación de luminosidad de la fibra negra blanqueada entre 5 y 105 minutos.

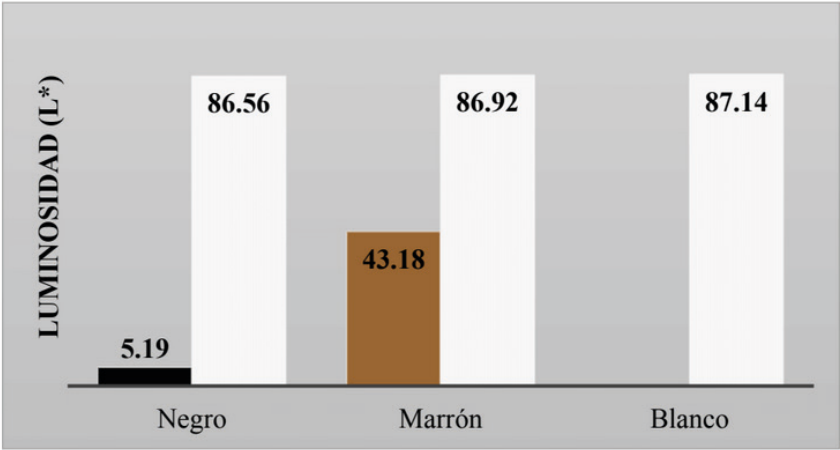


Figura 13—Comparación de luminosidad ( $L^*$ ) antes y después del blanqueo

Con el blanqueo se demostró alta luminosidad ( $L^*$ ) en la fibra negra, la intensidad ( $C^*$ ) disminuye de 54.36 a 12.87 y la tonalidad ( $H^*$ ) se mantiene entre 0.43 y 1.27. El mismo patrón de variación se observó en la fibra marrón, la luminosidad ( $L^*$ ) aumentó hasta 86.92, la intensidad ( $C^*$ ) disminuyó de 27.85 a 16.63 y la tonalidad se mantiene entre 1.04 y 1.27. Estos parámetros de colorimetría fueron semejantes con la luminosidad (87.14), intensidad (8.79) y tonalidad (1.33) obtenidas en la fibra blanca (Tabla 13 y Figura 14).

Color de fibra	n	Blanqueo (min)	Luminosidad (L*)	Intensidad (C*)	Tonalidad (H*)
Negro	30	Inicial	5.19 <sup>a</sup>	54.36 <sup>a</sup>	0.43 <sup>a</sup>
Marrón	30	Inicial	43.14 <sup>b</sup>	27.85 <sup>b</sup>	1.04 <sup>b</sup>
Blanco	30	Inicial	87.14 <sup>c</sup>	8.79 <sup>c</sup>	1.33 <sup>c</sup>
Negro	30	Min 105	86.56 <sup>c</sup>	12.87 <sup>d</sup>	1.27 <sup>d</sup>
Marrón	30	Min 70	86.92 <sup>c</sup>	16.63 <sup>e</sup>	1.27 <sup>d</sup>

Tabla 15—Promedios de luminosidad (L\*), intensidad (C\*) y tonalidad (H\*) en fibra de alpaca pre y pos blanqueo

Letras diferentes por columna indica diferencias de promedios y letras iguales indica que no existe estadísticamente una diferencia en promedios, (n) número de muestras por animal

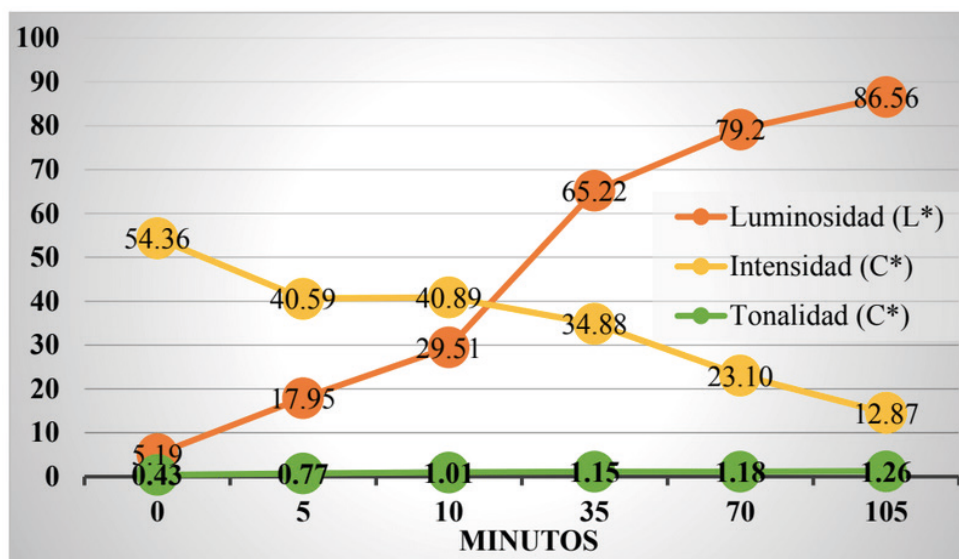


Figura 14—Variación de luminosidad, intensidad y tonalidad en fibra negra blanqueada

## 1.2 Porcentaje de fibras meduladas y error estándar en alpaca de color

Existe efecto del color de fibra sobre el porcentaje de medulación total ( $p=4.43e-16$ ), el porcentaje de medulación total  $\pm$  EE obtenida en fibra negra fue  $75.8 \pm 1.72\%$  similar a  $72.55 \pm 1.78\%$  obtenido en fibra marrón y en los dos casos fue superior a  $50.77 \pm 1.97\%$  obtenido en fibra blanca (Tabla 14). El porcentaje de los tipos de fibras meduladas y sus respectivos errores estándar fueron diferentes en alpacas de color, excepto el porcentaje de fibras fuertemente meduladas y su error estándar fueron similares en alpacas de color.

Según el sitio de muestreo de fibra el porcentaje de fibra con médula fragmentada, discontinua, continua, fuertemente medulada y la medulación total fueron similares estadísticamente ( $p>0.05$ ), asimismo sus respectivos errores estándar (Tabla 14).

Factores	MF (%)	EE (%)	MD (%)	EE (%)	MC (%)	EE (%)	FM (%)	EE (%)	MT (%)	EE (%)	SM (%)
Color de fibra	***	***	***	***	***	***	ns	ns	***	***	***
Negro	38.54 <sup>a</sup>	1.98 <sup>a</sup>	18.77 <sup>a</sup>	1.58 <sup>a</sup>	17.43 <sup>a</sup>	1.53 <sup>a</sup>	1.05 <sup>a</sup>	0.40 <sup>a</sup>	75.81 <sup>a</sup>	1.72 <sup>a</sup>	24.19 <sup>a</sup>
Marrón	31.56 <sup>b</sup>	1.87 <sup>b</sup>	20.44 <sup>a</sup>	1.62 <sup>a</sup>	19.28 <sup>a</sup>	1.58 <sup>a</sup>	1.27 <sup>a</sup>	0.45 <sup>a</sup>	72.55 <sup>a</sup>	1.78 <sup>a</sup>	27.45 <sup>a</sup>
Blanco	24.64 <sup>c</sup>	1.73 <sup>c</sup>	11.81 <sup>b</sup>	1.23 <sup>b</sup>	13.31 <sup>b</sup>	1.35 <sup>b</sup>	1.25 <sup>a</sup>	0.44 <sup>a</sup>	50.77 <sup>b</sup>	1.97 <sup>b</sup>	49.23 <sup>b</sup>
Sitio de muestreo	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Paleta	29.51 <sup>a</sup>	1.84 <sup>a</sup>	18.17 <sup>a</sup>	1.54 <sup>a</sup>	18.20 <sup>a</sup>	1.54 <sup>a</sup>	1.29 <sup>a</sup>	0.46 <sup>a</sup>	67.17 <sup>a</sup>	1.83 <sup>a</sup>	32.83 <sup>a</sup>
Costillar	31.37 <sup>a</sup>	1.87 <sup>a</sup>	17.22 <sup>a</sup>	1.42 <sup>a</sup>	17.01 <sup>a</sup>	1.50 <sup>a</sup>	1.20 <sup>a</sup>	0.43 <sup>a</sup>	66.80 <sup>a</sup>	1.85 <sup>a</sup>	33.20 <sup>a</sup>
Grupa	33.63 <sup>a</sup>	1.87 <sup>a</sup>	15.63 <sup>a</sup>	1.50 <sup>a</sup>	14.81 <sup>a</sup>	1.42 <sup>a</sup>	1.08 <sup>a</sup>	0.41 <sup>a</sup>	65.16 <sup>a</sup>	1.79 <sup>a</sup>	34.85 <sup>a</sup>

Tabla 16—Porcentaje de tipos de fibra y su respectivo error estándar (EE) en alpaca Huacaya según color y sitio de muestreo

Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas,  $p < 0.001$  (\*\*\*); letras similares, sin diferencias significativas (ns). Tipos de fibra: sin médula (SM), medulada fragmentada (MF), medulada discontinua (MD), medulada continua (MC) y fuertemente medulada (FM). Medulación total (MT) y su EE es lo mismo para porcentaje de fibra sin medula (SM).

No existe efecto significativo de sitio de muestreo del animal sobre el porcentaje de medulación ( $p = 0.436$ ). La paleta, costillar medio y grupa en fibras de alpaca Huacaya son iguales ( $p > 0.05$ ). según color la fibra negra tiene mayor porcentaje de medulación que la fibra blanca (Tabla 14 y Figura 16).

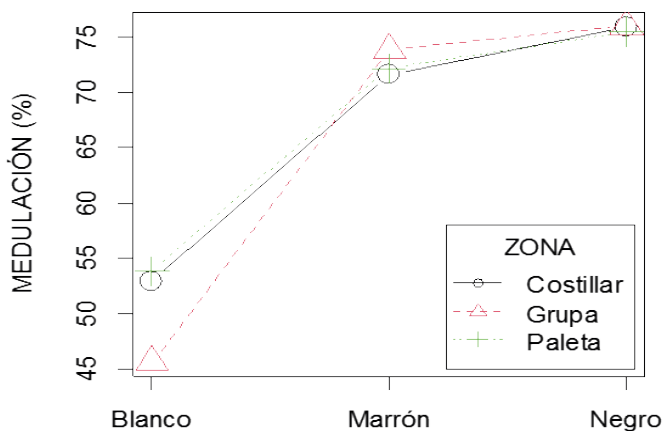


Figura 15 — Porcentaje de fibra medulada por color y sitio de muestreo, evaluado con microscopio de proyección

Los porcentajes de fibra según el tipo de médula más su error estándar (EE) estadísticamente fueron diferentes ( $p < 0.05$ ), los más altos valores de porcentaje se observaron para fibra sin médula ( $33.62 \pm 1.82$ ) y fibra con médula fragmentada ( $31.50 \pm 10.17$ )

las cuales fueron similares ( $p>0.05$ ), seguido del porcentaje de fibra con médula discontinua ( $17.01\pm1.45$ ) y médula continua ( $16.67\pm1.48$ ), las mismas que fueron similares ( $p>0.05$ ), el porcentaje de fibra fuertemente medulada más su error estándar fue el más bajo que el resto de las fibras (Tabla 16).

Tipo de fibra por su médula	n	Promedio (%)	EE (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
Sin médula (SM)	90	33.62 <sup>a</sup>	1.82 <sup>a</sup>	6.67	81.83
Médula fragmentada (MF)	90	31.50 <sup>a</sup>	1.86 <sup>a</sup>	10.17	62.50
Médula discontinua (MD)	90	17.01 <sup>b</sup>	1.45 <sup>b</sup>	2.83	20.17
Médula continua (MC)	90	16.67 <sup>b</sup>	1.48 <sup>b</sup>	3.83	32.50
Fuertemente medulada (FM)	90	1.19 <sup>c</sup>	0.43 <sup>c</sup>	0.17	4.17

Tabla 17—Comparación del porcentaje de fibra por su médula y su error estándar (EE) en alpaca Huacaya

Letras diferentes por columna indican diferencias estadísticas por tipo de médula y letras iguales indican valores similares. Número de muestras de fibra analizadas (n=90).

El promedio de porcentaje de fibra de alpaca por tipo de médula, estadísticamente es diferente ( $p<0.05$ ), en fibra blanca el mayor porcentaje se fibra por tipo de médula es la fibra sin medula seguido de fibra fragmentada, continua, discontinua y fuertemente medulada. En fibras de color hay mayor presencia de fibra con médula y menor porcentaje se fibra sin médula, asimismo la fibra con médula continua (MC) 16.67% es similar a la fibra con médula discontinua (MD) 17.01%, la fibra con médula fragmentada (MF) 31.50% es similar a la fibra sin medula (SM) 33.62%, la fuertemente medulada (FM) 1.19% tiene un porcentaje de medulación inferior en fibra negra, marrón y blanca (Figura 16).

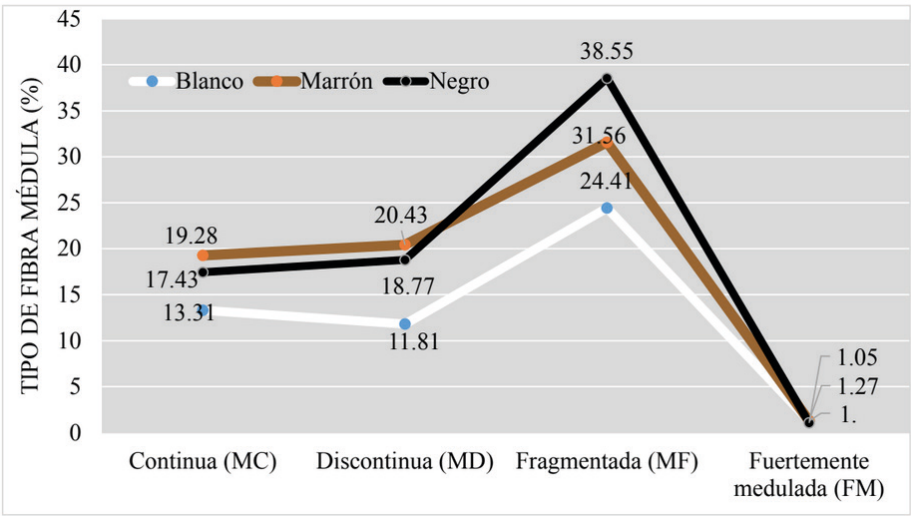


Figura 16— Variación del porcentaje de fibras meduladas en alpacas Huacaya de color

### 1.3 Diámetro medio de fibra en alpacas de color

En el costillar medio el promedio del diámetro en alpacas de color fue diferente ( $p=0.0117$ ), la fibra blanca  $20.87\pm1.97\mu\text{m}$  tiene menor diámetro promedio comparado con la fibra negra  $25.54\pm3.72\mu\text{m}$ , en cambio la fibra marrón  $21.89\pm4.01\mu\text{m}$  estadísticamente es similar a la fibra blanca como a la fibra negra. Podemos afirmar que la fibra blanca es más fina que la fibra negra pero similar al marrón (Tabla 16).

Color de fibra	n	DMF ( $\mu\text{m}$ )	CV (%)
Negro	10	$25.54^a\pm3.72$	9.44
Marrón	10	$21.89^{ab}\pm4.01$	18.58
Blanco	10	$20.87^b\pm1.97$	14.60

Tabla 18— Diámetro medio de fibra (DMF)  $\pm$  desviación estándar y coeficiente de variación de DMF (CV) en alpacas Huacaya de color

Letras diferentes por columna indica diferencias de promedios de diámetro medio de fibra (DMF) y letras iguales indica que no existe estadísticamente una diferencia en promedios (n) número de animales.

La grafica muestra, el promedio en diámetro medio de fibra (DMF) en fibra blanco y de color. Se muestra que la fibra blanca es más fina con  $20.87\mu\text{m}$  de diámetro, seguido de marrón con  $21.89\mu\text{m}$  y fibra negra con  $25.54\mu\text{m}$  de diámetro (Figura 17).

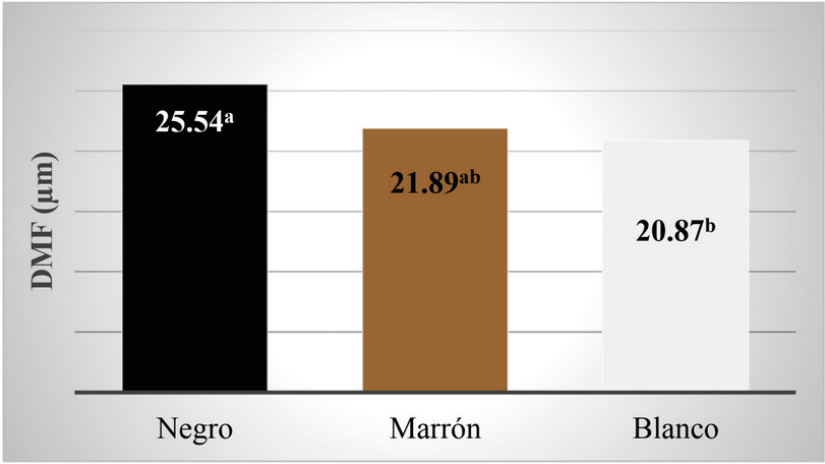


Figura 17 — Diámetro medio de fibra (DMF) en alpaca negro, marrón y blanco de alpaca Huacaya



## 2 | CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

### 2.1 Hipótesis general

Se demostró la eficiencia del peróxido de hidrógeno en la decoloración de fibra negra y marrón de alpaca Huacaya, asimismo permite la evaluación del porcentaje de medulación que resultó similar en paleta, costillar medio y grupa.

### 2.2 Hipótesis específico

- Se demostró que el peróxido de hidrógeno y el polvo decolorante si actúan eficientemente en la decoloración de la fibra negra y marrón en alpaca Huacaya, al cuantificar con el colorímetro PCE CSM7.
- El porcentaje de medulación varió en fibra negra, marrón y blanco de alpaca Huacaya, resultando similar en paleta, costillar medio y grupa.
- El diámetro medio de fibra en costillar medio varió en fibra de alpaca Huacaya, según color, siendo la fibra negra más gruesa que la blanca, pero similar al marrón.

## 3 | DISCUSIONES

### 3.1 Cuantificación de color

#### Fibra negra

Según la cuantificación de color con el sistema CIE  $L^*a^*b^*$ , el resultado obtenido en fibra de alpaca negra fue  $L^*=5.19$ ,  $a^*=49.33$ ,  $b^*=22.82$  inferior a  $L^*=19.02\pm5.10$  reportado por Pinares et al. (2021),  $L^*=17.40\pm1.09$ ,  $a^*=0.85\pm 0.45$ ,  $b^*=-0.02 \pm0.61$  reportado por Cruz et al. (2021),  $L^*=17.23\pm1.93$ ,  $a^*=1.38\pm0.87$ ,  $b^*=2.52\pm1.59$  reportado por Guridi et al. (2011). Los parámetros de CIE  $L^*a^*b^*$  fueron inferiores a los valores reportados por otros autores, esto se debe a que las alpacas estudiadas tenían fibra más negra que el de los otros autores debido a la alimentación, manejo genético, altitud de crianza, marca y modelo del colorímetro usado fueron diferentes.

#### Fibra marrón

En cuanto a cuantificación de color con CIE  $L^*a^*b^*$ , el resultado obtenido en fibra de alpaca marrón fue  $L^*=43.18$ ,  $a^*=14.22$ ,  $b^*=24.93$  superior a  $L^*=29.85\pm3.78$  reportado por Pinares et al. (2021),  $L^*=31.4\pm4.97$ ,  $a^*=9.15\pm 0.86$ ,  $b^*=14.60\pm2.48$  reportado por Cruz et al. (2021) y  $L^*=36.25\pm6.88$ ,  $a^*=10.52\pm0.98$ ,  $b^*=21.78\pm2.57$  reportado por Guridi et al. (2011). El resultado obtenido es ligeramente superior a lo reportado por los diversos autores, debido a que las alpacas estudiadas tienen fibra más clara, alimentación, manejo de crianza (genética del animal), altitud de crianza (m.s.n.m.) marca y modelo de colorímetro usado para el análisis es diferente.

### **Fibra blanca**

La cuantificación de color con el colorímetro en fibra de alpaca blanca fue  $L^*=87.14$ ,  $a^*=1.96$ ,  $b^*=8.36$ , similar a  $L^*=87.1\pm3.97$   $a^*=-0.34\pm0.55$   $b^*=8.27\pm1.40$  reportado por Cruz et al. (2021) y  $L^*=83.72\pm4.35$   $a^*=2.89\pm4.65$   $b^*=7.83\pm5.42$  reportado por Lupton et al. (2006). Superior a  $L^*=73.58\pm2.94$ ,  $a^*=2.17\pm0.58$   $b^*=12.42\pm1.37$  reportado por Guridi et al. (2011). Los resultados obtenidos muestran similitud a lo reportado por diversos autores, debido a que las alpacas blancas tienen una fibra casi homogénea en cuanto a color en los diferentes departamentos, a pesar que la alimentación, crianza, manejo genético es diferente suelen a ser las mismas.

### **Fibra de color blanqueada**

La luminosidad de fibra negro blanqueado fue de  $86.56 \pm 1.56$  y en fibra marrón  $86.92\pm1.50$ . En lana tunecina blanqueada durante 90 minutos, con 2 mordientes sulfato de cobre (A) y sulfato de hierro (B) y peróxido de hidrógeno al 30% Bouagga et al. (2020) determinaron una variación de luminosidad  $58.5\pm3.4$  a  $75.1\pm30$  y  $58.5\pm3.4$  a  $79.7\pm5.4$  en A y B, respectivamente. Por otro lado, Harizi et al. (2013) al realizar estudio de blanqueamiento de cabello de dromedario marrón usó sulfato de hierro como mordiente y peróxido de hidrógeno como agente blanqueador al 30%, donde la variación de la luminosidad ( $L^*$ ) cambio de  $56.18\pm1.1$  a  $77.73\pm0.4$  en un tiempo de 60 minutos. Mortazavi et al. (2014) al realizar estudio de blanqueamiento en lana negra de Karacul usó sulfato de cobre como mordiente y peróxido de hidrógeno a 60ml/l como agente blanqueador donde la luminosidad ( $L^*$ ) vario de 16.27 a 78.00 en un tiempo de 75 minutos.

El blanqueamiento fue más eficiente en este estudio, siendo superior en cuanto a luminosidad ( $L^*$ ), a comparación con los resultados obtenidos por diversos autores, esta ligera variación es debido a la concentración de peróxido de hidrógeno que usaron y diferente fibra del animal. Se debio a la concentración a diferente y diferentes muestras el tiempo de decoloración es efis siendo diferentes animales

### **Tonalidad ( $H_{ab}$ ) e Intensidad ( $C_{ab}$ )**

Según los resultados obtenidos en fibra de alpaca negra  $H^*=0.43\pm0.01$ ,  $C^*=54.36\pm4.04$  es superior a  $H^*=0.05\pm0.49$ ,  $C^*=1.08\pm0.35$  reportado por Pinares et al. (2021) y  $H^*=-0.18\pm0.49$ ,  $C^*=0.99\pm0.58$  reportado por Cruz et al. (2021). En fibra de alpaca marrón los resultados fueron  $H^*=1.04\pm0.03$ ,  $C^*=27.85\pm3.27$  es ligeramente superior a  $H^*0.97\pm0.06$   $C^*16.60\pm1.94$  reportado por Pinares et al. (2021) y  $H^*=1.00\pm0.06$ ,  $C^*=17.20\pm2.38$  reportado por Cruz et al. (2021) esta ligera variación es debido a que las alpacas son de diferentes Departamentos, donde la alimentación, crianza, altitud, manejo genético, marca y modelo del colorímetro usado es diferente.

### 3.2 Porcentaje de medulación

En alpacas negras el porcentaje de medulación fue  $75.81 \pm 1.72\%$  (mínimo 54.05% y máximo 83.00%), superior a  $27.92 \pm 7.48\%$  reportado por Aruquipa (2015) en alpacas negras de Bolivia. La diferencia se debe al equipo utilizado en el análisis, diferentes países, alimentación diferente.

En alpacas marrón claro el porcentaje de medulación fue  $72.55 \pm 1.78\%$  (mínimo 66.94% y máximo 84.39%) superior a  $26.86 \pm 7.96\%$  reportado en alpacas de Bolivia por Aruquipa (2015) y similar a  $79.44 \pm 3.27\%$  reportado por Radzik-Rant y Wiercinska (2021) en alpacas marrón claro de Polonia.

En alpacas de color blanco el porcentaje de medulación fue  $50.77 \pm 1.97\%$  con una variación de (mínimo 26.61% y máximo 64.66%), similar a ( $53.56 \pm 21.89\%$  Australia,  $51.73 \pm 13.66\%$  África y  $52.84 \pm 25.30\%$  Europa) encontrados por Radzik-Rant et al. (2018), inferior a  $67.44 \pm 18.30\%$  reportado por Pinares et al. (2019),  $71.14 \pm 3.10\%$  reportado por Contreras (2010),  $78.90\%$  reportado por Villarroel (1963) y  $58.39 \pm 4.48\%$  reportado por Radzik-Rant et al. (2021). Por otro lado, fue superior a  $25.47 \pm 7.22\%$  reportado por Aruquipa (2015).

El porcentaje de fibras blanca con medula fragmentada fue de  $24.64 \pm 1.73\%$ , es inferior a  $36.17\%$  reportado por Pinares et al (2019) y  $36.6\%$  reportado Barreda (2020). Con medula discontinua fue  $20.44 \pm 5.84\%$ , es similar a  $17.02\%$  reportado por Barreda (2020) y  $14.01\%$  reportado por Pinares et al. (2019).

El porcentaje de fibra blanca con médula continua fue de  $13.31 \pm 1.35\%$ , similar a  $10.4\%$  reportado por Barreda (2020) y  $16.90 \pm 4.53\%$  reportado por Radzik-Rant y Wiercinska (2021). Ligeramente superior a  $7.56\%$  reportado por Guillen y Leiva (2020). Inferior a  $23.90\%$  encontrado por Pinares et al. (2019) y  $18.74 \pm 1.95$  encontrado por Contreras (2010). la fibra fuertemente medulada fue  $1.14 \pm 0.69\%$ , es inferior a  $4.5\%$  reportado por Bareda (2020) en alpacas de color blanco.

El porcentaje de fibra con médula continua fue  $19.28 \pm 1.58\%$  en fibra marrónes similar a  $21.33 \pm 3.30$  encontrado por Radzik-Rant y Wiercinska (2021) en alpacas de Polonia. La mínima diferencia en algunos casos del porcentaje de medulación por tipo de médula es alpacas blancas y de color se debe al tipo de equipo usado, alimentación, manejo y lugares diferentes de estudio.

Análisis de varianza de varianza para ver si hay tukey

### 3.3 Diámetro medio de fibra de alpaca

El diámetro medio de fibra en color negro reportado fue de  $25.54 \pm 3.72 \mu\text{m}$  la cual es similar a  $26.69 \pm 0.97 \mu\text{m}$  reportado por Machaca el al. (2017) y  $25.52 \mu\text{m}$  hallado por Nina (2017). Es ligeramente más fino a  $27.10 \mu\text{m}$  reportado por Oria et al. (2009), superior a  $23.63 \mu\text{m}$  reportado por Aruquipa (2015).

Por otra parte, en fibra de alpaca color marrón los datos reportados fueron  $21.89 \pm 4.01\%$ , la cual es ligeramente más fino a  $23.81 \pm 0.66 \mu\text{m}$  reportado por machaca t al. (2017),  $23.09 \mu\text{m}$  reportado por Aruquipa (2015) y  $25.3 \mu\text{m}$  reportado por Wang et al. (2005), también es ligeramente superior a  $20.77 \mu\text{m}$  reportado por Nina (2017).

En alpacas Huacaya de color blanco los datos reportados fueron  $20.87 \pm 1.97\%$  la cual es similar a  $20.20 \mu\text{m}$  reportado por Radzik-Rant et al. (2018) y  $20.17 \mu\text{m}$  reportado por Nina (2017), es ligeramente más fino a  $22.16 \mu\text{m}$  reportado por Pinares et al. (2019),  $22.42 \mu\text{m}$  reportado por Aruquipa (2015) y  $22.45 \mu\text{m}$  reportado por y Oria et al. (2009), asimismo es superior a  $19.2 \mu\text{m}$  y hallador por Barreda (2020) y  $19.91 \mu\text{m}$  reportado por Guillen y Leiva (2020). Los valores hallados muestran que hay presencia de animales con buena calidad de fibra en especial los de color blanco.

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 1 | CONCLUSIONES

Se demostró la eficiencia del peróxido de hidrógeno 40vol en la decoloración de fibra negra y marrón de alpaca Huacaya. Se logró el blanqueo en fibra negra (86.56) a 105 minutos y en el marrón (86.92) a 70 minutos, demostrándose valores similares de luminosidad con fibra blanca (87.14).

El porcentaje de medulación es mayor en fibra de alpaca negra y marrón ( $72.55 \pm 9.11\%$ ) fue similar, en fibra blanca fue menor ( $50.77 \pm 13.45\%$ ),  $p < 0.05$ . El porcentaje de medulación en las partes por sitio de muestreo (paleta, costillar medio y grupa) fue similar ( $p > 0.05$ ).

En el costillar medio el diámetro medio de fibra negra ( $25.54\mu\text{m}$ ) y marrón ( $21.89\mu\text{m}$ ) fue similar, asimismo el diámetro medio de fibra marrón fue similar al de la fibra blanca ( $20.87\mu\text{m}$ ). La fibra negra fue más gruesa que la fibra blanca.

## 2 | RECOMENDACIONES

Realizar más estudios sobre el proceso de decolorado, usar mordientes e insumos químicos aparte de peróxido de hidrógeno, tener mucho cuidado con la concentración y tiempo de decolorado, por que a mayor tiempo y mayor concentración puede dañar la estructura de la fibra, es recomendable hacer estudios en cuanto a resistencia a la tracción antes y después del proceso de decolorado para saber si hubo danos en la fibra decolorada.

Para determinar el porcentaje de medulación en fibra de alpaca negra y marrón oscuro, es recomendable realizar el proceso de blanqueo a un tiempo no mayor a 10 minutos para poder observar la médula, dependerá de la concentración del oxidante a usar, para no alterar los resultados. En fibras de color no oscuros se recomienda determinar el porcentaje de medulación sin realizar el proceso de decolorado.

Para determinar si hubo variación en cuanto a finura se recomienda determinar el diámetro medio de fibra (DMF) a diferentes tiempos de blanqueo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALZOLA, R. 2002. *Curso de histología, embriología y teratología sistema tegumentario*. Guía de estudio. [Consulta: 10 de enero 2021].

ANTONINI, M.; GONZALES, M.; VALBONESI, A. 2004. *Relationship between age and postnatal skin follicular development in three types of South American domestic camelids*. *Livestock Production Science* 90 (2004) 241–246. ISSN 0301-6226. [Consulta: 10 de diciembre 2021].

ARUQUIPA, M. 2015. *Evaluación de la calidad de fibra de alpaca Huacaya (Vicugna pacos) en dos localidades del municipio de Catacora, Departamento de la Paz*. Tesis de grado. La Paz-Bolivia.

AYLAN-PARKER, J.; MCGREGOR, B.A. 2002. *Optimising sampling techniques and estimating sampling variance of fleece quality attributes in alpacas*. *Small Ruminant Research* 44: 53-64.

BARREDA F. 2020. *Características textiles y estructura medular de la fibra de alpaca Huacaya de la Provincial de Huancané*. Tesis para optar grado. Juliaca- Perú 129 pág.

BOUAGGA, T.; HARIZI, T.; SAKLI F. 2020. *Effect of Mordant Bleaching on the Optical and Mechanical Properties of Black Tunisian Wool and Optimization of the Bleaching Process*. 2020 Taylor & Francis. DOI: 10.1080/15440478.2020.183899. [Consulta: 10 enero 2022]. 2.

BUSTINZA, V. 2001. *Conocimiento del gran potencial andino*. Universidad Nacional del Altiplano Puno-Perú. 1ed. UNA, 2021.

CARPIO, M. 1978. *Características Tecnológicas de la Fibra de alpaca Suri*. Universidad Nacional Agraria la Molina. Alpaca Pert1 E.P.S.

CARPIO, M. 1991. La fibra de camélidos. En: Novoa, C. y Flórez, A. (Eds.). *Producción de rumiantes menores alpacas* (295 – 356). Lima, Perú: RERUMEN.

CCACCYA E.L. 2014. *Diversidad de colores en fibra de alpaca (vicugna pacos) en la comunidad de san miguel de meztisas del distrito de Cotaruse, Aymaraes – Apurímac*. Tesis de grado. Abancay-Apurímac. [Consulta: 02 de febrero 2022].

Centro de Estudios Regionales Andinos Bartolomé de las Casas (CBC).2015. Línea de Base de la actividad pecuaria del Distrito de Oropesa, Provincia de Antabamba, Departamento de Apurímac. Cusco, Perú.

CHECALLA, V. M. 2021. *Heredabilidad del diámetro y médula de fibra en alpacas (Vicugna pacos L.) blancas suri-anexo Quimsachata, Inia Illpa – Puno*. Tesis de grado. Puno-Perú.

CIE (Commission International de Eclerage). 2004. CIE 15: Technical Report: Colorimetry. 3. ed. Commission Internationale de l'Eclairage. Washington, The United States of America.

CIESLAK, M.; REISSMANN, M.; HOFREITER, M. LUDWIG, A. 2011. *Colours of domestication*. *Biol. Rev.* (2011), 86, pp. 885–899. DOI: 10.1111/j.1469-185X.2011.00177. x. [Consulta: 04 junio 2022].

CONTRERAS, A. 2010. *Estructura cuticular y características físicas de la fibra de alpaca Huacaya (Vicugna pacos) de color blanco en la Región de Huancavelica*. Tesis para optar el Título de Ing. Zoot. Universidad Nacional de Huancavelica. 90 pág.

CRUZ, A.; YUCRA, A.; GUTIÉRREZ, G.A.; BURGOS, A.; MORANTE, R.; GUTIÉRREZ, J.P.; CERVANTES, I.; WURZINGER, M. 2021. *Colorimetry analysis of coat color and its relationship with fiber traits in alpacas*. *Puno-Perú. Animal* 15 (2021), 100219.: ISSN 1751-7311. [Consulta: 20 marzo 2022]

- CUTIRE, R. B. 2019. *Finura y medulación de la fibra de alpacas Huacaya de color blanco en las Comunidades de Llullucha, Palcca y Accocunca Ocongate – Quispicanchi*. Tesis de grado. Cusco Perú.
- DRUML, T.; GRILZ-SEGER, G.; HORNA, M.; BREM, G. 2018. *Discriminant Analysis of Colour Measurements Reveals Allele Dosage Effect of ASIP/MC1R in Bay Horses*. Czech J. Anim. Sci., 63, 2018 (9): 347–355. [Consulta: 15 diciembre 2021].
- GUILLEN A. Y LEIVA V. 2020. *Variación en el diámetro de fibra por efecto de la medulación en vellones finos de alpacas Huacaya de tres grupos etarios*. Rev Inv Vet Perú 2020; 31(4): e19026.
- GURIDI, M.; SORET, B.; ALFONSO, L.; ARANA, A. 2011. *Single nucleotide polymorphisms in the Melanocortin 1 Receptor gene are linked with lightness of fibre colour in Peruvian Alpaca (Vicugna pacos)*. Animal Genetics, 42, 679–682. DOI: 10.1111/j.1365-2052.2011.02205.x.
- HARIZI, T., S. DHOUIB, S. MSAHLI, AND F. SAKLI. 2013. *Bleaching process investigation of tunisian dromedary hair*. International Scholarly Research Notices 2013:1–5.
- HUNTER, L.; SMUTS, S.; BOTHA A.F. 2013. *Characterizing Visually Objectionable and Nonobjectionable Medullated Fibers in Mohair*. Journal of Natural Fibers, 10:112–135, 2013. DOI: 10.1080/15440478.2013.763483.
- HUANCA, T. N.; APAZA, Y. A.; LAZO. 2007. *Evaluación del diámetro de fibra en alpacas de las comunidades de los Distritos de Cojata y Santa Rosa – Puno*. APPA – ALPA-Cusco, Perú.
- HUNTER, L. 2020. *Mohair, cashmere and other animal hair fibres*. 2020 Elsevier Ltd. All rights reserved. Pages 279-383. ISBN 9780128183984. [Consulta: 10 Abril 2022].
- ITO S.Y WAKAMATSU K. 2006. *Chemistry of melanins*. The Pigmentary System: Physiology and Pathophysiology, Second Edition Edited by James J. Nordlund, Raymond E. Boissy, Vincent J. Hearing, Richard A. King, William S. Oetting, Jean-Paul Ortonne. vol. 15.
- IWTO-52. 2006. *Conditioning procedures for testing textiles*. Copyright © in this edition International Wool Textile Organization. All rights reserved.
- IWTO-8. 2011. *Fibre diameter distribution parameters and percentage of medullated fibres in wool and other animal fibres by the projection microscope*. International Wool Textile Organization. Bruxelles, Belgium.
- LIU, X., C. J. HURREN, AND X. WANG. 2003. *Comparative analyses of two selective bleaching methods an alpaca fiber*. Fibers and Polymers 4 (3):124–28. DOI: 10.1007/BF02875459.
- LUPTON, C. J.; MCCOLL, A.; STOBART, R.H. 2006. *Fiber characteristics of the Huacaya Alpaca*. Small Ruminant Research 64: 211–224. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2005.04.023. [Consulta: 28 de noviembre 2021].
- MACHACA V.; BUSTINZA A. V.; CORREDOR F. A.; PAUCARA V.; QUISPE E.; MACHACA R., 2017. *Características de la fibra de alpaca Huacaya de Cotaruse Apurímac, Perú*. Rev Inv Vet Perú 2017; 28(4): 843-851.
- MATHIAS-RETTIG, K. Y AH-HEN, K. 2014. *El color en los alimentos un criterio de calidad medible Chile*. Agro Sur 42(2): 57-66, 2014. ISSN 0304-8802. [Consulta: 28 de noviembre 2021].
- MCGREGOR B.A. 2006. *Production attributes and relative value of alpaca fleeces in southern Australia and implications for industry development*. Small Rumin. Res., 61: 93-111.

- MCGREGOR B. A. Y QUISPE E. C. 2017. *Cuticle and cortical cell morphology of alpaca and other rare animal fibres*, The Journal of the Textile Institute, DOI: 10.1080/00405000.2017.1368112.
- MONTAZER, M.; ZARGARAN M.; RAHIMI, A. 2009. *Depigmentation of pigmented wool*. Textile Research Journal 79 (3):261–67. [Consulta: 22 enero 2022].
- MORTAZAVI, S. M.; SAFI, S.; MOGHADAM, M. K.; ZAMANI, M. 2014. *Bleaching of black pigmented karakul wool fibers using copper sulfate as catalyst*. Fibers and Polymers 15 (11):2297–306. [Consulta: 6 Enero 2022].
- MOORE, K.E.; BLACHE, D.; 2011. *Maloney, S.K. Fibre diameter and insulation in alpacas: The biophysical implications*. Small Ruminant Research. Volume 96. Issues 2–3. Pages 165-172. ISSN 0921-4488.
- NARVAEZ E. 2019. *Evaluación de la calidad de fibra de alpaca de la Comunidad Campesina de Curanco, Distrito de Antabamba- Apurímac*. Tesis de grado. Cusco –Perú.
- NINA, M.R. 2017. *Caracterización del Color de Fibra En Alpacas (Vicugna Pacos) Huacaya de la Comunidad de Lagunillas, Distrito ee Santa Lucia-Lampa*. Tesis de grado. Puno- Perú.
- NORMA TÉCNICA PERUANA. 2004. *Fibra de alpaca clasificada, Definiciones, Clasificación por grupo de Calidades, Requisitos y Rotulado*. Lima-Perú.
- ORIA, I.; QUICAÑO, E.; QUISPE Y ALFONSO, L. 2009. *Variabilidad del color de la fibra de alpaca en la zona altoandina de Huancavelica-Perú*. Animal Genetic Resources Information, 2009, 45, 79–84. [Consulta: 10 febrero 2022].
- PINARES, R. 2017. *Parámetros genéticos para la medulación y el diámetro de fibra en alpacas (Vicugna Pacos) Huacaya del fundo experimental Pacamarca*. Tesis de maestría. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- PINARES, R.; GUTIÉRREZ, G.A.; CRUZ, A.; MORANTE, R.; CERVANTES, I.; BURGOS, A.; GUTIÉRREZ J.P. 2018. *Heritability of individual fiber medullation in Peruvian alpacas*. Volume 165, August 2018, Pages 93-100. [Consulta: 04 de enero 2022].
- PINARES, R.; YAURI, W. V. 2019. *Variaciones fenotípicas de las características textiles de fibra predescerdada de vicuña*. Rev Inv Vet Perú 2019; 30(4): 1592-1602. [Consulta: 20 enero 2022].
- PINARES, R.; CRUZ, A.; DAVERIO M. S.; GUTIÉRREZ, J.P.; PONCE, F. A.; WURZINGER, M.; DI ROCCO, F.; GUTIÉRREZ, G. A. 2021. *Polimorfismos de nucleótido simple (PNSs) del gen MC1R en alpacas negras y marrones*. Perú: Rev. Perú biol. [Consulta: 25 de marzo 2022].
- POWELL B.C. Y ROGERS, G.E. 1997. *The role of keratin proteins and their genes in the growth, structure and properties of hair*. Formation and Structure of Human Hair ed. by P. Jolles, H. Zahn and H. Hocker. P 59-135.
- QUISPE, E.C.; SACHERO, D.; QUISPE, M.D.2018. *Potencial uso en la evaluación de lanas y fibras de animales de un novedoso caracterizador electrónico*. Rev Inv Vet Perú 2018; 29(3): 858-876. [Consulta: 04 junio 2022].
- QUISPE, E.; POMA, A.; PURROY, A. 2013. *Características productivas y textiles de la fibra de alpacas de raza Huacaya*. Revista Complutense de Ciencias Veterinarias 2013 7(1):1-29. [Consulta: 10 abril 2022].
- RADZIK-RANT, A.; WIERCINSKA, K. 2021. *Analysis of the wool thickness and medullation characteristics based on sex and color in a herd of alpacas in Poland* [en línea]. Arch. Anim. Breed., 64, 157–165, 2021. [Consulta: 5 Enero 2022] disponible en línea: <https://doi.org/10.5194/aab-64-157-2021>.



RADZIK-RANT, A.; POFELSKA, O.; RANT, O. 2018. *Characteristics of alpaca wool from farmed animals located on different continents*. Polonia Animal Science No 57 (2), 158. [Consulta: 12 Abril 2022].

ROGERS, G.E. 2004. *Hair follicle differentiation and regulation* Int. J. Dev. Biol. 48: 163-170. [Consulta: 20 enero 2022].

SPONENBERG, D.P.; ITO, S.; WAKAMATSU, K.; ENG, L. A. 1998. *Pigment Types in Sheep, Goats, and Llamas Pigment*. Cell Research 1:414-418. DOI:10.1111/j.1600-0749.1988.tb00145. x.

TORRES R.N. 2020. *Tasa de medulación de fibra de alpaca (Vicugna Pacos) mediante la comparacion del medulometro y el ofda 100*. Tesis de Maestria. Arequipa- Peru [Consulta: 04 de mayo 2022].

VALBONESI, A.; CRISTOFANELLI, S.; PIERDOMINICI, F.; GONZALES, M.; ANTONINI, M. 2010. *Comparison of Fiber and Cuticular Attributes of Alpaca and Llama Fleeces*. Textile Research Journal Vol 80(4): 344–353. [Consulta: 15 marzo 2022].

VÁSQUEZ R.; GÓMEZ O. E.; QUISPE, E. 2015. *Características Tecnológicas de la Fibra Blanca de Alpaca Huacaya en la Zona Altoandina de Apurímac*. Rev Inv Vet Perú 2015; 26(2): 213-222. [Consulta: 15 noviembre 2021].

VILLARROEL, J. 1963. *Un estudio de la fibra de alpaca*. Anales Científicos. Universidad Nacional Agraria La Molina. 1: 246–274.

WHEELER, J. C. 2012. *South American camelids: past, present and future*. Journal of Camelid Science, 5(1), 1-24.

WU, D., SUN, D. W. 2013. *Colour measurements by computer vision for food quality control—A Review*. Trends in Food Science & Technology 29(1): 5-20

WANG, H.; LIU, X.; WANG, X. 2005. *Internal structure and pigment granules in colored alpaca fibers* [en línea]. Fibers and Polymers 6 (3):263–68. [Consulta: 8 Febrero 2022] disponible en línea: <https://doi.org/10.1007/BF02875652>.

WANG X., WANG L. & LIU, X. 2003. *The Quality and Processing Performance of Alpaca Fibres: A report for the Rural Industries Research and Development Corporation*. RIRDC Putlication N° 03/128. Australia. 132 pág.

WILDMAN, A.B. 1954. *The microscopy of animal textile fibers*. Wool Industry Research. Association. Leeds, WIRA, 209 p.

WILSON, J.F. (1929). *The medullated wool fiber*. Hilgardia a Journal of Agricultural Science 4(5): 135-152.

## BIBLIOGRAFÍA DE INTERNET

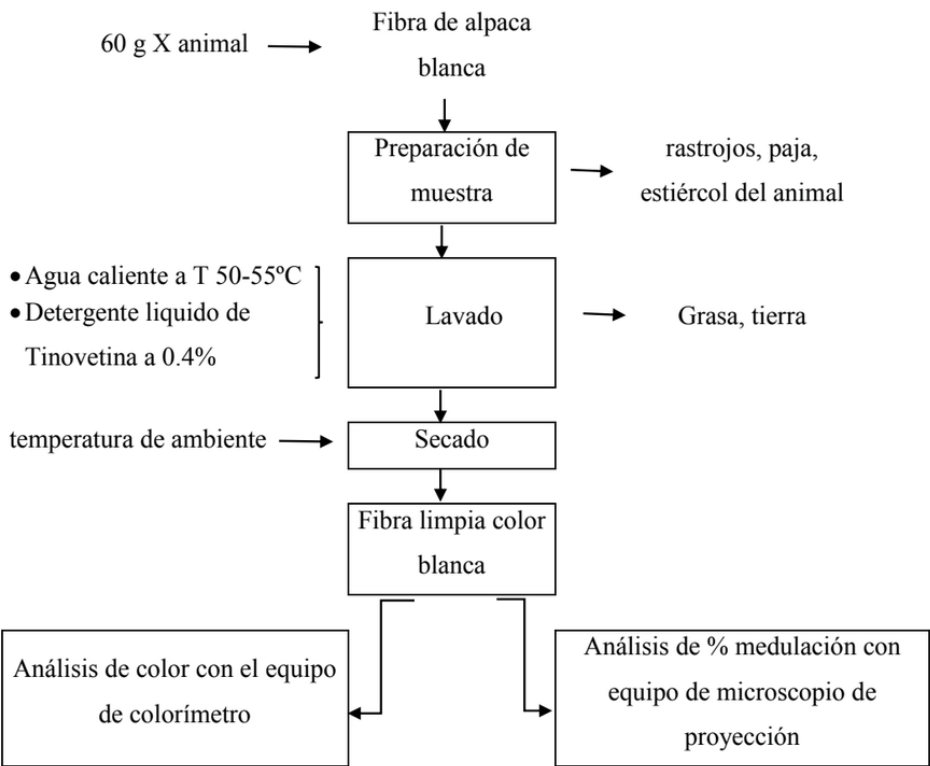
<https://www.arquimi.com/>

<https://starbrandsgroup.com/>.

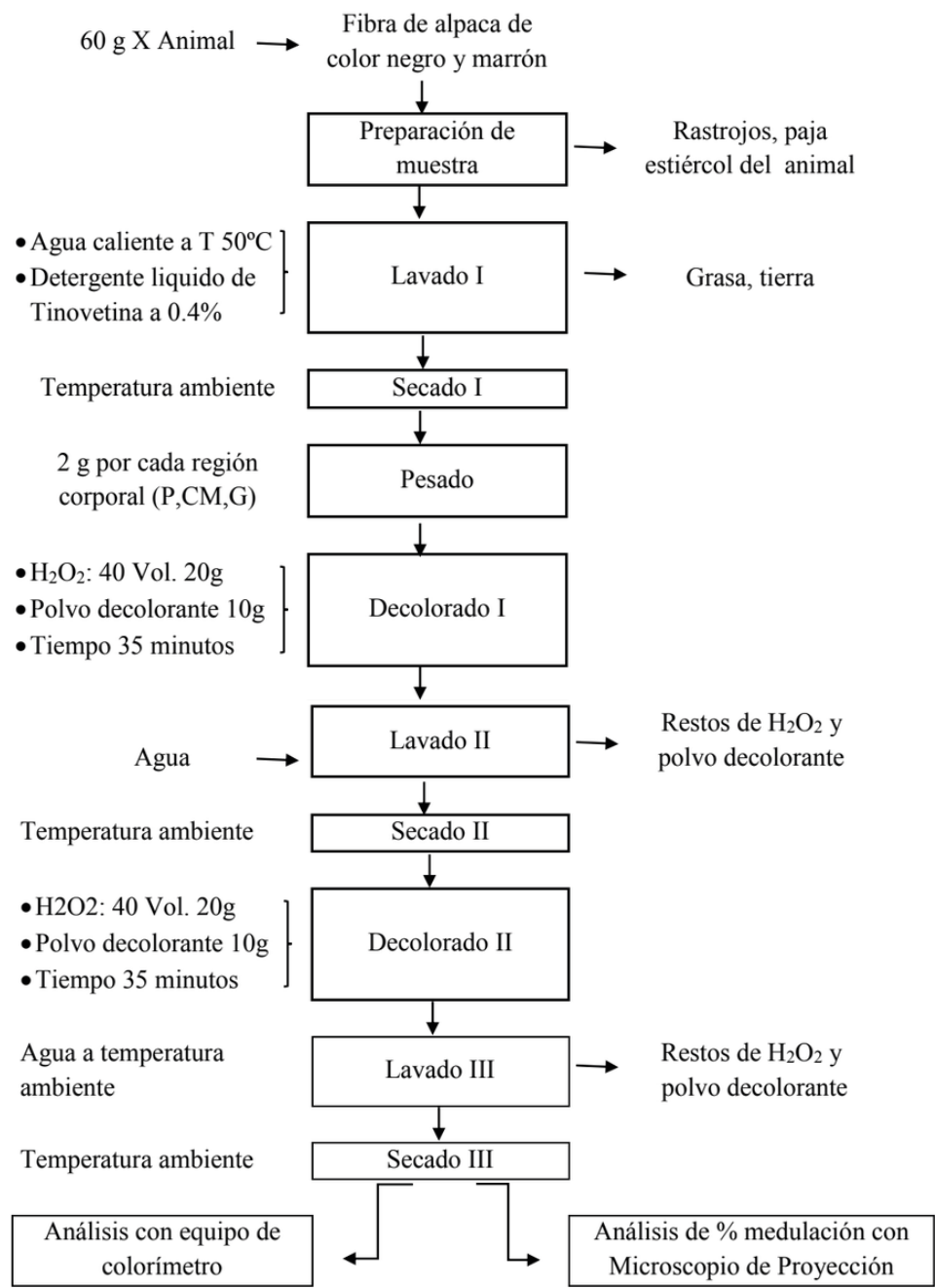
<https://www.alfaparfmlanopro.com/pe-es>

# ANEXOS

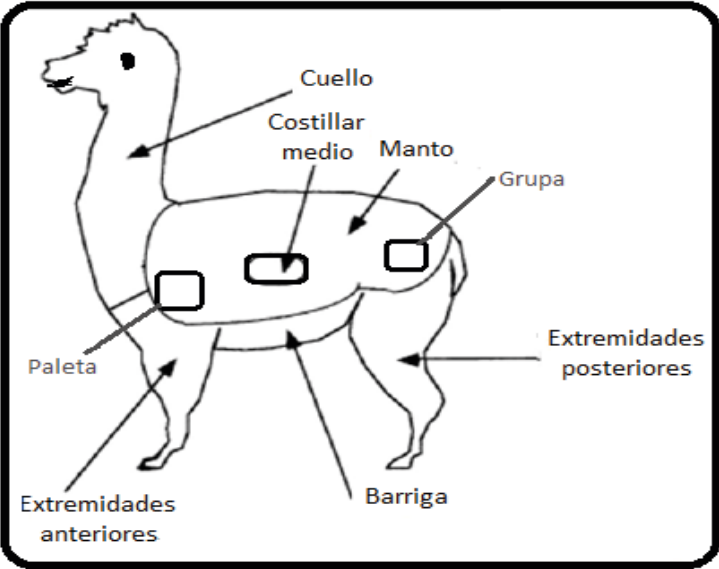
## ANEXO1 — DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE LAVADO DE FIBRA BLANCA



**ANEXO 2—DIAGRAMA DE FLUJO DE DECOLORADO EN FIBRA NEGRA Y MARRÓN EN ALPACA HUACAYA**



**ANEXO 3—SITIO DE MUESTREO DE FIBRA DE ALPACA (PALETA, GRUPA Y COSTILLAR MEDIO).**



Modificado de. Aylan-Parker y McGregor (2002)

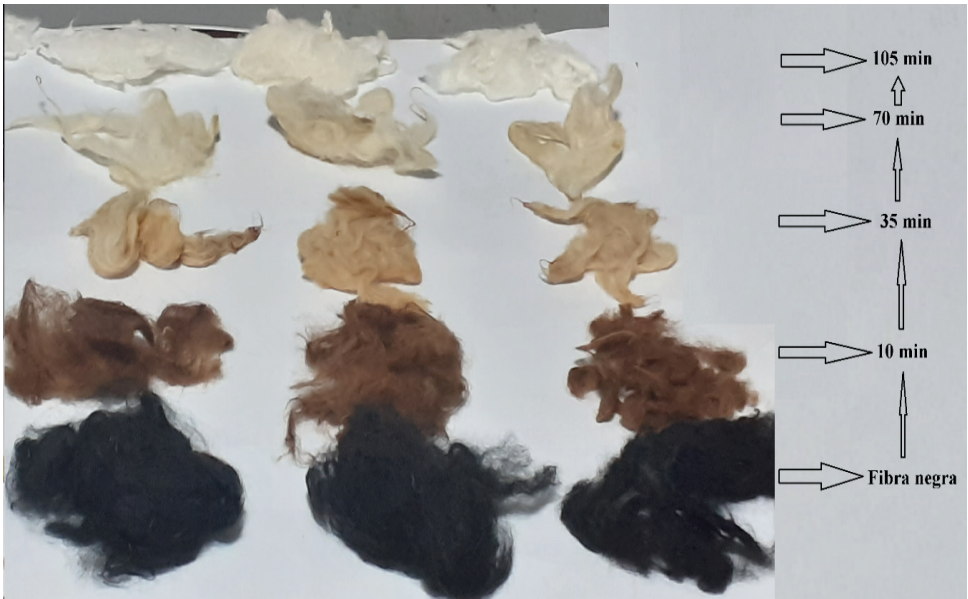
**ANEXO 4— SELECCIÓN DE ANIMALES SEGÚN COLOR**



**ANEXO 5 — PROCESO DE SECADO DE FIBRAS DECOLORADAS DE ALPACA SEGÚN COLOR**

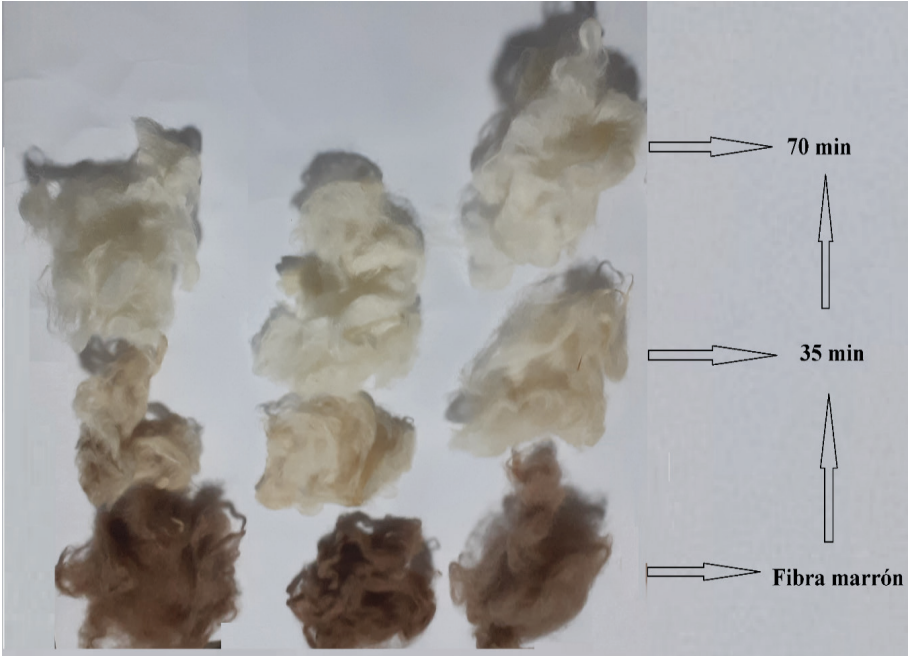


**ANEXO 6 — DECOLORADO EN FIBRA NEGRA TIEMPOS DIFERENTES**

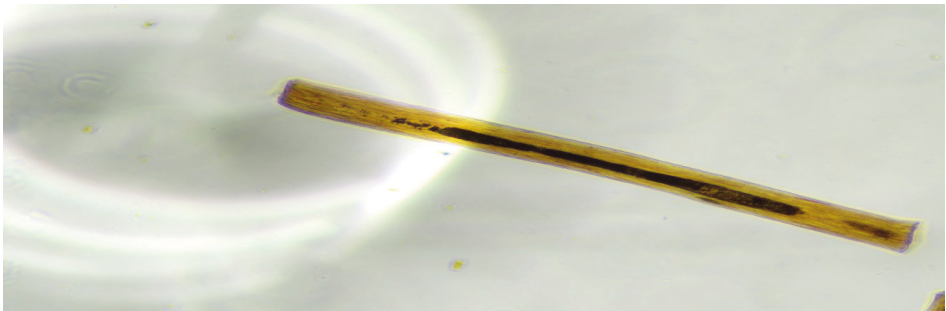




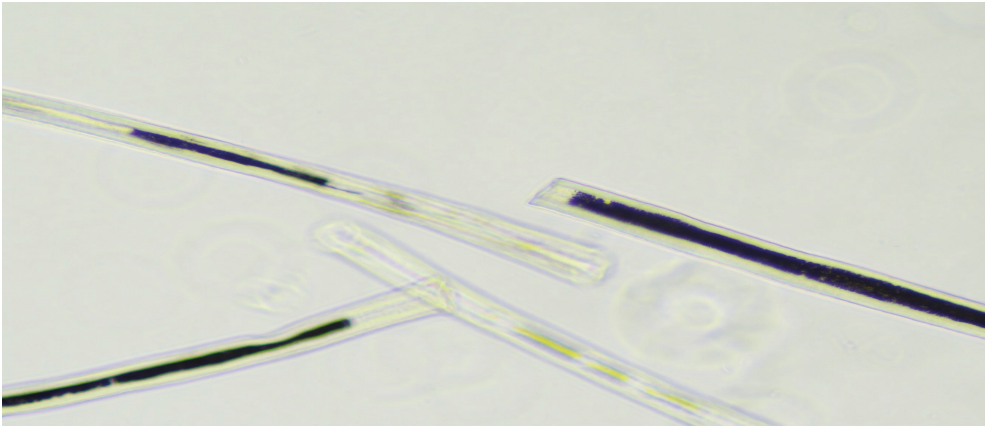
**ANEXO 7 — DECOLORADO EN FIBRA MARRÓN A TIEMPOS DIFERENTES**



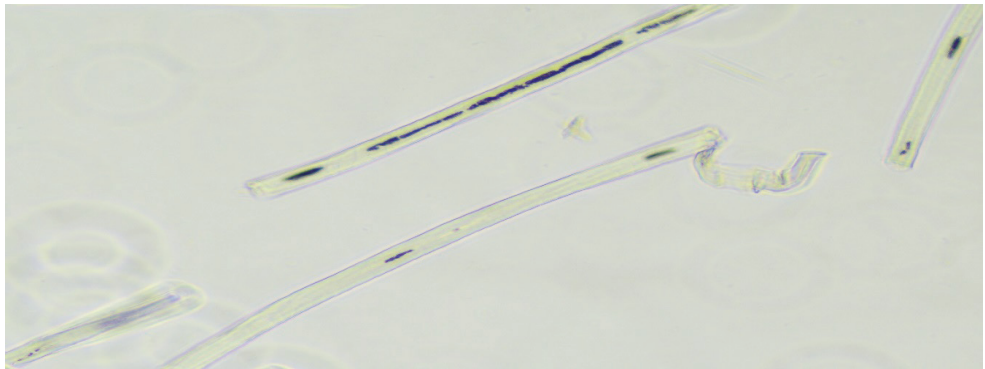
**ANEXO 8 — TIPOS DE FIBRA SEGÚN SU MÉDULA A 10 MINUTOS DE DECOLORADO EN FIBRA NEGRA**



**ANEXO 9 — TIPOS DE FIBRA SEGÚN SU MÉDULA EN FIBRA MARRÓN DE ALPACA HUACAYA**



**ANEXO 10 — TIPOS DE FIBRA SEGÚN SU MÉDULA EN FIBRA BLANCA DE ALPACA HUACAYA**



Soy Ingeniero Agroindustrial egresado de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac (UNAMBA), natural del distrito de Huancarama, provincia de Andahuaylas, región Apurímac. Me desempeño como docente e investigador en la Facultad de Ingeniería, adscrito al Departamento Académico de Ciencia y Tecnología Agroindustrial. Formo parte activa de los grupos de investigación IDEA-UNAMBA, CIDIA-UNAMBA, INNOVAVET y Agro Veritas-UNAMBA.

He desarrollado diversos trabajos de investigación orientados a la Ciencia y Tecnología de Alimentos, Agroindustria Andina, Camélidos Sudamericanos y la valorización de productos agropecuarios locales. Mis estudios han abordado temas como: pretratamientos y métodos de secado en hongos comestibles (*Suillus luteus*), caracterización fisicoquímica de especies vegetales nativas, uso de tecnologías para la conservación poscosecha de palta, así como el teñido natural de fibras de origen animal y vegetal, promoviendo la integración de saberes ancestrales con procesos científicos.

Cuento con varias publicaciones científicas y técnicas derivadas de estos estudios, y participo activamente en proyectos con enfoque de responsabilidad social universitaria (RSU), articulando la ciencia y la innovación con el desarrollo sostenible y la inclusión productiva en comunidades altoandinas.

Fotografía de:  
Franklin Lozano Cusi



	 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC</b>
Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial	



# TRANSFORMACIÓN TEXTIL

BLANQUEAMIENTO DE FIBRAS  
NATURALES DE ALPACA

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)



# TRANSFORMACIÓN TEXTIL

BLANQUEAMIENTO DE FIBRAS  
NATURALES DE ALPACA

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)