

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS

“Decoloración en fibra negra y marrón de alpaca Huacaya (*Vicugna pacos*) a diferentes tiempos con peróxido de hidrógeno y evaluación del porcentaje de medulación”

Presentado por:

Franklin Lozano Cusi

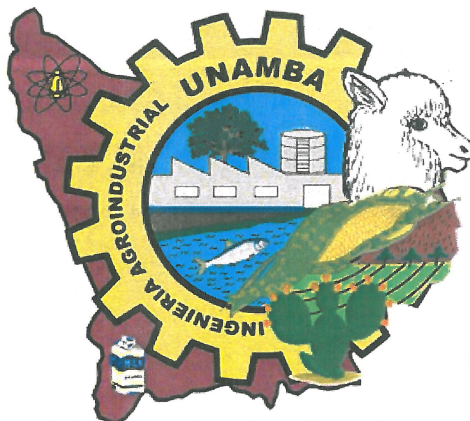
Para optar el Título de Ingeniero Agroindustrial

Abancay, Perú

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS

“DECOLORACIÓN EN FIBRA NEGRA Y MARRÓN DE ALPACA HUACAYA  
(*Vicugna pacos*) A DIFERENTES TIEMPOS CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO  
Y EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE MEDULACIÓN”

Presentado por **Franklin Lozano Cusi**, para optar el Título de:  
Ingeniero Agroindustrial

Sustentado y aprobado el 14 de setiembre del 2022 ante el jurado evaluador:

**Presidente:**

*Dra. Cándida López Loayza*

**Primer Miembro:**

*Dr. Juan Silver Barreto Carbajal*

**Segundo Miembro:**

*Mg. Alex Ernesto Muñoz Cáceres*

**Asesor (es):**

*Ing. Ruth Mery Ccopa Flores*

*MSc. Rubén Pinares Huamani*

## **Agradecimiento**

*Agradezco a Dios por la oportunidad de haberle conocido y darme el privilegio de realizar este trabajo de investigación.*

*Al MSc. Rubén Pinares Huamaní por el apoyo brindado y paciencia en el desarrollo de esta investigación.*

*A Ing. Ruth Mery Ccopa Flores por su apoyo brindado y disponibilidad del Laboratorio de Fibras y Lanos de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial UNAMBA.*

*A mi amigo, compañero de batalla Roger Atauje Cajamarca por su apoyo en la recolección de muestras y viaje a lugar in-sito.*

*A la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac (UNAMBA) y la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial (EAPIA), por ser mi alma mater.*



## **Dedicatoria**

*A Dios por la vida, la salud que me da para seguir adelante peleando la buena batalla de la fe.*

*A mi amada esposa Rossmery y mi hija Rous Angela por ser un apoyo y motivo de superación.*

*A mis padres Jesús Santiago y Jetrudes por sus consejos que me motivan y su apoyo para cumplir mis metas a seguir adelante.*

*A mi hermano(as) Dante, Neysy y Rocio por su aliento, apoyo, afecto y consejos en todo momento.*



“Decoloración en fibra negra y marrón de alpaca Huacaya (*Vicugna pacos*) a diferentes tiempos con peróxido de hidrógeno y evaluación del porcentaje de medulación”

Línea de investigación: Caracterización, desarrollo de procesos e innovación en la agroindustria

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



## ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>RESUMEN</b> .....	2
<b>ABSTRACT</b> .....	3
<b>CAPÍTULO I</b> .....	4
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	4
1.1. Descripción del problema.....	4
1.2. Enunciado del problema.....	5
1.2.1. Problema general.....	5
1.2.2. Problema específico .....	5
1.2.3. Justificación de la investigación.....	5
<b>CAPÍTULO II</b> .....	6
<b>OBJETIVOS E HIPÓTESIS</b> .....	6
2.1. Objetivos de la investigación .....	6
2.1.1. Objetivo general .....	6
2.1.2. Objetivos específicos.....	6
2.2. Hipótesis de la Investigación.....	6
2.2.1. Hipótesis general .....	6
2.2.2. Hipótesis específicas .....	6
2.3. Operacionalización de variables.....	6
2.3.1. Variables dependientes.....	6
2.3.2. Variables independientes.....	7
<b>CAPITULO III</b> .....	9
<b>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</b> .....	9
3.1. Antecedentes .....	9
3.1.1. Decoloración de fibra con peróxido de hidrógeno .....	9
3.1.2. Cuantificación del color .....	9
3.1.3. Porcentaje de medulación en fibra .....	10
3.1.4. Diámetro medio de fibra.....	11
3.2. Marco teórico .....	12
3.2.1. La alpaca.....	12
3.2.2. Fibra de alpaca.....	12
3.2.3. Componentes estructurales de la fibra.....	13



3.2.3.1. La médula .....	13
3.2.3.2. La corteza.....	15
3.2.3.3. La cutícula.....	16
3.2.4. Desarrollo de la médula a nivel folicular .....	17
3.2.5. Métodos de evaluación del porcentaje de medulación.....	18
3.2.5.1. Microscopio de proyección.....	18
3.2.5.2. Analizador Óptico del Diámetro de Fibra (OFDA 100) .....	18
3.2.6. Factores que determinan la calidad de la fibra .....	19
3.2.6.1. Diámetro medio de fibra (DMF) .....	19
3.2.6.2. Porcentaje de medulación .....	19
3.2.7. Porcentaje de medulación y DMF .....	211
3.2.8. Composición química de la fibra.....	21
3.2.9. Colores de fibra de alpaca .....	21
3.2.10. Pigmentación .....	22
3.2.11. Colorimetría .....	23
3.2.11.1. Escalas y formas de medir el color .....	24
3.2.12. Decoloración de la fibra.....	25
3.2.13. Peróxido de hidrógeno .....	27
3.2.14. Crema oxigenada marca Faire Bon 40 vol.....	29
3.2.15. Polvo decolorante en sobre HLift Lift 9 Alfaparf.....	29
3.3. Marco conceptual .....	29
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>32</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>32</b>
4.1. Tipo y nivel de investigación .....	32
4.1.1. Tipo de investigación .....	32
4.1.2. Nivel de investigación .....	32
4.2. Diseño de la investigación.....	32
4.2.1. Decoloración y colorimetría de fibra.....	32
4.2.2. Porcentaje de medulación.....	34
4.2.3. Diámetro medio de fibra.....	35
4.3. Descripción ética de la investigación .....	35
4.4. Población y muestra .....	35
4.4.1. Población .....	35
4.4.2. Tamaño de muestra .....	36



4.5. Procedimiento.....	36
4.5.1. Toma de muestra de fibra.....	36
4.5.2. Lavado de fibras .....	36
4.5.3. Decoloración de fibra .....	37
4.5.4. Cuantificación de color por colorimetría.....	38
4.5.5. Porcentaje de fibras meduladas .....	38
4.5.6. Diámetro medio de fibra.....	39
4.6. Técnica e instrumentos .....	39
4.6.1. Decoloración de fibra .....	39
4.6.2. Microscopía .....	39
4.6.3. Equipos y materiales .....	39
4.7. Análisis estadístico .....	40
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>42</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>42</b>
5.1. Análisis de resultados .....	42
5.1.1. Decoloración de fibra negra, marrón y cuantificación por colorimetría .....	42
5.1.2. Porcentaje de medulación en fibra de alpaca según color y sitio de muestreo .....	45
5.1.3. Diámetro medio de fibra en alpacas de color .....	48
5.2. Contrastación de hipótesis.....	48
5.2.1. Hipótesis general .....	48
5.2.2. Hipótesis específico.....	48
5.3. Discusiones.....	49
5.3.1. Decoloración y Cuantificación de color .....	49
5.3.2. Porcentaje de medulación.....	50
5.3.3. Diámetro medio de fibra de alpaca.....	51
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>52</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>52</b>
5.4. Conclusiones .....	52
5.5. Recomendaciones .....	52
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>53</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>62</b>





## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1</b> — Variables dependientes .....	7
<b>Tabla 2</b> — Variable independiente .....	7
<b>Tabla 3</b> — Explicación de las variables independientes .....	8
<b>Tabla 4</b> — Clasificación de fibra de alpaca por grupos de calidad .....	19
<b>Tabla 5</b> — Resumen de porcentaje de medulación y diámetro medio de fibra (DMF).....	20
<b>Tabla 6</b> — Composición de aminoácidos (mol%) en fibra de camélidos .....	21
<b>Tabla 7</b> — Clasificación de fibra de alpaca según el color .....	22
<b>Tabla 8</b> — Proceso de decoloración en fibra de alpaca a concentraciones, mordientes y tiempos diferentes. ....	27
<b>Tabla 9</b> — Concentración de peróxido de hidrógeno en volúmenes.....	28
<b>Tabla 10</b> — Diseño de investigación para la decoloración de fibra negra según sitio de muestreo .....	32
<b>Tabla 11</b> — Diseño de investigación para la decoloración de fibra marrón según sitio de muestreo .....	33
<b>Tabla 12</b> — Tratamiento de muestras con peróxido de hidrogeno y polvo decolorante en fibra negra y marrón de alpaca.....	33
<b>Tabla 13</b> — Tratamientos para el proceso de cuantificación de color en fibra blanca y de color.....	34
<b>Tabla 14</b> — Diseño de investigación para la evaluación del porcentaje de medulación según color y sitio de muestreo.....	34
<b>Tabla 15</b> — Estructura de datos para el análisis de diámetro medio de fibra según color.....	35
<b>Tabla 16</b> — Valores promedio de CIE L*a*b* según color, tiempo y sitio de muestreo en fibra de alpaca Huacaya .....	42
<b>Tabla 17</b> — Parámetros colorimétricos CIE L*a*b* en fibra de color a diferentes tiempos de decoloración.....	43
<b>Tabla 18</b> — Costo de decoloración en fibra de color en alpaca Huacaya .....	44
<b>Tabla 19</b> — Porcentaje de fibras por tipo de medulación y error estándar (EE) según color y sitio de muestreo en alpaca Huacaya.....	46
<b>Tabla 20</b> — Promedio de porcentaje de fibra y su error estándar (EE) en alpaca Huacaya.....	47
<b>Tabla 21</b> — Diámetro medio de fibra (DMF) en alpaca Huacaya de color .....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> — 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).....	13
<b>Figura 2</b> — Esquema de clasificación de fibras meduladas. Adaptado de Pinares et al. (2018) .....	14
<b>Figura 3</b> — Clasificación de fibras según la presencia y tipos de médula, corte longitudinal. Adaptado de Pinares et al. (2018).....	14
<b>Figura 4</b> — Representación gráfica del corte transversal de la fibra de alpaca. Adaptado de Villarroel (1963).....	15
<b>Figura 5</b> — 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).....	17
<b>Figura 6</b> — Desarrollo de la médula a nivel folicular. Tomado de Rogers (2004).....	18
<b>Figura 7</b> — Estructura química de feomelanina (A) y eumelanina (B). Tomado de Mortazavi et al. (2014).....	23
<b>Figura 8</b> — 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) ....	23
<b>Figura 9</b> — Coordenadas de color en el sistema CIE L*a*b*. Adaptado de Mathias-Rettig y Ah-Hen (2014).....	25
<b>Figura 10</b> — Principios de decoloración en fibras pigmentadas. (a) fibra pigmentada, (b) fibra mordentada, (c) fibra mordentada/lavada, (d) fibra decolorada tomado de Mortazavi et al. (2014) .....	26
<b>Figura 11</b> — Proceso de lavado de fibra. Modificado de Calderón (2019) .....	37
<b>Figura 12</b> —Variación de la Luminosidad a tiempos diferentes de decoloración en fibra negra .....	44
<b>Figura 13</b> — Porcentaje de medulación total en fibra negra, marrón y blanca de alpaca raza Huacaya .....	45
<b>Figura 14</b> — Variación del porcentaje de fibras meduladas en alpacas Huacaya de color.....	47

## INTRODUCCIÓN

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 de color mantienen menores precios en el mercado de la industria textil, debido a la baja calidad y productividad de la fibra (Aragón y Mamani, 2018). La presencia de pigmento (melanina) en la fibra requiere un proceso químico de decoloración para su eliminación (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). La 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 pasar por un proceso de decoloración necesariamente usando métodos químicos (Carpio, 1991).

Esta investigación aborda la decoloración, cuantificación por colorimetría, determinación de fibras meduladas y diámetro medio de fibra en alpacas de color negro, marrón y blanco. En consecuencia, este estudio determina el tiempo de inmersión de peróxido de hidrógeno en la decoloración de fibra de alpaca Huacaya negra y marrón, asimismo permite conocer la calidad de fibra de alpaca Huacaya de la comunidad de Sonccoccocha según color y sitio de muestreo de fibra de alpaca en el Distrito de Oropesa, Provincia de Antabamba.



## RESUMEN

El objetivo de la tesis fue determinar el tiempo de inmersión con peróxido de hidrogeno en la decoloración de fibra negra y marrón; evaluar el porcentaje de medulación según color de fibra y sitio de muestreo en alpaca Huacaya. Para 2g de fibra se usó crema oxigenada (40 vol) y polvo decolorante (High Lift) en proporción de 2 a 1. La luminosidad ( $L^*$ ) se evaluó mediante colorimetría (PCE-CSM7) a 5, 10, 35, 70 y 105 minutos en fibra negra, a 35 y 70 minutos en fibra marrón. La medulación en fibra negra se evaluó a los 10 minutos de decoloración, en fibra marrón y blanca se evaluaron sin decoloración usando microscopio de proyección. La luminosidad en fibra negra incrementó de  $5.19 \pm 1.78$  hasta  $86.60 \pm 1.49$  a los 105 minutos, en fibra marrón la luminosidad incrementó de  $43.18 \pm 10.47$  hasta  $86.92 \pm 1.50$  a los 70 minutos, estadísticamente estos valores fueron similares a  $87.14 \pm 1.43$  (luminosidad de fibra blanca). El porcentaje de medulación total  $\pm$  EE en fibra negra fue  $75.81 \pm 1.72\%$  similar a  $72.55 \pm 1.78\%$  del marrón y superior a  $50.77 \pm 1.97\%$  de fibra blanca. Según sitio de muestreo (paleta, costillar medio y grupa) el porcentaje de medulación fue similar ( $p > 0.05$ ). Por otra parte, el diámetro medio de fibra marrón es similar a la fibra negra y blanca, pero la fibra negra es más gruesa que la blanca ( $p < 0.05$ ). En conclusión, el tiempo para decoloración de fibra negra es 105 minutos y 70 minutos para fibra marrón, las alpacas de color oscuro muestran mayor porcentaje de medulación que la alpaca blanca.

**Palabras clave:** alpaca marrón, alpaca negra, melanina, medulación de fibra.

## ABSTRACT

The objective of this thesis was to determine the immersion time with hydrogen peroxide in the discoloration of black and brown fibers; evaluate the percentage of medullation according to fiber color and sampling site in alpaca Huacaya. For 2g of fiber, oxygenated cream (40vol) and bleaching powder (High Lift) 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 in black fiber, at 35 and 70 minutes in brown fiber. The medullation in black fiber was evaluated at 10 minutes, in brown and white fiber they were evaluated without discoloration using a projection microscope. The luminosity in black fiber increased from  $5.19 \pm 1.78$  to  $86.60 \pm 1.49$  at 105 minutes, in brown fiber the initial luminosity was  $43.18 \pm 10.47$  and increased to  $86.92 \pm 1.50$  at 70 minutes, statistically these values were similar to  $87.14 \pm 1.43$  (white fiber luminosity). The percentage of total medullation  $\pm$  SE in black fiber was  $75.81 \pm 1.72\%$ , similar to  $72.55 \pm 1.78\%$  of brown and higher than  $50.77 \pm 1.97\%$  in white fiber. Depending on the sample site (shoulder, mid side and rump), the percentage of pith was similar ( $p > 0.05$ ). On the other hand, the mean fiber diameter of brown is similar to black and white fiber, but black fiber is thicker than white ( $p < 0.05$ ). In conclusion, the time for black fiber discoloration is 105 minutes and 70 minutes for brown fiber, the dark-colored alpacas show a higher percentage of medullation than the white alpaca.

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



## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Descripción del problema

La fibra de alpaca es un producto de sustento económico para los pobladores de los andes en 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 decoloración en la fibra de color (negro y marrón) usando el peróxido de hidrógeno (Liu et al., 2003).

La metodología consiste en un proceso de despigmentación de la fibra con peróxido de hidrogeno en crema oxigenada, posterior a ello se realiza la evaluación de fibras meduladas usando el microscopio de proyección, de esta forma se determinará la calidad de fibra de color en cuanto al porcentaje de medulación y diámetro medio de fibra. La comercialización de fibra del Perú es hacia los países extranjeros, entre ellos se encuentra las empresas de Michell & CIA e Inca Tops que comercializan hasta el 90% de la producción de fibra en tops, productos terminados como hilos y prendas.



## 1.2. Enunciado del problema

### 1.2.1. Problema general

¿Cuál es el tiempo de inmersión con peróxido de hidrógeno en la decoloración de fibra negra, marrón y cuál es el porcentaje de medulación según color y sitio de muestreo en fibra de alpaca Huacaya?

### 1.2.2. Problema específico

- ¿Cuál es el tiempo de inmersión con peróxido de hidrógeno en la decoloración de fibra negra y marrón de alpaca Huacaya?
- ¿Cuál es el porcentaje de medulación en fibra negra, marrón y blanca, según sitio de muestreo (paleta, costillar medio y grupa)?
- ¿Cuál es el diámetro medio de fibra (DMF) en alpaca Huacaya de color negro, marrón y blanco?

### 1.2.3. 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 medulación en fibra de alpaca negra, marrón y blanca, sabiendo que los pobladores alto andinos de la región Apurímac se dedican a la crianza de alpacas, la cual sirve como un sustento económico familiar.

Las fibras de color fueron menos 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 fibra de alpaca con colores naturales, 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 investigaciones posteriores relacionados con la metrología de fibra y con el mejoramiento genético en alpacas de color. Asimismo, esta investigación contribuirá al mejoramiento de la calidad textil de fibra de color referido al 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.



## CAPÍTULO II

### OBJETIVOS E HIPÓTESIS

#### 2.1. Objetivos de la investigación

##### 2.1.1. Objetivo general

Determinar el tiempo de inmersión con peróxido de hidrógeno en la decoloración de fibra negra y marrón; evaluar el porcentaje de medulación según color y sitio de muestreo en fibra de alpaca Huacaya.

##### 2.1.2. Objetivos específicos

- Determinar el tiempo de inmersión con peróxido de hidrógeno en la decoloración de fibra negra y marrón de alpaca Huacaya.
- Evaluar el porcentaje de medulación en fibra de alpaca Huacaya, según color (negro, marrón, blanca) y sitio de muestreo (paleta, costillar medio, grupa).
- Determinar el diámetro medio de fibra (DMF) en alpaca Huacaya de color negro, marrón y blanco.

#### 2.2. Hipótesis de la Investigación

##### 2.2.1. Hipótesis general

El tiempo de inmersión con peróxido de hidrogeno influye en la decoloración de fibra negra y marrón, el porcentaje de medulación varía según color y sitio de muestreo en alpaca Huacaya.

##### 2.2.2. Hipótesis específicas

- El tiempo de inmersión con peróxido de hidrogeno influye en la decoloración de la fibra negra y marrón en alpaca Huacaya.
- El porcentaje de medulación varía en fibra de alpaca Huacaya, según color (negro, marrón, 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.

#### 2.3. Operacionalización de variables

##### 2.3.1. Variables dependientes

Las variables dependientes en este estudio son los espacios de CIE  $L^*a^*b^*$ , porcentaje de medulación y el diámetro medio de fibra.





**Tabla 1 — Variables dependientes**

<b>Variables dependientes</b>	<b>Indicador</b>	<b>Unidad de medida</b>
Luminosidad (L*)	0 a +100	-
Saturación de color verde (-) a rojo (+) a*	-100 a +150	-
Saturación de color azul (-) a amarillo (+) b*	-170 a +100	-
Porcentaje de medulación	Médula fragmentada (MF) Médula discontinua (MD) Médula continua (MC) Fuertemente medulada (FM)	%
Diámetro medio de fibra (DMF)	Finura	μm

### 2.3.2. 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).

**Tabla 2 — Variable independiente**

<b>Variables independientes</b>	<b>Indicador</b>	<b>Unidad de medida</b>
Tiempo de inmersión	5, 10, 35, 70, 105	Minutos
Sitio de muestreo	Paleta	-
	Costillar medio	-
	Grupa	-
Color de fibra	Negro	-
	Marrón	-
	Blanco	-

Tabla 3 — Explicación de las variables independientes

Variables independientes	Como interactúa en el análisis (Fundamento)
Tiempo de inmersión con peróxido de hidrogeno Marrón: 35 y 70 minutos. Negro: 5, 10, 35, 70, 105 minutos.	El tiempo de inmersión con peróxido de hidrógeno servirá para evaluar la decoloración de fibra de alpaca Huacaya de color negro y marrón.
Color de fibra: Blanco Negro Marrón	El color de fibra es un factor que influye sobre el porcentaje de medulación y diámetro medio de fibra (DMF), asimismo la luminosidad varía en los diversos colores.
Sitio de muestreo: Paleta Costillar medio Grupa	Este factor se ha considerado para cuantificar el color y el porcentaje de medulación según sitio de muestreo (paleta costillar medio y grupa).

## CAPITULO III

### MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 3.1. Antecedentes

##### 3.1.1. Decoloración de fibra con peróxido de hidrógeno

Montazer et al. (2009) en el trabajo de investigación “despigmentación de lana pigmentada” usó como mordiente sulfato de hierro a 80°C por 1 hora, la decoloración se realizó con peróxido de hidrógeno al 30%, a temperatura de 60°C por 90 minutos y un pH de 9.5. La luminosidad ha aumentado significativamente a los 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 bueno para mantener la profundidad o claridad del color.

En otro trabajo de investigación denominado efecto de blanqueo de lana negra 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).

##### 3.1.2. Cuantificación del color

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 era de  $87.1 \pm 3.97$ , en fibra marrón era  $31.4 \pm 4.97$  y en fibra negra fue  $17.40 \pm 1.09$ . En alpacas provenientes de Huancavelica la luminosidad en fibra blanca fue 73.58, en color crema fue 62.36, en marrón fue 36.25 y en alpaca negra fue 17.23 (Guridi et al., 2011). Lupton et al. (2006) también reportó una luminosidad de 70 en alpacas blancas, 56.54 en gris y 64.52 en marrón.



### 3.1.3. Porcentaje de medulación en fibra

Radzik-Rant y Wiercinska (2021) en un trabajo denominado análisis de las características de grosor y medulación de la fibra en función al sexo y color en alpacas de Polonia, reportaron alto 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 DMF de  $23.45 \pm 1.22 \mu\text{m}$ , estos autores concluyeron que las alpacas blancas son más finas que las alpacas 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 la blanca. El porcentaje de medulación para alpacas blancas fue  $25.47\%$  con DMF de  $21.57 \mu\text{m}$ , en alpacas marrones fue  $26.86\%$  con DMF de  $22.42 \mu\text{m}$  y en fibra negra el porcentaje de medulación fue  $27.92\%$  con DMF de  $22.58 \mu\text{m}$ .

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, los autores concluyen que la medulación causa variación en el diámetro de la fibra.

Pinares et al. (2019) en un estudio de 36 alpacas machos de diferentes edades color blanco, reportaron alto porcentaje 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 edad y sexo, encontró una variación de  $51.2\%$  a  $79.7\%$  en alpacas del departamento de Arequipa, de  $44.5\%$  a  $91.9\%$  en Juliaca, de  $26.7\%$  a  $50\%$  en Puno

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 la medulación total ( $71.14 \pm 3.10\%$ ), con un rango de variación de  $49.51 \pm 5.49\%$  hasta  $96.5 \pm 8.6\%$ , esta variación se debe 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 total y diámetro medio de fibra de 53.56% y 20.2 $\mu$ m para Australia, para el continente de África 51.73% y DMF de 22.78 $\mu$ m, para el continente de Europa, 52.84% y 24.14 $\mu$ m respectivamente. Esta investigación fue reportada en alpacas blancas machos y hembras.

#### 3.1.4. Diámetro medio de fibra

Huanca et al. (2007) en una investigación con 550 alpacas blancas en tres comunidades de Puno según sitio de muestreo (paleta costillar medio y grupa) reportaron 22.82 $\mu$ m en paleta, 22.78 $\mu$ m costillar medio y 22.63 $\mu$ m para grupa, sin diferencias estadísticas.

Machaca et al. (2017) en un estudio con 145 alpacas Huacaya de color de diferentes edades, macho y hembra de Cotaruse/Apurímac. En fibra blanca reportaron (22.30 $\pm$ 0.34 $\mu$ m), en color intermedio (23.81 $\pm$ 0.66 $\mu$ m) y en color oscuro (26.69 $\pm$ 0.97 $\mu$ m). Los autores concluyen que la edad, color de fibra y lugar de procedencia influyen en el diámetro medio de fibra.

Nina (2017) en un trabajo de investigación con 3190 alpacas Huacaya de diferentes edades y ambos sexos, procedentes de Puno-Perú, menciona que el diámetro medio de fibra blanca es de 20.17 $\mu$ m, en color café 20.77 $\mu$ m, en fibras con dos colores a más 21.30 $\mu$ m, en color marrón y tonalidades 21.18 $\mu$ m y en color negro 25.25 $\mu$ m. El autor concluye 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 con 405 alpacas Huacaya provenientes de las zonas alto andinas de Apurímac de diferentes edades y de ambos sexos, determinaron que el DMF en alpacas DL fue de 17.8 $\pm$ 0.2 $\mu$ m, en alpacas 2D fue 19.7 $\pm$ 0.3 $\mu$ m, en alpacas 4D fue 20.7 $\pm$ 0.3 $\mu$ m y en alpacas BLL fue 22.1 $\pm$ 0.3 $\mu$ m. Concluyendo que existe una diferencia significativa según edad y sexo del animal ( $p < 0.05$ ) el diámetro de la fibra aumenta con la edad del animal.

Oria et al. (2009) en un estudio de variabilidad con 2341 alpacas blancas y de color en Huancavelica, determinaron que el 66% son de color blanco y el 34% son de otros colores, el diámetro medio de fibra (DMF) en color blanco era 22.45 $\pm$ 0.53 $\mu$ m, en color crema era 23.91 $\pm$ 0.47 $\mu$ m, en color café era 25.36 $\pm$ 0.66 $\mu$ m y en color negro era



27.1±1.27µm. Concluyendo que la calidad de la fibra de los animales de color es inferior a los animales de color blanco.

## 3.2. Marco teórico

### 3.2.1. La alpaca

La alpaca (*Vicugna pacos*) es un animal rumiante doméstico, su hábitat es alrededor de los 4000 m.s.n.m. en la parte alta de los andes. La crianza es por su fibra de alta calidad. 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). La taxonomía de la alpaca según Wheeler (1995), queda clasificada de la siguiente manera:

Clase: Mamalia

Orden: Artiodáctyla

Sub orden: Tylópoda

Familia: Camelidae

Tribu: Lamini

Género: *Vicugna*

Especie: *Vicugna pacos*

### 3.2.2. Fibra de alpaca

La fibra de alpaca es un producto textil que se obtiene después de la esquila del animal, tiene características y propiedades especiales, las cuales son muy apreciadas y acogedoras por el mercado textil en el mundo (Bustinza, 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).

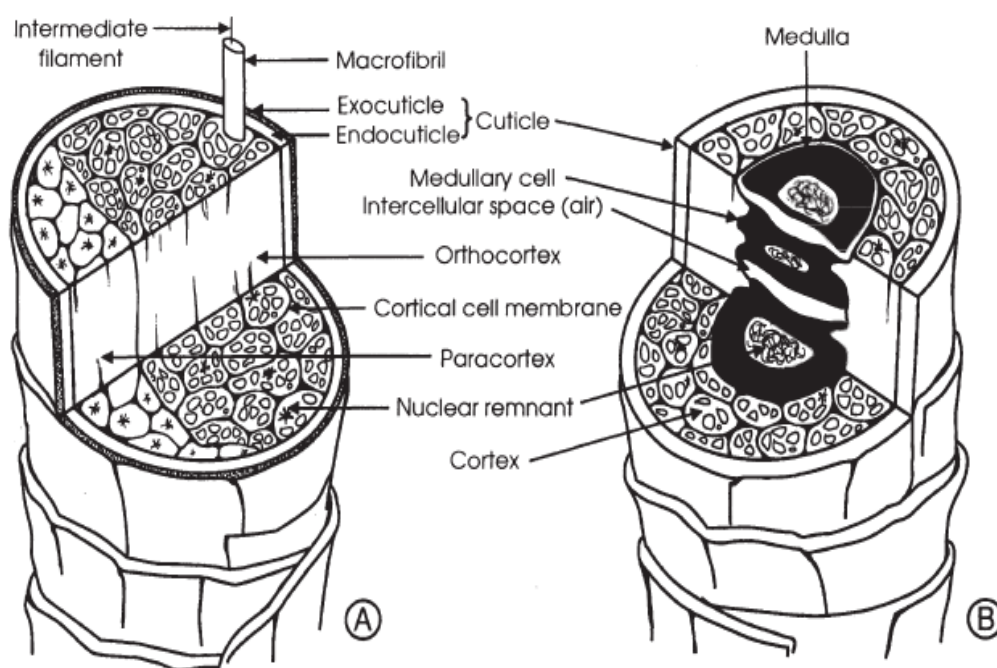
La fibra de alpaca está formada principalmente por la proteína llamada queratina, la cual está formada de elementos como son: carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y azufre. La superficie externa de la fibra de alpaca está compuesta por una serie de



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).

### 3.2.3. Componentes estructurales de la fibra

Microscópicamente la fibra de alpaca blanca y de color, están formadas por tres componentes celulares, desde la parte interna hacia la superficie: médula, corteza y cutícula (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).



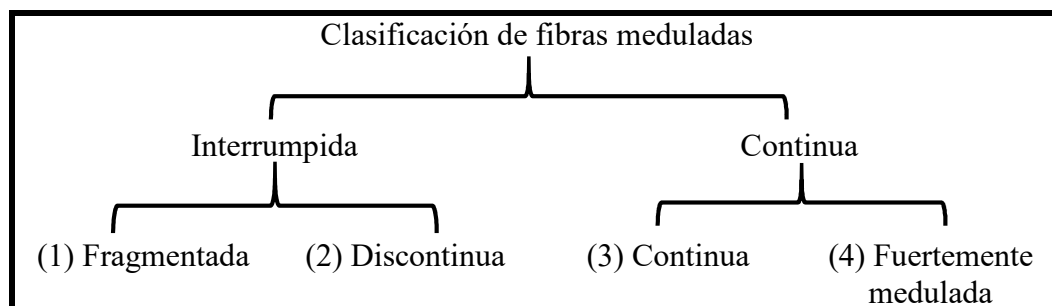
**Figura 1 — A: representación gráfica de fibra sin médula donde aparecen la cutícula y la corteza; B: fibra medulada con los tres componentes: médula, corteza y cutícula. Tomado de Powell y Rogers (1997)**

#### 3.2.3.1. La médula

La médula es la parte central de la fibra que contiene aire, se encuentra con más 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).

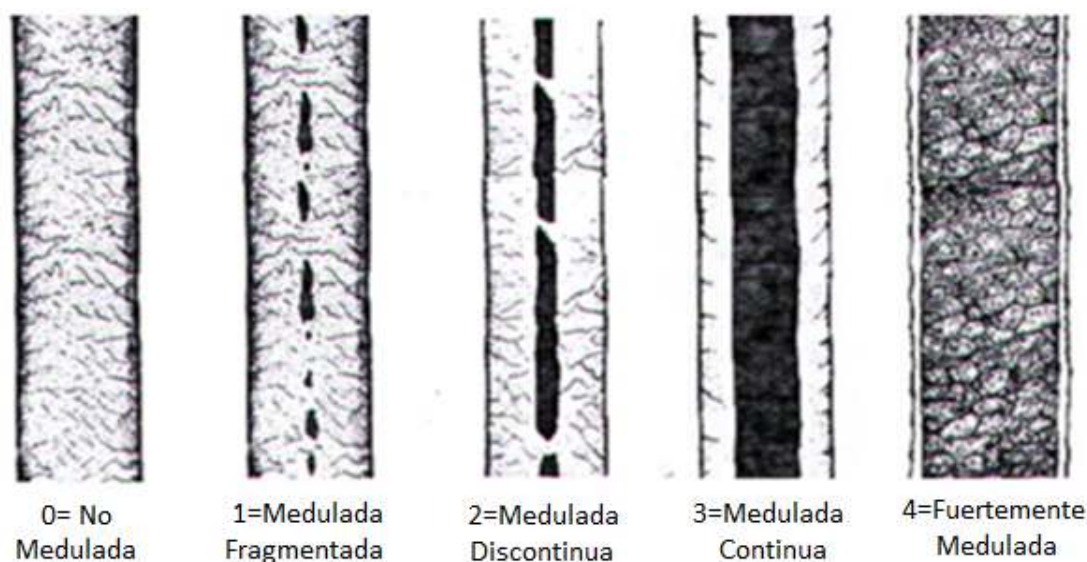
La presencia de médula en la fibra de alpaca, tiene atributos únicos y particulares, se afirma que la fibra de esta especie retiene calor más que otras fibras, la cual es catalogado como el mejor aislante térmico debido a la presencia de médula (Moore et al., 2011; Wang et al., 2005; Liu et al., 2003). La fibra medulada es considerada indeseable en las industrias, debido a que

son gruesas con bajo rendimiento al hilado, también porque aparecen con tonos fuertes durante el teñido (Hunter et al., 2013).



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

Microscópicamente los tipos de fibra se pueden observar 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 continúa, presenta médula continua bien formada de color oscuro; (4) fuertemente medulada, la médula ocupa >60% de la corteza en fibras mayores a 30µm, en ovinos se denomina Kemp (Carpio, 1991).

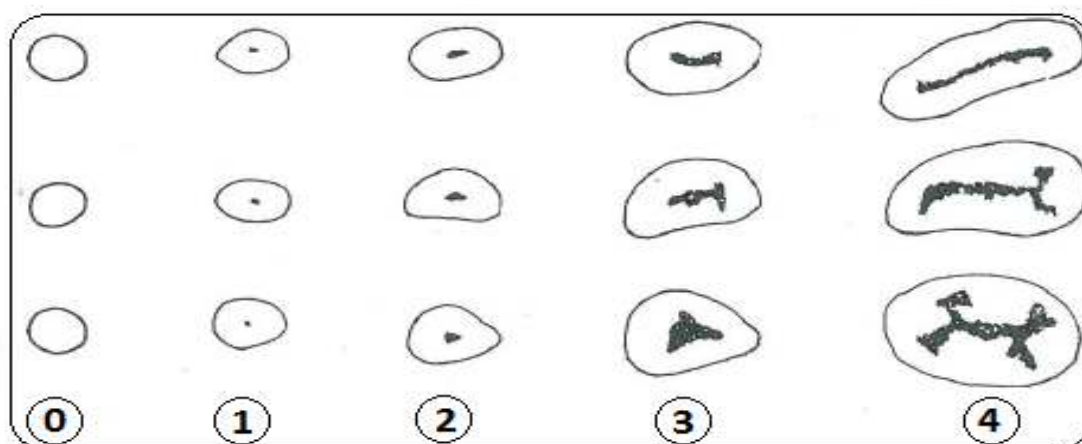


**Figura 3 — Clasificación de fibras según la presencia y tipos de médula, corte longitudinal. Adaptado de Pinares et al. (2018)**

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 15-20 $\mu$ m la cual tiene forma circular; (1) con diámetro medio de 20-30 $\mu$ m tiene una forma ligeramente ovoide, angular y formación de la elíptica; (2) con diámetro medio de 30-40 $\mu$ m tiene una forma triangular, arriñonada y elíptica; (3) con diámetro medio de 40-60 $\mu$ m tiene una forma arriñonada, ovoide o elíptica, la sección transversal tiende a estrecharse en la parte media; (4) con diámetro medio de 60 $\mu$ 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 en fibra de alpaca. Adaptado de Villarroel (1963)**

### 3.2.3.2. 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 compuesta por queratina (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 (Villarreal, 1963). En la corteza se almacenan mayormente los pigmentos de melanina (Wang et al., 2005).

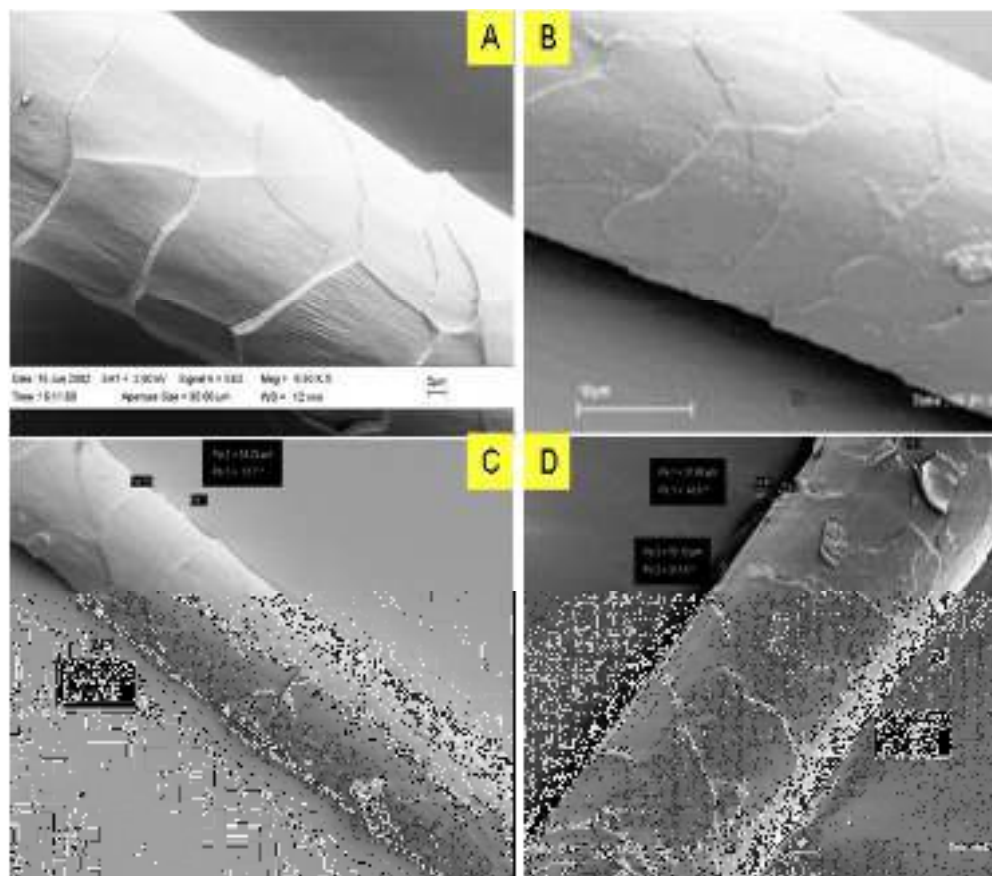
### 3.2.3.3. La cutícula

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  $17.19\mu\text{m}$  y  $20.2\mu\text{m}$  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  $20.6\mu\text{m}$  a  $24.0\mu\text{m}$ , la forma de cutícula es imbricada con margen de tipo aserrada, dentada y ondulada (Contreras, 2010).

La cutícula representa un 10% de la fibra total y esta tiene 3 sub divisiones que son: epicutícula, exocutícula y 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  $15\mu\text{m}$  a  $20\mu\text{m}$ , la Huacaya presenta escamas coronales y semicoronales, fibras de  $20\mu\text{m}$  a  $30\mu\text{m}$  la Huacaya presenta escamas de márgenes próximos de esparcimiento, fibras de  $30\mu\text{m}$  a  $40\mu\text{m}$  las escamas son onduladas suaves con espaciamentos cortos y en fibras gruesas mayores a  $40\mu\text{m}$  la Huacaya presenta escamas onduladas y dentadas con espaciamiento cercano (Contreras, 2010).



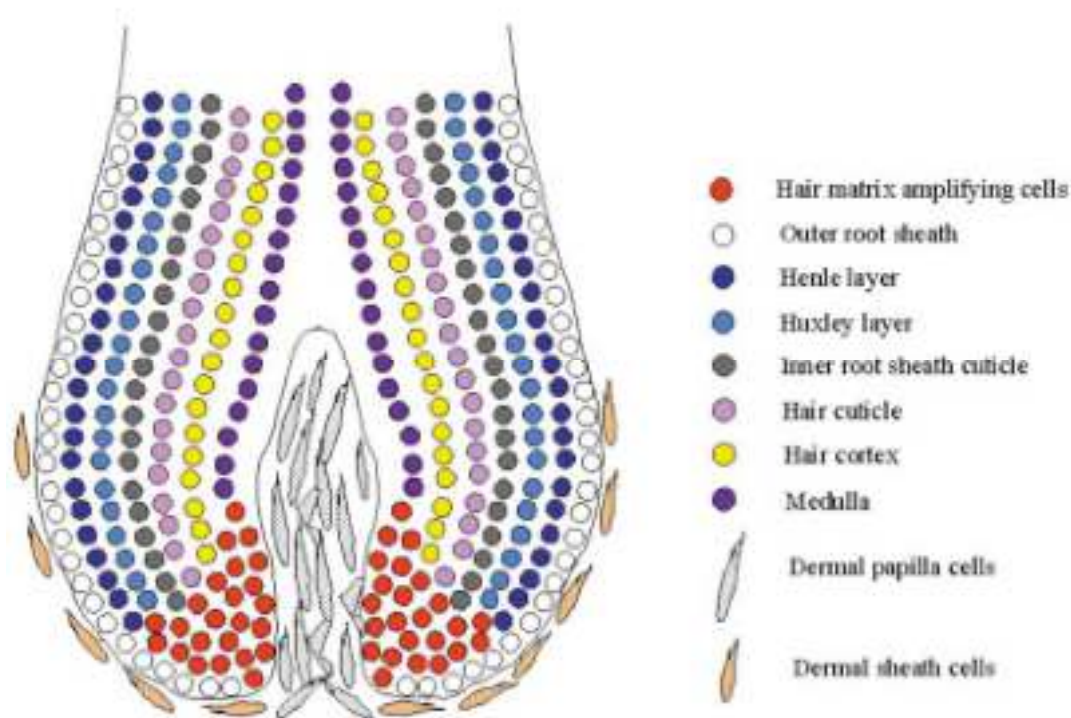


**Figura 5 — Representación gráfica de la cutícula tomada con SEM. (A) Lana de ovino, (B) fibra de alpaca, (C) fibra de alpaca fina de 16.57 $\mu$ m (D) fibra gruesa de alpaca de 27.66  $\mu$ m. Tomado de Contreras (2010)**

### 3.2.4. 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, donde la queratinización es incompleta, mientras que, en la cutícula y corteza la queratinización es completa, las células toman forma y se vuelven sólidas (Powell y Rogers ,1997).

La estructura esponjosa de la médula consta de células separadas por grandes espacios intercelulares, la tricohialina en forma de gránulos de proteínas fusionadas es el componente principal (Powell y Rogers ,1997). La síntesis de tricohialina 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)**

### 3.2.5. Métodos de evaluación de la medulación

Los tres métodos empleados para la determinación la medulación son: microscopio de proyección (IWTO-8, 2011), OFDA 100 (Analizador Óptico del Diámetro de Fibra) y Fiber Med (computarizado).

#### 3.2.5.1. Microscopio de proyección

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

#### 3.2.5.2. 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).

#### 3.2.5.3. Fiber Med

Es un microscopio de proyección computarizado y semi automatizado, utiliza la más moderna tecnología de inteligencia artificial e interpretación de imágenes digitales (Quispe et al., 2018; Quispe et al., 2022).

### 3.2.6. 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).

#### 3.2.6.1. Diámetro medio de fibra (DMF)

El diámetro medio de fibra se expresa en micrómetros ( $\mu\text{m}$ ), es un parámetro que define la finura de la fibra, considerado como el principal criterio de selección de fibras (NTP, 2014). 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).

**Tabla 4 — Clasificación de fibra de alpaca por grupos de calidad**

Grupo de calidades	Rango de finura ( $\mu\text{m}$ )	Longitud mínima de mecha mm	Humedad % max.	Sólidos minerales % max.	Grasa % max.
Alpaca super baby	Igual o menor a 20	65	8	6	4
Alpaca baby	20.1 a 23	65	8	6	4
Alpaca fleece	23.1 a 26.5	70	8	6	4
Alpaca medium fleece	26.6 a 29	70	8	6	4
Alpaca Huarizo	29.1 a 31.5	70	8	6	4
Alpaca gruesa	Más de 31.5	70	8	6	4
Alpaca corta	---	20 a 50	8	6	4

Tomado de Norma Técnica Peruana (2014)

#### 3.2.6.2. 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%, médula discontinua 14.01% y médula 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 $\mu\text{m}$  hasta 40 $\mu\text{m}$  (McGregor, 2006).

Tabla 5 — Resumen de porcentaje de medulación y diámetro medio de fibra (DMF)

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
Quispe et al. (2022)					Fiber Med

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

### 3.2.7. Porcentaje de medulación y DMF

En las alpacas a medida que el diámetro aumenta, hay mayor presencia de medulación, mostrando una relación positiva entre el diámetro medio de fibra y el porcentaje de medulación (McGregor, 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 5).

### 3.2.8. Composición química de la fibra

La fibra de alpaca está compuesta principalmente por la proteína llamada queratina y está formada por cinco elementos químicos primarios: carbono 50%, oxígeno de 22-25%, nitrógeno de 16-17%, hidrógeno 7% y azufre de 3-4%, estos elementos son constituyentes de los aminoácidos de la queratina (Tabla 6) (Carpio 1991).

**Tabla 6 — Composición de aminoácidos (mol%) en fibra de camélidos**

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
Glutamima	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

Adaptado de Hunter (2020)

### 3.2.9. 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).

**Tabla 7 — Clasificación de fibra de alpaca según el color**

Colores enteros*		Colores canosos	
B	: Blanco	BMC	: Blanco Manchado Claro
LFX	: Beige	BMO	: Blanco Manchado Oscuro
LFY	: Vicuña Claro	NM	: Negro Manchado
LFZ	: Vicuña Oscuro	GC	: Gris claro con canas blancas
CC	: Café Claro	GP	: Claros Plata (canoso)
COM	: Café Oscuro Marrón	GO	: Gris Oscuro
CON	: Café Oscuro Negro	.....	.....
N	: Negro		<b>Colores indefinidos **</b>
			Indefinidos claros
			Indefinidos oscuros

Lote de fibra con color definido puro (\*), colores que puedan tomar otras diferentes tonalidades no determinadas producto de la mezcla de diferentes colores de fibras (\*\*). Tomado de Norma Técnica Peruana (2014)

### 3.2.10. Pigmentación

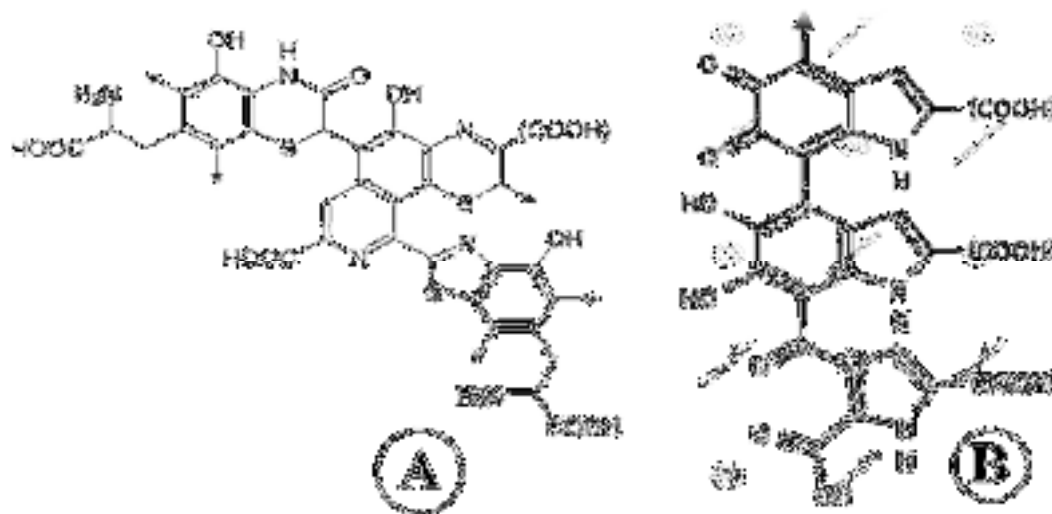
En la naturaleza las fibras de origen animal suelen encontrarse de diversos colores con tonalidades amarillas, marrones y negras, debido a su pigmento natural de la melanina (Bouagga et al., 2020), la fibra de alpaca de color contiene gránulos de pigmento alrededor del 3% en peso, se encuentran en la 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

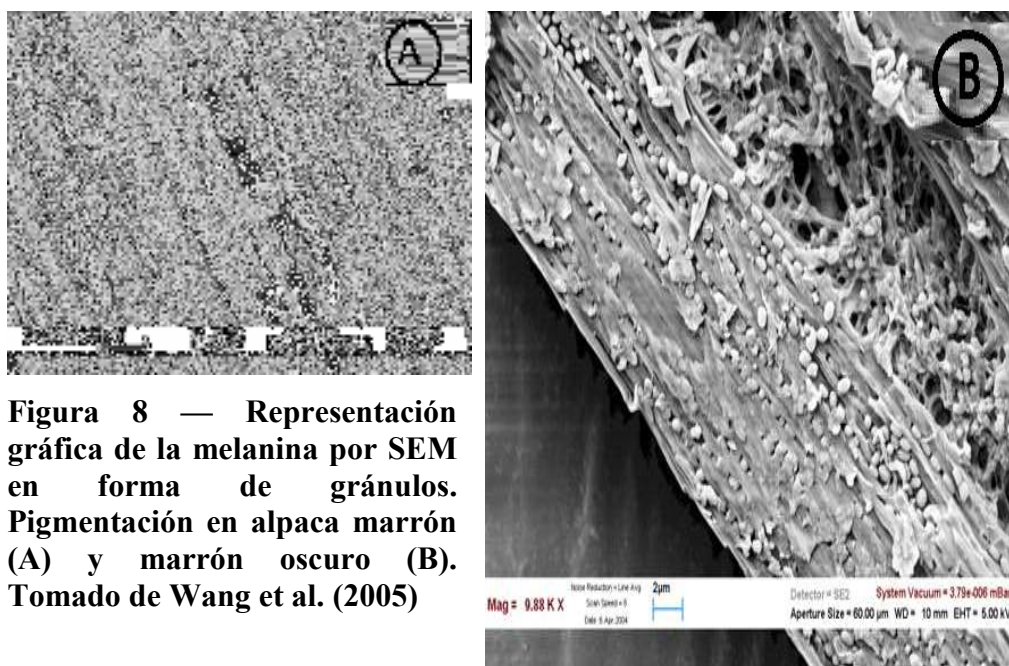




pigmento de color marrón claro (Sponenberg et al., 1998; Ito y Wakamatsu, 2006; Cieslak et al., 2011).



**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)**

### 3.2.11. 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).

### 3.2.11.1. Escalas y formas de medir el color

#### 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 purpura (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, 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

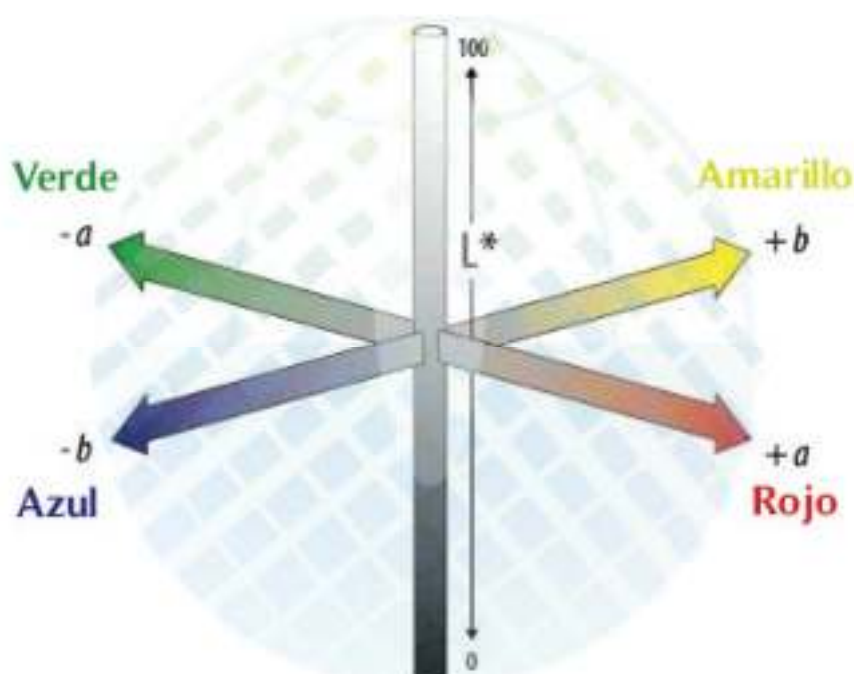
La (CIE) denominado Comisión Internacional de la Iluminación en la actualidad ha desarrollado sistemas de medición más importantes y de mayor uso para medir el color. El sistema CIE usa tres coordenadas para ubicar un color en un espacio de color que son (1) CIE XYZ, (2) CIE L\*a\*b\* y (3) CIE L\*C\*H\* (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 coordenadas colorimétricas ( $L^*$ ,  $H^*$ ,  $C^*$ ), 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 cuando los valores son negativos.

La coordenada  $b^*$  define la desviación hacia amarillo cuando los valores son positivo y azul cuando los valores son negativos.  $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{0.5}$  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).



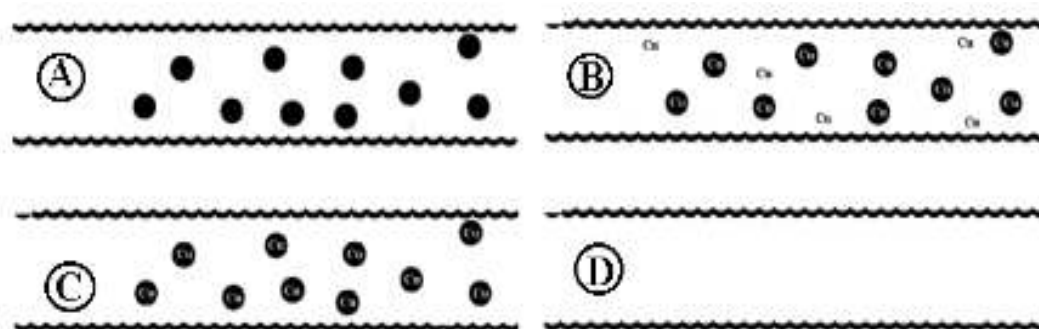
**Figura 9 — Coordenadas de color en el sistema CIE  $L^*a^*b^*$ . Adaptado de Mathias-Rettig y Ah-Hen (2014)**

### 3.2.12. Decoloración 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). La decoloración 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 et al., 2003). La decoloración de fibras pigmentadas mejora 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 (Liu et al., 2003), 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; Liu et al., 2003).



**Figura 10 — Principios de decoloración en fibras pigmentadas. (a) fibra pigmentada, (b) fibra mordentada, (c) fibra mordentada/lavada, (d) fibra decolorada. 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 decoloración mejora la estabilidad de las especies de decoloración 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 decoloración (Liu et al., 2003).

**Tabla 8 — Proceso de decoloración en fibra de alpaca a concentraciones, mordientes y tiempos diferentes.**

Autor (es)	Fibra o lana	Concentración de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Mordiente	Tiempo de decolorado (minutos)
Bouagga et al. (2020)	Lana cruda de tunecina	30%	(CuSO <sub>4</sub> ) FeSO <sub>4</sub>	90
Mortazavi et al. (2014)	Lana karakul	30%	CuSO <sub>4</sub> .	15 a 180
Harizi et al. (2013)	Dromedario	30%	FeSO <sub>4</sub>	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 <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O)	80

Adaptado de varios autores

### 3.2.13. Peróxido de hidrógeno

El peróxido de hidrógeno (conocido también como agua oxigenada) H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> es un líquido incoloro a temperatura ambiente. 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 Di-hidrógeno, Dioxogen, Crema oxigenada, Crema oxidante y Agua Oxigenada (Arquimi, 2020).

#### 3.2.13.1. Concentraciones de peróxido de hidrogeno

Una disolución es una mezcla totalmente homogénea de dos sustancias puras en este caso del agua oxigenada y el agua, por tanto, la disolución sirve para reducir o aumentar su pureza, para adecuarla al tipo de actividad o uso para el que vayamos a utilizarla en una gran variedad de concentraciones (Arquimi, 2020).

**Tabla 9 — Concentración de peróxido de hidrógeno en 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

Adaptado de Arquimi (2020)

### 3.2.13.2. Usos del peróxido de hidrógeno

Los diversos usos del peróxido de hidrógeno en las diversas industrias existentes adaptado de Arquimi (2020).

- a) **En la agricultura:** Se usa de 0.5% a 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% a 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% a 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.

#### 3.2.14. 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, amoníaco y los sulfatos, son los agentes blanqueadores más utilizados a nivel mundial para la coloración y decoloración en 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 (Starbrands, 2020).

#### 3.2.15. 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 (Alfaparf milano, 2022).

### 3.3. Marco conceptual

- a) **Vellón.** 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, que varía según la variedad, sexo, edad y alimentación (García, 2017).
- b) **Fibra.** Es el producto obtenido después de la esquila del animal, la fibra cubre a la alpaca (*Vicugna pacos*), que proviene de dos razas, Huacaya y Suri. Estas razas tienen aspectos diferentes y presentan los siguientes colores básicos: blancos, beige, cafés y negros, los que a su vez tienen diversas tonalidades y combinaciones (Ascalpe, 2017).



- c) **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, la presencia de fibras meduladas favorecería la termorregulación de la alpaca en climas fríos, debido a la retención de calor en la médula (Wang et al., 2005; Moore et al., 2011, Pinares et al., 2019).
- d) **Diámetro.** Es un parámetro que define la finura de la fibra, considerado como el principal criterio de selección de fibras. 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, 2021; NTP, 2014).
- e) **Sitio de muestreo:** Es la parte del animal, donde se obtiene la muestra para ser evaluado, también es conocido como zona de muestreo. Estudios adicionales definen la zona corporal más apropiada para determinar la calidad del vellón total en el cuerpo de alpaca (Machaca, 2017).
- f) **Peróxido de hidrógeno:** Es un agente oxidante que sirve para la decoloración de cabello, fibras y lanas. es un compuesto químico con características de un líquido altamente polar, fuertemente enlazado con el hidrógeno, tal como el agua, por lo general de aspecto líquido ligeramente viscoso (PEROXIDOS, 2022).
- g) **Decoloración:** Es el proceso químico que permite eliminar el pigmento que contiene la fibra mediante soluciones alcalinas (Henkel, 2022).
- h) **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 (Euromex, 2013).
- i) **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 (Euromex, 2013).
- j) **Micrótomo de Hardy:** Un micrótomo (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 (PCE, 2014).
- k) **Médula:** 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).





- l) Crema oxigenada:** Es el peróxido de hidrógeno en presentación de crema, con una concentración del 10%, usada principalmente en la industria cosmética (Starbrands, 2020).
- m) Polvo decolorante:** Está compuesto de persulfato de potasio y persulfato de amonio que ayuda en el proceso de decoloración de cabello, fibra etc. (Alfaparfmilano, 2022).

## CAPITULO IV

### METODOLOGÍA

#### 4.1. Tipo y nivel de investigación

##### 4.1.1. Tipo de investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo aplicativo con un enfoque cuantitativo, debido a que los resultados obtenidos sirven como base de dato para el uso.

##### 4.1.2. Nivel de investigación

La investigación es de nivel experimental explicativo porque explica los fundamentos y propone alternativas prácticas de solución en la producción de fibra de alpaca y en la industria textil.

#### 4.2. Diseño de la investigación

El experimento realizado fue conducido bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA)

##### 4.2.1. Decoloración y colorimetría de fibra

###### a) Decoloración

En el diseño de investigación para el proceso de decoloración 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 10 y Tabla 11).

**Tabla 10 — Diseño de investigación para la decoloración de fibra negra según sitio de muestreo**

Tiempo de Inmersión	Sitio de muestreo			Número de muestras de fibra	Cantidad de P. D.	Cantidad de C.O.
	P	CM	G			
5 min	10	10	10	30	10g	20g
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		

Paleta (P),) costillar medio (CM), grupa (G), cantidad de polvo decolorante (P.D) y crema oxigenada (C.O).

**Tabla 11— Diseño de investigación para la decoloración de fibra marrón según sitio de muestreo**

Tiempo de Inmersión	Fibra negra			Número de muestras de fibra	P.D.	C.O.
	P	CM	G			
35 min	10	10	10	30	10g	20g
70 min	10	10	10	30		
Total de análisis				60 muestras		

Paleta (P,) costillar medio (CM), grupa (G), cantidad de polvo decolorante (P.D) y crema oxigenada (C.O).

Los tratamientos que se realizaron en el proceso de decoloración a tiempos diferentes de inmersión se muestran en la (Tabla 12), donde la aplicación del peróxido de hidrogeno será por método de inmersión, para cada 2g fibra de color se necesita 10g de polvo decolorante y 20g de crema oxigenada para cada tiempo de inmersión, los tiempos de decoloración en fibra negra fueron (5, 10, 35, 70 y 105 minutos) y en fibra marrón (35, 70 minutos) con tres repeticiones cada muestra.

**Tabla 12 — Tratamiento de muestras con peróxido de hidrogeno y polvo decolorante en fibra negra y marrón de alpaca**

Tiempo de immersion	Fibra negra			Fibra marrón			Numero de repeticiones	P.D.	C.O.
	P	CM	G	P	CM	G			
5 min	2g	2g	2g				3	10g	20g
10 min	2g	2g	2g				3		
35 min	2g	2g	2g	2g	2g	2g	3		
70 min	2g	2g	2g	2g	2g	2g	3		
105 min	2g	2g	2g				3		

Paleta (P,) costillar medio (CM), grupa (G), cantidad de polvo decolorante (P.D) y crema oxigenada (C.O).

### b) Colorimetría

El diseño que usamos en la investigación para la cuantificación de color usando el colorímetro PCE-CSM7, fue con tres repeticiones según el sitio de muestreo, en fibras de color y a diferentes tiempos de decoloración, llegando a obtener en total 900 análisis entre fibra negra, marrón y blanca (Tabla 13).

**Tabla 13 — Tratamientos para el proceso de cuantificación de color en fibra blanca y de color**

Tiempo de inmersión	Fibra negra			Fibra marrón			Fibra blanca			Numero de repeticiones	Cantidad de análisis CIE L*a*b*
	P	CM	G	P	CM	G	P	CM	G		
Sin decoloración	10	10	10	10	10	10	10	10	10	3	270
5 min	10	10	10	-	-	-	-	-	-	3	90
10 min	10	10	10	-	-	-	-	-	-	3	90
35 min	10	10	10	10	10	10	-	-	-	3	180
70 min	10	10	10	10	10	10	-	-	-	3	180
105 min	10	10	10	-	-	-	-	-	-	3	90
Total de datos analizados											900

Valores del croma (CIE L\*a\*b\*), sitio de muestreo: paleta (P), costillar medio (CM), grupa (G). Número de animales según color (10).

#### 4.2.2. Porcentaje de medulación

Según la norma IWTO-8 (2011), se analizó 600 fibras individuales por cada muestra de fibra, de cada animal se evaluó 3 muestras correspondientes a paleta, costillar medio y grupa en 10 alpacas negras, 10 marrones y 10 blancas, haciendo un total de 90 muestras de fibra (Tabla 14).

**Tabla 14 — Diseño de investigación para la evaluación del porcentaje de medulación según color y sitio de muestreo**

Animales	Fibra blanca			Fibra marrón			Fibra negra		
	P	CM	G	P	CM	G	P	CM	G
Alpaca 1	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Alpaca 2	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Alpaca 3	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Alpaca 4	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Alpaca 5	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Alpaca 6	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Alpaca 7	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Alpaca 8	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Alpaca 9	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Alpaca 10	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Total	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000

Color de muestras de fibra: blanco, marrón, negro y sitio de muestreo: Paleta (P), costillar medio (CM) y grupa (G). Cantidad de muestras evaluadas: 90, con 600 repeticiones por muestra

### 4.2.3. Diámetro medio de fibra

Para el análisis del diámetro medio de fibra (Tabla 15) se consideró 30 muestras de fibra de color (negra, marrón y blanca) tomados del costillar medio las mismas que fueron medidas en el Laboratorio de Electrónica y Mecánica MAXCORP Technologies S.A.C. Usando el desarrollo del Caracterizador Electrónico de Fibras (CEF) denominado (Fiber- EC).

**Tabla 15 — Estructura de datos para el análisis de diámetro medio de fibra según color**

Nº de animales	Fibra negra	Fibra marrón	Fibra blanca
	CM	CM	CM
Alpaca 1	9000	9000	9000
Alpaca 2	9000	9000	9000
Alpaca 3	9000	9000	9000
Alpaca 4	9000	9000	9000
Alpaca 5	9000	9000	9000
Alpaca 6	9000	9000	9000
Alpaca 7	9000	9000	9000
Alpaca 8	9000	9000	9000
Alpaca 9	9000	9000	9000
Alpaca 10	9000	9000	9000

Color de muestras de fibra: blanco, marrón, negro. Cantidad de muestras evaluadas: 30, con 9000 repeticiones por muestra. Sitio de muestreo de fibra = costillar medio (CM)

### 4.3. Descripción ética de la investigación

Las muestras de fibra fueron tomadas de animales en un buen estado físico y aparentemente sano, siguiendo las normas éticas vigentes de protección y bienestar del animal (ley N° 30407). El experimento no involucró el uso de animales, solamente se trabajó con la fibra del animal cumpliendo los protocolos de bioseguridad.

### 4.4. Población y muestra

#### 4.4.1. Población

##### 4.4.1.1. Delimitación

##### a. Espacial

El lugar de estudio se desarrolló en el Departamento de Apurímac, Provincia de Antabamba, Distrito de Oropesa, Comunidad de Sonccoccocha ubicada a una altitud de 4561 m.s.n.m.

##### b. Temporal



La evaluación experimental se realizó en el Laboratorio de Fibras y Lanasy de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. El muestreo de fibra se realizó en enero y el trabajo de laboratorio se realizó entre febrero y abril del año 2022.

#### **4.4.1.2. Características**

Se seleccionó 2 rebaños de alpacas blancas con 285 cabezas (1140 libras en fibra), alpacas marrones con 95 cabezas (380 libras de fibra), alpacas negras con 14 cabezas (56 libras de fibra).

#### **4.4.2. Tamaño de muestra**

El muestreo de fibra fue por conveniencia, considerando las limitaciones de alpacas de color negro, razón por la cual se eligieron 30 alpacas Huacaya, 10 negras, 10 marrones y 10 blancas. Las muestras de fibra (20g) se tomaron de tres partes del animal: paleta, costillar medio y grupa. Obteniéndose en total 90 muestras de fibra considerando color y sitio de muestreo (Anexo 4, Anexo 23).

### **4.5. Procedimiento**

El procedimiento de esta investigación tanto del proceso de decolorado y evaluación del porcentaje de medulación con microscopio de proyección se detalla de la siguiente forma:

#### **4.5.1. Toma de muestra de fibra**

Se consideraron alpacas con buen estado de salud y color homogéneo de fibra, con la ayuda de un personal capacitado se sujeta el animal del cuello y cola, se tomaron 20g de fibra negra, marrón y blanca de cada región corporal (paleta, costillar medio y grupa), estas muestras fueron rotuladas y se colocaron en una bolsa de polietileno, los códigos de toma de muestra se registran en (Anexo 23).

#### **4.5.2. 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 sumerge la fibra durante 5-10 minutos, el objetivo es de eliminar impurezas, tierra y grasa. En otro recipiente se prepara una solución con detergente líquido de Tinovetina® al 0.4% a una temperatura de 50-55°C y se sumerge la fibra suavemente durante 5-10 minutos. Finalmente, se enjuague con agua



a temperatura de ambiente y se retira de los recipientes para dejar secar las muestras a temperatura de ambiente (Figura 11).

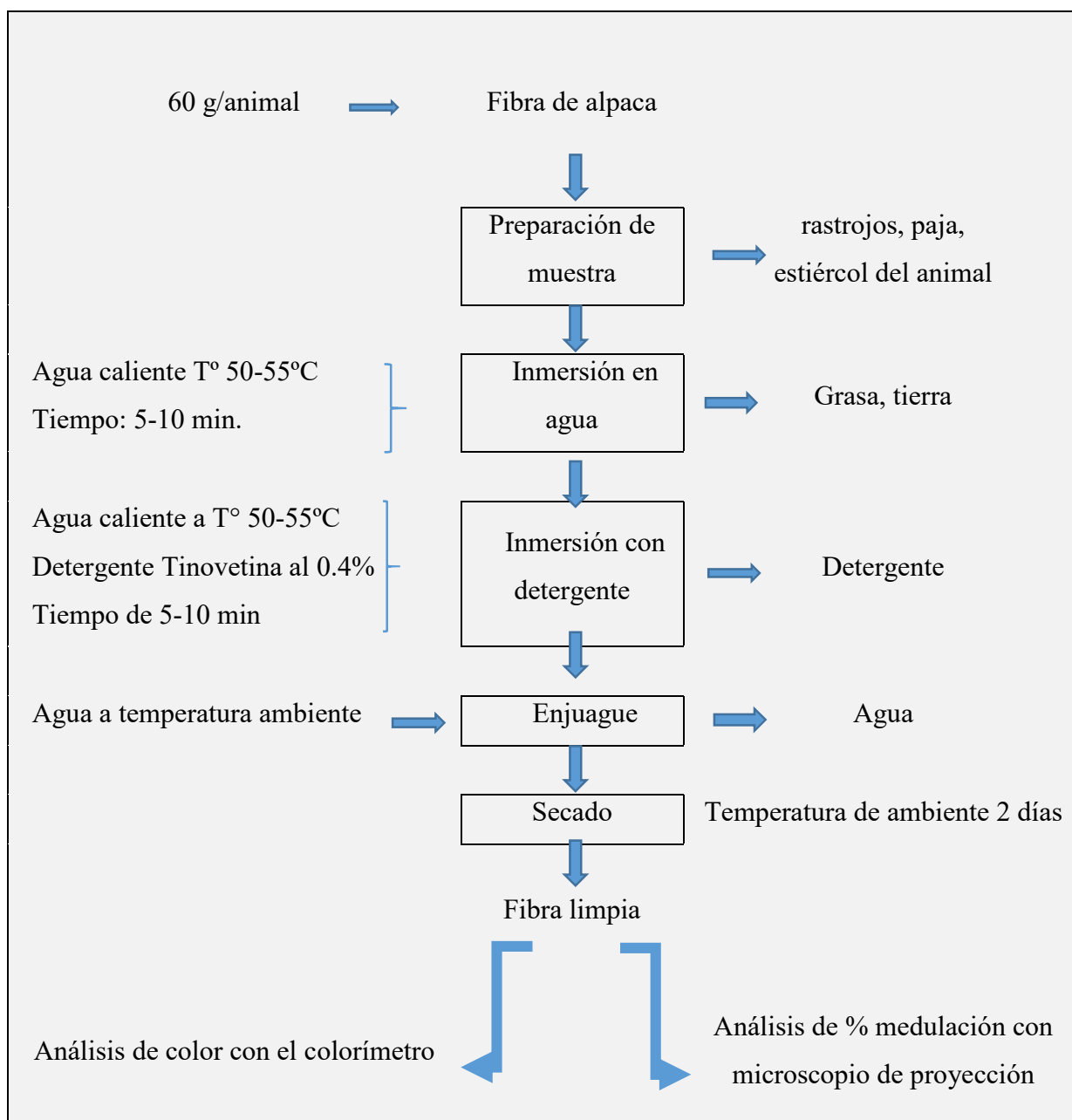


Figura 11 — Proceso de lavado de fibra. Modificado de Calderon (2019)

#### 4.5.3. 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 tonos” 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 decoloración 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.

#### 4.5.4. 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).

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 marrones 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 para poder compararlas.

#### 4.5.5. Porcentaje de fibras meduladas

Para determinar el porcentaje de medulación se usaron fibras sin decoloración (marrón y blanca), la fibra negra fue sometida a un proceso de decoloración durante 10 minutos. Se prepararon snipeets de 1.8 a 2 mm de tamaño usando el micrótopo de Hardy, posterior a ello se homogenizó con aceite de inmersión sobre una lámina de porta objeto y cubre objeto. En 600 fibras individuales (IWTO-8, 2011) a 10X con el microscopio óptico (ZEISS) 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 de la medulación,

usando la siguiente ecuación:  $EE = \sqrt{\left[\frac{m}{n}\right] * (100 - m)}$  de la norma IWTO-8 (2011) donde: (m) es el porcentaje de fibras meduladas y (n) es el número total de fibras analizadas (600).



#### **4.5.6. Diámetro medio de fibra**

El diámetro medio de fibra se determinó usando el equipo de Fiber-EC donde capta las imágenes para luego convertirlos en píxeles fundamentado en análisis de imágenes la cual se realizó en el Laboratorio de la empresa MAXCORP Technologies S.A.C. Lima-Perú.

### **4.6. Técnica e instrumentos**

#### **4.6.1. Decoloración de fibra**

Durante la decoloración 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 negra y marrón. Previamente se ha realizado ensayos preliminares donde se determinó que a 10 minutos de decoloración con peróxido de hidrógeno ya se logra el aclaramiento de fibras negras sin alterar su estructura, así observar la médula, en fibras marrón se observaron sin realizar la decoloración debido a que el contenido de pigmento es menor y la médula se diferencia microscópicamente.

#### **4.6.2. Microscopía**

El microscopio óptico (ZEISS) es un instrumento para la identificación de los tipos de médula, se utilizó el objetivo 10X para buscar 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 micrótomo 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 cubre objetos 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.

#### **4.6.3. 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 High Lift 9 Alfaparf
- Aceite de inmersión
- Detergente en líquido (Tinovetina 0.4%)

#### 4.7. Análisis estadístico

Los datos fueron registrados en Excel, donde se realizó el análisis descriptivo de promedio y error estándar para el porcentaje de medulación. Las figuras y el análisis de datos fueron obtenidos usando el software estadístico R (R Core Development Team, 2021).

**a. Colorimetría**

Para las variables de colorimetría (CIE  $L^*a^*b^*$ ) se usó el análisis de varianza considerando tiempo de decoloración de la fibra, según el siguiente modelo aditivo lineal del diseño completamente al azar.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_j$$

Dónde:

$Y_{ij}$  = Parámetros colorimétricos CIE  $L^*a^*b^*$ .

$\mu$  = Efecto de la media poblacional.

$T_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo tiempo de decoloración ( $i= 5, 10, 35, 70, 105$  minutos).

$e_{ij}$  = Efecto residual.



### b. Porcentaje de medulación

Para evaluar el porcentaje de medulación se utilizó el análisis de varianza de 2 factores, el color y el sitio de muestreo de fibra, según el siguiente modelo aditivo lineal.

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

Dónde:

$Y_{ij}$  = Porcentaje de medulación

$\mu$  = 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.

### c. Diámetro medio de fibra

Para determinar el diámetro medio de fibra se utilizó el análisis de varianza incluyendo el factor de color, según el siguiente modelo aditivo lineal.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_j$$

Dónde:

$Y_{ij}$  = Diámetro medio de fibra

$\mu$  = Efecto de la media poblacional.

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

$e_{ij}$  = Efecto residual.

En todos los casos después del análisis de varianza se utilizó la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) para la comparación múltiple de medias).



## CAPÍTULO V

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

## 5.1. Análisis de resultados

## 5.1.1. Decoloración de fibra negra, marrón y cuantificación por colorimetría

La coordenada de luminosidad de CIE  $L^*a^*b^*$  aumento con el incremento del tiempo. La luminosidad ( $L^*$ ) en fibra negra inicial fue de 5.19, después de un proceso de decoloración aumento a 86.56, el parámetro  $a^*$  disminuyó de 49.33 a 4.43, el parámetro  $b^*$  también disminuyó de 22.82 a 13.89 al minuto 105 de decoloración. Asimismo, en fibra marrón la luminosidad aumentó de 43.18 a 86.92, el parámetro  $a^*$  disminuyó de 14.22 a 3.91, el parámetro  $b^*$  también disminuyó de 23.93 a 15.80 al minuto 70 de decoloración. En fibra blanca sin decoloración la luminosidad fue de 87.14, el parámetro  $a^*$  fue 1.95 en promedio y el parámetro  $b^*$  resulto 8.36 en promedio. Por otro lado, el análisis de color por CIE  $L^*a^*b^*$  para paleta, costillar medio y grupa resultaron ser similares para fibra negra, marrón y blanca (Tabla 16).

**Tabla 16 — Valores promedio de CIE  $L^*a^*b^*$  según color, tiempo y sitio de muestreo en fibra de alpaca Huacaya**

Color	n	Tiempo	Sitio de muestreo de fibra								
			Paleta			Costillar medio			Grupa		
			$L^*$	$a^*$	$b^*$	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$L^*$	$a^*$	$b^*$
Negro	30	Negro sin decoloración	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	30	Marrón sin decoloración	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	30	Blanco sin decoloración	87.14	1.77	8.26	86.55	2.19	8.58	87.61	1.91	8.24

$L^*$  = luminosidad,  $a^*$  = variación de color (- verde a + rojo),  $b^*$  = variación de color (- azul a + amarillo).

Existe diferencia significativa del tiempo de decoloración sobre la luminosidad ( $L^*$ ) en fibra negra y marrón de alpaca Huacaya ( $p < 0.05$ ) (Tabla 17, Anexo 3a). La luminosidad ( $L^*$ ) en fibra negra incrementó conforme aumentaba el tiempo de decoloración con peróxido de hidrogeno, la cual alcanzó un valor de  $86.56 \pm 1.56$  al minuto 105, por otra parte, la ( $L^*$ ) en fibra marrón a 70 minutos de decoloración alcanzó un valor de  $86.92 \pm 1.50$ , estos valores fueron semejantes a la luminosidad de la fibra blanca  $87.14 \pm 1.43$  (Tabla 17).

Existe diferencia significativa del tiempo de decoloración con el valor ( $a^*$ ) en fibra negra, marrón y blanca de alpaca Huacaya ( $p < 0.05$ ) (Anexo 3b). En fibra negra el valor ( $a^*$ ) disminuyó a mayor tiempo de decoloración, de  $49.33 \pm 5.33$  hasta  $4.06 \pm 0.99$  al minuto 105, asimismo en fibra marrón disminuyó de  $14.22 \pm 2.11$  hasta  $3.91 \pm 0.67$  después de la decoloración, estos valores fueron similares a la fibra blanca  $a^* = 1.95 \pm 0.70$  (Tabla 17).

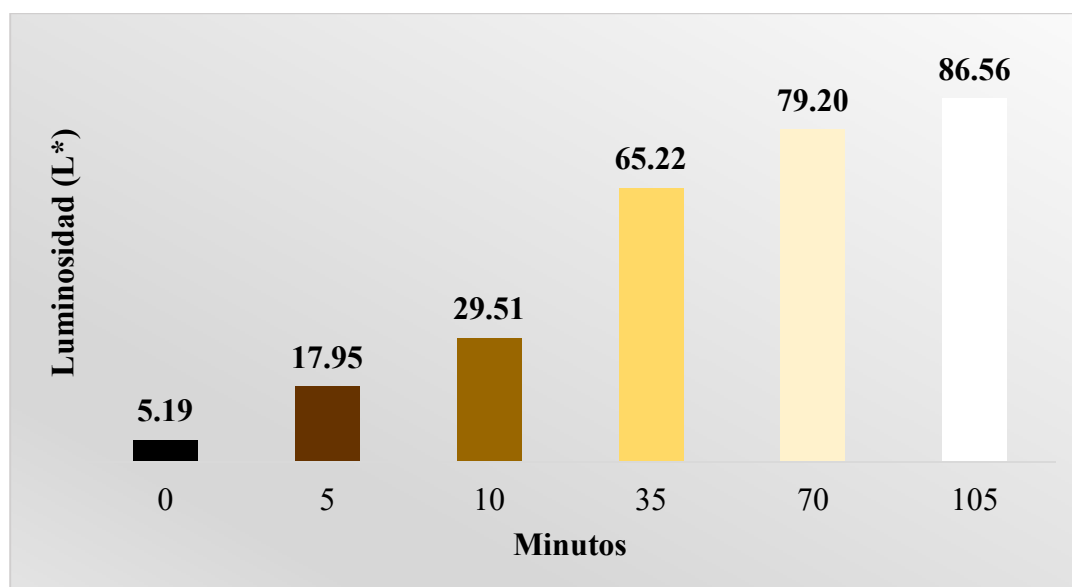
Existe diferencia significativa del tiempo de decoloración con el valor ( $b^*$ ) en fibra negra, marrón y blanca de alpaca Huacaya ( $p < 0.05$ ) (Anexo 3c). En fibra negra el valor ( $b^*$ ) disminuyó conforme iba aumentando el tiempo de decoloración, de  $22.82 \pm 3.07$  hasta  $13.23 \pm 2.53$  al minuto 105, asimismo en fibra marrón disminuyó de  $23.93 \pm 2.71$  a  $15.81 \pm 1.46$ , estos datos fueron diferentes comparados con los valores de la fibra blanca  $8.36 \pm 1.76$  (Tabla 17).

**Tabla 17— Parámetros colorimétricos de CIE  $L^*a^*b^*$  en fibra de color a diferentes tiempos de decoloración**

Tiempo de decoloración	$L^*$	DE	$a^*$	DE	$b^*$	DE
Fibra blanca	$87.14^h$	1.43	$1.95^a$	0.70	$8.36^a$	1.76
Fibra marrón	$43.18^d$	10.47	$14.22^d$	2.11	$23.93^e$	2.71
Fibra negra	$05.19^a$	1.78	$49.33^g$	5.33	$22.82^{de}$	3.07
05 min fibra negra	$17.94^b$	1.76	$29.05^f$	3.88	$28.35^f$	2.86
10 min fibra negra	$29.51^c$	4.60	$21.79^e$	1.48	$34.59^h$	3.77
35 min fibra marrón	$70.18^f$	1.35	$9.54^c$	1.16	$24.82^e$	2.45
35 min fibra negra	$65.22^e$	2.35	$14.11^d$	1.55	$31.89^g$	2.79
70 min fibra negra	$79.20^g$	2.43	$8.74^c$	1.46	$21.38^d$	1.78
70 min fibra marrón	$86.92^h$	1.50	$3.91^{ab}$	0.67	$15.81^c$	1.46
105 min fibra negra	$86.56^h$	1.56	$4.06^b$	0.99	$13.23^b$	2.53

Parámetros colorimétricos:  $L^*$  = luminosidad,  $a^*$  = variación de color de - verde a + rojo,  $b^*$  = variación de color de - azul a + amarillo y su desviación estándar (DE). Letras diferentes por columna indican las diferencias estadísticas (Tukey,  $\alpha = 0.05$ )

El mayor incremento de la luminosidad fue en los primeros 35 minutos de decoloración, variando de 5.19 a 65.22, en esta parte ocurre la mayor cantidad de degradación de eumelamina. Seguido a ello del minuto 35 al minuto 70 varió la luminosidad de 65.22 a 79.20, pasando de color amarillo intenso a un color amarillo claro. Posterior a ello la luminosidad incrementó ligeramente de 79.20 a 86.56 al minuto 105 de decoloración. La variación lenta se debe a la poca cantidad de pigmento residual que se encuentra en la fibra durante el proceso de decoloración (Figura 12).



**Figura 12—Variación de la Luminosidad a tiempos diferentes de decoloración en fibra negra**

**Tabla 18 — Costo de decoloración en fibra de color en alpaca Huacaya**

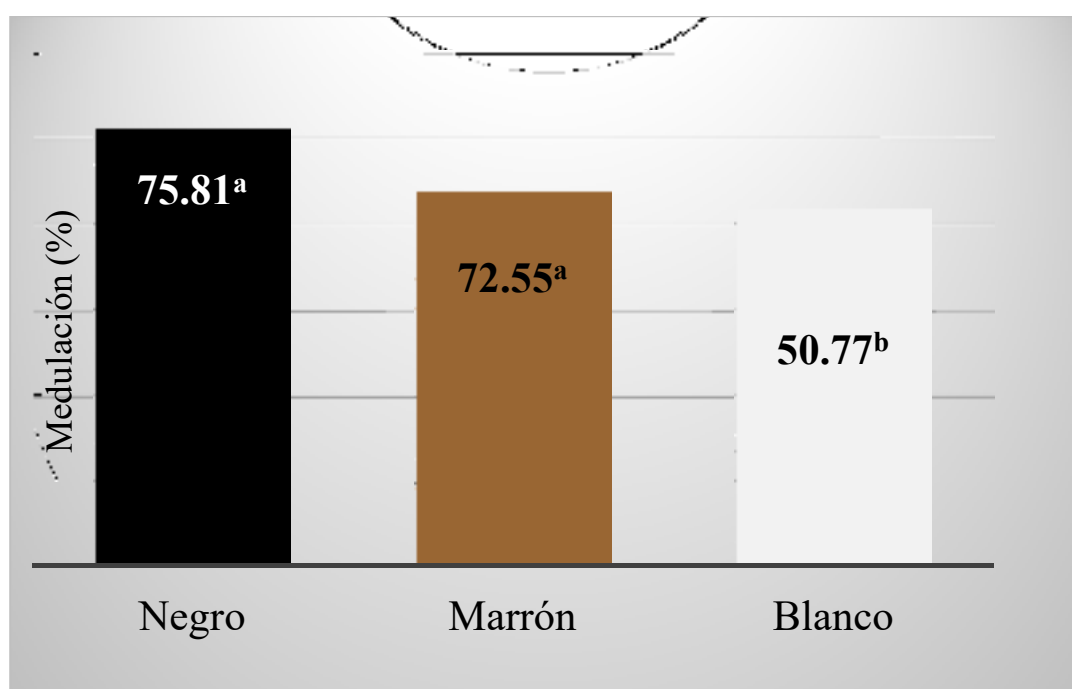
Insumos	Para 2.0g. de fibra	Para 0.5Kg. de fibra	Para 1kg. de fibra
Crema oxigenada (Faire Bon 40vol) frasco X 1L = 10s/.	0.25s/.	62.50s/.	125.00s/.
Polvo decolorante (High Lift 9 tonos) frasco X 400g = 65s/.	1.62s/.	405.00s/.	900.00s/.
Otros	0.12s/.	30.00s/.	60.00s/.
Costo total	1.99s/.	497.50s/.	1085.00s/.

El costo de decoloración en fibra de alpaca negra y marrón es alto usando crema oxigenada y polvo decolorante, en la tesis lo realizamos con la finalidad de poder conocer si estos agentes eran óptimos en decoloración, por otro lado, para poder determinar la calidad de fibra a través del porcentaje de medulación en fibra negra y marrón (Anexo 20) debido a que en fibra negra no se puede observar los tipos de

médula (Anexo 19) por el alto contenido de pigmento, razón por ello se tuvo que realizar un proceso de decoloración. A nivel industrial no es factible la decoloración por el alto costo.

### 5.1.2. Porcentaje de medulación en fibra de alpaca según color y sitio de muestreo

Existen diferencias significativas respecto al color de fibra sobre el porcentaje de medulación total ( $p < 0.05$ ) (Tabla 19, Anexo 3-d), el porcentaje de medulación total  $\pm$  EE obtenida en fibra negra fue  $75.81 \pm 1.72\%$  la cual fue similar a  $72.55 \pm 1.78\%$  obtenido en fibra marrón, estos valores fueron superiores a  $50.77 \pm 1.97\%$  obtenido en fibra blanca (Tabla 18). El porcentaje de medulación en fibra fragmentada fue diferente para fibra negra, marrón y blanca, con médula discontinua fue similar para fibra marrón y negra siendo superior a la fibra blanca, asimismo las fibras con médula continua fueron similares en fibra negra y marrón pero superiores a la fibra blanca, por otra parte, las fibras fuertemente meduladas fueron similares para fibra negra, marrón y blanca (Tabla 19).



**Figura 13 — Porcentaje de medulación total en fibra negra, marrón y blanca de alpaca raza Huacaya**

En cuanto a sitio de muestreo del animal (paleta, costillar medio y grupa) no existe efecto significativo sobre el porcentaje de fibra con médula fragmentada, discontinua, continua, fuertemente medulada y la medulación total estadísticamente fueron similares ( $p>0.05$ ) (Anexo 3-e), asimismo sus respectivos errores estándar se visualizan en (Tabla 19).

**Tabla 19 — Porcentaje de fibras por tipo de medulación y error estándar (EE) según color y sitio de muestreo en alpaca Huacaya**

<b>Factores</b>	<b>MF (%)</b>	<b>EE (%)</b>	<b>MD (%)</b>	<b>EE (%)</b>	<b>MC (%)</b>	<b>EE (%)</b>	<b>FM (%)</b>	<b>EE (%)</b>	<b>MT (%)</b>	<b>EE (%)</b>	<b>SM (%)</b>
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 medio	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>

Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas,  $p<0.001$  (\*\*\*) ; letras similares, sin diferencias significativas (ns), según Tukey,  $\alpha= 0.05$ . Tipos de fibra: sin médula (SM), medulada fragmentada (MF), medulada discontinua (MD), medulada continua (MC) y fuertemente medulada (FM) con sus respectivos errores estándar (EE), para medulación total (MT) el EE es el mismo de fibra sin médula.

Realizando una comparación múltiple entre los porcentajes de fibra según el tipo de médula más su error estándar (EE), estadísticamente fueron diferentes ( $p<0.05$ ) (Anexo 4f), 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 ( $17.01\pm 1.45$ ) y médula continua ( $16.67\pm 1.48$ ) 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 20).

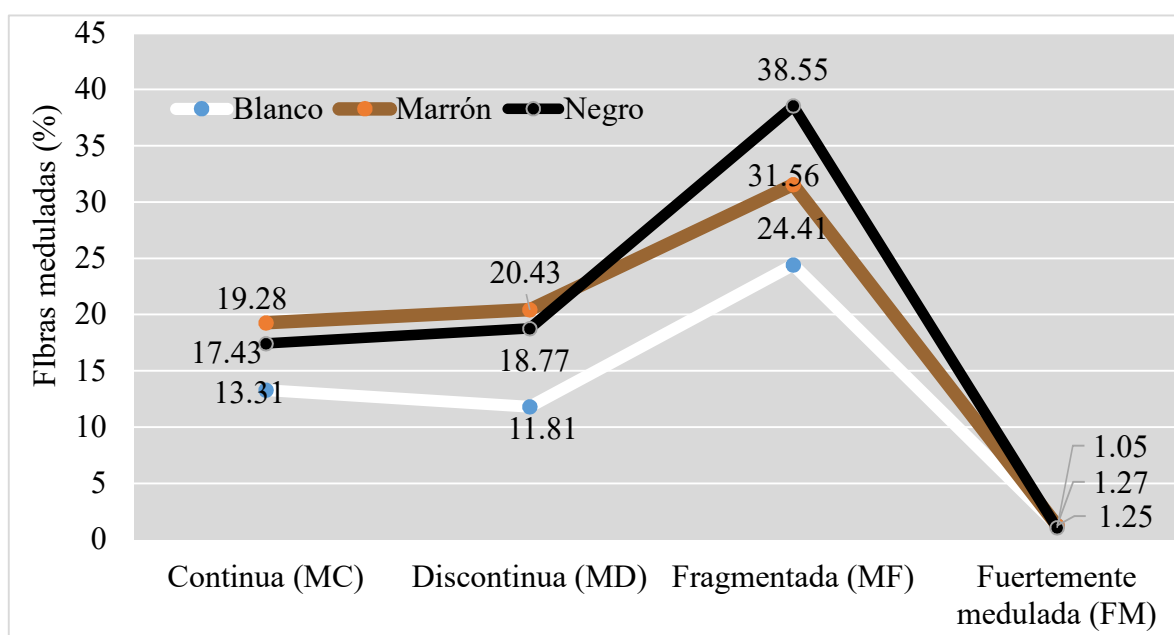


**Tabla 20** —Promedio de porcentaje de fibra y su error estándar (EE) en alpaca Huacaya

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

Letras diferentes por columna indican diferencias estadísticas por tipo de médula y letras iguales indican valores similares (Tukey,  $\alpha=0.05$ ).

El promedio de porcentaje de fibra de alpaca por tipo de médula, estadísticamente es diferente ( $p<0.05$ ) (Anexo 3f), en fibra blanca el mayor porcentaje de fibra es de tipo sin médula, 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 médula (SM) 33.62%, la fuertemente medulada (FM) 1.19% tiene un porcentaje de medulación inferior en fibra negra, marrón y blanca (Tabla 20).



**Figura 14** — Variación del porcentaje de fibras meduladas en alpacas Huacaya de color

### 5.1.3. Diámetro medio de fibra en alpacas de color

Existe una diferencia significativa del diámetro medio de fibra con respecto al color del animal ( $p < 0.05$ ) (Anexo 3-g). La fibra blanca  $20.87 \pm 1.97 \mu\text{m}$  tiene menor diámetro promedio comparado con la fibra negra  $25.54 \pm 3.72 \mu\text{m}$ , en cambio la fibra marrón  $21.89 \pm 4.01 \mu\text{m}$  estadísticamente es similar tanto 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 21).

**Tabla 21— Diámetro medio de fibra (DMF) en alpaca Huacaya de color**

Color de fibra	n	DMF ( $\mu\text{m}$ )
Negro	10	$25.54^a \pm 3.72$
Marrón	10	$21.89^{ab} \pm 4.01$
Blanco	10	$20.87^b \pm 1.97$

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

## 5.2. Contrastación de hipótesis

### 5.2.1. Hipótesis general

Se demostró que el tiempo de inmersión influye en la decoloración de fibra negra y marrón con peróxido de hidrogeno y el porcentaje de medulación no varía según sitio de muestreo en fibra negra, marrón y blanca de alpaca Huacaya.

### 5.2.2. Hipótesis específico

- Se demostró que el tiempo de inmersión influye en la decoloración de la fibra negra y marrón con peróxido de hidrogeno, al cuantificar con el colorímetro PCE CSM7.
- Se demostró que el porcentaje de medulación si varía en fibra de alpaca Huacaya, según color (negro, marrón y blanco). Por otra parte, según sitio de muestreo (paleta, costillar medio y grupa). no hay variación en cuanto a porcentaje de medulación.
- Se demostró que el diámetro medio de fibra varía en cuanto a color (negro, marrón y blanco) en fibra de alpaca Huacaya.

## 5.3. Discusiones

### 5.3.1. Decoloración y cuantificación de color

#### Decoloración

La luminosidad en fibra de alpaca negra al minuto 105 después del proceso de decoloración fue  $86.56 \pm 1.56$ , en fibra marrón  $86.92 \pm 1.50$  después de 70 minutos de decoloración. En lana tunecina blanqueada durante 90 minutos, con 2 mordientes sulfato de cobre (A), sulfato de hierro (B) y peróxido de hidrógeno al 30% Bouagga et al. (2020) determinaron una variación de luminosidad de  $58.5 \pm 3.4$  a  $75.1 \pm 30$  para (A) y  $58.5 \pm 3.4$  a  $79.7 \pm 5.4$  para (B), respectivamente. Por otro lado, Harizi et al. (2013) al realizar un estudio de decoloración en 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  $56.18 \pm 1.1$  a  $77.73 \pm 0.4$  en un tiempo de 60 minutos. Mortazavi et al. (2014) al realizar estudio de decoloración en lana negra de karacul usó sulfato de cobre como mordiente y peróxido de hidrógeno a 60ml/l como agente blanqueador donde la luminosidad ( $L^*$ ) incrementó de 16.27 a 78.00 en un tiempo de 75 minutos.

La decoloración en fibra de color fue óptimo, debido a que el peróxido de hidrogeno es un buen agente blanqueador (Liu et al., 2003; Harizi, 2013; Mortazavi, 2013), además el polvo decolorante contiene: Persulfato de amonio y Persulfato de potasio, las cuales ayudan a eliminar el pigmento de la fibra (Said, Hayel M. y Said Hian, 2016).

#### Cuantificación de color

Según la cuantificación de color con el sistema CIE  $L^*a^*b^*$ , el resultado obtenido en fibra de alpaca negra fue  $L^*=5.19$ ,  $a^*=-49.33$ ,  $b^*=22.82$  la cual es inferior a  $L^*=19.02 \pm 5.10$  reportado por Pinares et al. (2021),  $L^*=17.40 \pm 1.09$ ,  $a^*=0.85 \pm 0.45$ ,  $b^*=-0.02 \pm 0.61$  reportado por Cruz et al. (2021),  $L^*=17.23 \pm 1.93$ ,  $a^*=1.38 \pm 0.87$ ,  $b^*=2.52 \pm 1.59$  reportado por Guridi et al. (2011). 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  $L^*=29.85 \pm 3.78$  reportado por Pinares et al. (2021),  $L^*=31.4 \pm 4.97$ ,  $a^*=9.15 \pm 0.86$ ,  $b^*=14.60 \pm 2.48$  reportado por Cruz et al. (2021) y  $L^*=36.25 \pm 6.88$ ,  $a^*=10.52 \pm 0.98$ ,  $b^*=21.78 \pm 2.57$  reportado por Guridi et al. (2011).

La cuantificación de color con el colorímetro en fibra de alpaca blanca fue  $L^*=87.14$ ,  $a^*=1.96$ ,  $b^*=8.36$ , similar a  $L^*=87.1\pm 3.97$   $a^*=-0.34\pm 0.55$   $b^*=8.27\pm 1.40$  reportado por Cruz et al. (2021) y  $L^*=83.72\pm 4.35$   $a^*=2.89\pm 4.65$   $b^*=7.83\pm 5.42$  reportado por Lupton et al. (2006). Superior a  $L^*=73.58\pm 2.94$ ,  $a^*=2.17\pm 0.58$   $b^*=12.42\pm 1.37$  reportado por Guridi et al. (2011).

Los resultados obtenidos muestran similitud a lo reportado por diversos autores en cuanto al color blanco, la mínima diferencia de color se debe principalmente a la variabilidad de color que existe en fibra marrón claro y oscuro (Cruz et al. 2021), además la intensidad del color de fibra puede aumentar con la edad del animal (Quispe et al., 2019), asimismo la genética del animal hace variar la luminosidad debido a la menor producción del pigmento de feomelanina (Druml et al., 2018).

### 5.3.2. 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. En alpacas marrón 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).

Las mínimas diferencias se deben al efecto genético (Frank et al., 2011; Guillen, 2019), además Lupton et al. (2006) menciona que la calidad de la fibra disminuye al aumentar el tono oscuro de color en las alpacas Huacaya, las fibras oscuras presentan una fibra más gruesa que los claros (McGregor y Butler, 2004; Lupton et al., 2006), además los folículos pilosos secundarios pueden producir fibras meduladas más delgadas y fibras no meduladas gruesas (Antonini et al., 2004). El factor

alimentación, estado fisiológico de la alpaca juega un papel muy importante en la calidad de fibra (Aylan-Parker y McGregor, 2002).

### 5.3.3. Diámetro medio de fibra de alpaca

El diámetro medio reportado en fibra de color negro fue  $25.54 \pm 3.72 \mu\text{m}$  la cual es similar a  $26.69 \pm 0.97 \mu\text{m}$  reportado por Machaca et 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  $21.89 \pm 4.01 \mu\text{m}$ , la cual es ligeramente más fino a  $23.81 \pm 0.66 \mu\text{m}$  reportado por Machaca et 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  $20.87 \pm 1.97 \mu\text{m}$  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, la blanca es clasificada como alpaca Baby según la Norma Técnica Peruana del 2014 y las de color como alpaca Fleece. La mínima variación en cuanto a diámetro medio de fibra se debe principalmente a la genética del animal donde las fibras oscuras presentan una fibra más gruesa que los claros (McGregor y Butler, 2004; Lupton et al., 2006).



## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.4. Conclusiones

Se demostró que el tiempo de inmersión influye en la decoloración de fibra negra y marrón de alpaca Huacaya. Considerando la luminosidad de fibra blanca, la decoloración total de la fibra negra se logra a los 105 minutos y en fibra marrón a los 70 minutos.

El porcentaje de medulación es alto y similar entre la fibra de alpaca negra ( $75.81 \pm 1.72\%$ ) y marrón ( $72.55 \pm 1.78\%$ ), pero mayor que la fibra blanca ( $50.77 \pm 1.97\%$ ). El porcentaje de medulación por sitio de muestreo (paleta, costillar medio y grupa) es similar en fibra negra, marrón y blanca.

El diámetro medio de fibra en alpaca Huacaya marrón ( $21.89 \pm 4.01 \mu\text{m}$ ) es similar al diámetro medio de fibra negra  $25.54 \pm 3.72 \mu\text{m}$  y blanca  $20.87 \pm 1.97 \mu\text{m}$ , pero la fibra negra es más gruesa que la fibra blanca.

#### 5.5. Recomendaciones

Usar mordientes e insumos químicos aparte de peróxido de hidrógeno, tener mucho cuidado con la concentración y tiempo de inmersión, 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 decoloración, para conocer si hubo daños en la fibra decolorada.

Para determinar el porcentaje de medulación en fibra de alpaca negra y marrón oscuro, es recomendable realizar el proceso de decoloración 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 decoloración.

Contar con ambiente de temperatura y humedad controlada, tal como lo establece la norma ITWO-8 (2011), asimismo se recomienda hacer estudios en cuanto a determinación del DMF a diferentes tiempos de decoloración.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALZOLA, R. *Curso de histología, embriología y teratología sistema tegumentario*. Guía de estudio, 2002. [Consultado el 10/01/2022].

ANTONINI, M.; GONZALES, M. y VALBONESI, A. *Relationship between age and postnatal skin follicular development in three types of South American domestic camelids*. *Livestock Production Science* [en línea]. Elsevier. Noviembre de 2004, 90(2-3), 241–246. ISSN 0301-6226 [consultado el 15/01/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.06.001>.

ARAGÓN, O. y MAMANI, L. *Alpaca de color. Estrategia de conservación en comunidades de alta montaña: Sistematización de la experiencia de Heifer Perú en la formación de los Centros de Producción de Reproductores*. 2018. Lima, Perú.

ARQUIPA, M. *Evaluación de la calidad de fibra de alpaca Huacaya (Vicugna pacos) en dos localidades del municipio de Catacora*. Tesis de Ingeniero Agrónomo, 2015. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. 98 pág.

AYLAN-PARKER, J. y MCGREGOR, B. A. *Optimising sampling techniques and estimating sampling variance of fleece quality attributes in alpacas*. *Small Ruminant Research* [en línea]. Elsevier. Abril de 2002, 44(1), 53–64. ISSN 0921-4488 [consultado el 15/01/2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/s0921-4488\(02\)00038-x](https://doi.org/10.1016/s0921-4488(02)00038-x).

BARREDA, F. *Características textiles y estructura medular de la fibra de alpaca Huacaya de la Provincial de Huancané*. Tesis de Ingeniero Textil y Confecciones, 2020. Universidad Nacional de Juliaca, Perú. 129 pág.

BOUAGGA, T.; HARIZI, T. y SAKLI, F. *Effect of Mordant Bleaching on the Optical and Mechanical Properties of Black Tunisian Wool and Optimization of the Bleaching Process*. *Journal of Natural Fibers* [en línea]. Taylor & Francis. Noviembre de 2020, 1–13. ISSN 1544-046X [consultado el 10/01/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1838992>.

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

CALDERON, D.W. *Precisión y exactitud de los equipos Minifiber-EC y Fiber-EC utilizando fibra de alpaca y lana*. Tesis de maestría, 2019. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.



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

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

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

CCACCYA, E.L. *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 Médico Veterinario y Zootecnista, 2014. Abancay, Apurímac, Perú.

CHECALLA, V.M. *Heredabilidad del diámetro y médulación de fibra en alpacas (Vicugna pacos L.) blancas suri-anexo Quimsachata, Inia Illpa – Puno*. Tesis de Ingeniero Agrónomo, 2021. Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. 89 pág.

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, Michael, et al. *Colours of domestication*. Biological Reviews [en línea]. Marzo de 2011, 86(4), 885–899. ISSN 1464-7931 [consultado el 04/06/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1469-185x.2011.00177.x>.

CONTRERAS, A. *Estructura cuticular y características físicas de la fibra de alpaca Huacaya (Vicugna pacos) de color blanco en la Región de Huancavelica*. Tesis de Ingeniero Zootecnista, 2010. Universidad Nacional de Huancavelica, Perú. 90 pág.

CRUZ, Alan, et al. *Colorimetry analysis of coat color and its relationship with fiber traits in alpacas*. Animal [en línea]. Elseiver. Mayo de 2021, 15(5), 100219. ISSN 1751-7311. [Consultado el 20/03/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100219>.

CUTIRE, R. B. *Finura y medulación de la fibra de alpacas Huacaya de color blanco en las Comunidades de Llullucha, Palcca y Accocunca Ocongate – Quispicanchi*. Tesis de Ingeniero Zootecnista, 2019. Universidad Nacional de San Antonio Abad de Cusco, Perú. 69 pág.

DRUML, Thomas, et al. *Discriminant Analysis of Colour Measurements Reveals Allele Dosage Effect of ASIP/MC1R in Bay Horses*. Czech Journal of Animal Science [en línea]. 2018, 63(9), 347–355 [Consultado el 15/12/2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.17221/105/2017-CJAS>.





GUILLEN A. L. *Variación en el diámetro de fibra por efecto de la medulación en vellones finos de alpacas Huacaya de diferentes edades*. Tesis de Médico Veterinario, 2019. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. 56 pág.

GUILLEN, A. y LEIVA, V. *Variación en el diámetro de fibra por efecto de la medulación en vellones finos de alpacas Huacaya de tres grupos etarios*. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú [en línea]. Noviembre de 2020, 31(4), e19026. ISSN 1682-3419 [consultado el 27/01/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.15381/rivep.v31i4.19026>.

GURIDI, M., et al. *Single nucleotide polymorphisms in the Melanocortin 1 Receptor gene are linked with lightness of fibre colour in Peruvian Alpaca (Vicugna pacos)*. Animal Genetics [en línea]. Mayo de 2011, 42(6), 679–682. ISSN 0268-9146 [consultado el 20/03/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2011.02205.x>.

HARIZI, T., et al. *Bleaching Process Investigation of Tunisian Dromedary Hair*. ISRN Textiles [en línea]. Hindawi. Junio de 2013, 2013, 1–5. ISSN 2314-6389 [consultado el 17/01/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2013/532396>.

HUANCA, T.; APAZA, N. y LAZO, A. *Evaluación del diámetro de fibra en alpacas de las comunidades de los Distritos de Cojata y Santa Rosa – Puno*. 2007. APPA – ALPA-Cusco, Perú.

HUNTER, L. *Mohair, cashmere and other animal hair fibres*. Handbook of Natural Fibres [en línea]. Elsevier. 2020, 279–383. ISBN 9780128183984 [consultado el 10/04/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818398-4.00012-8>.

HUNTER, L.; SMUTS, S. y BOTHA, A.F. *Characterizing Visually Objectionable and Nonobjectionable Medullated Fibers in Mohair*. Journal of Natural Fibers [en línea]. Taylor & Francis. Enero de 2013, 10(2), 112–135. ISSN 1544-046X [consultado el 22/04/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15440478.2013.763483>.

ITO, S. y WAKAMATSU, K. *Chemistry of melanins*. The pigmentary system: physiology and pathophysiology. Abril de 2006, 282-310. ISBN: 9780470987100. DOI: 10.1002/9780470987100

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.; HURREN, C. J. y WANG, X. *Comparative analysis of two selective bleaching methods on Alpaca fibers*. *Fibers and Polymers* [en línea]. Septiembre de 2003, 4(3), 124–128. ISSN 1875-0052 [consultado el 15/02/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/bf02875459>.

LUPTON, C. J.; MCCOLL, A. y STOBART, R.H. *Fiber characteristics of the Huacaya Alpaca*. *Small Ruminant Research* [en línea]. Elsevier. Agosto de 2006, 64(3), 211–224. ISSN 0921-4488 [consultado el 14/01/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.04.023>.

MACHACA, Virgilio, et al. *Características de la Fibra de Alpaca Huacaya de Cotaruse, Apurímac, Perú*. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* [en línea]. Diciembre de 2017, 28(4), 843-851. ISSN 1682-3419 [consultado el 16/03/2022]. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.15381/rivep.v28i4.13889>.

MATHIAS-RETTIG, K. y AH-HEN, K. *El color en los alimentos un criterio de calidad medible*. *Agro Sur* [en línea]. Noviembre de 2014, 42(2), 57–66. ISSN 0304-8802 [consultado el 27/11/2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.4206/agrosur.2014.v42n2-07>.

MCGREGOR, B. A. y BUTLER, K. L. *Sources of variation in fibre diameter attributes of Australian alpacas and implications for fleece evaluation and animal selection*. *Australian Journal of Agricultural Research* [en línea]. Crop and Pasture Science. 2004, 55(4), 433-442. ISSN 0004-9409 [consultado el 22/11/2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1071/ar03073>.

MCGREGOR, B. A. *Production, attributes and relative value of alpaca fleeces in southern Australia and implications for industry development*. *Small Ruminant Research* [en línea]. Elsevier. Febrero de 2006, 61(2-3), 93–111. ISSN 0921-4488 [consultado el 22/01/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.07.001>.

MCGREGOR, B. A. y QUISPE, E. C. *Cuticle and cortical cell morphology of alpaca and other rare animal fibres*. *The Journal of the Textile Institute* [en línea]. Taylor & Francis. Septiembre de 2017, 109(6), 767–774. ISSN 1754-2340 [consultado el 30/03/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/00405000.2017.1368112>.

MONTAZER, M.; ZARGARAN, M. y RAHIMI, A. *Depigmentation of Pigmented Wool*. En línea. *Textile Research Journal* [en línea]. Febrero de 2009, 79(3) 261–267. ISSN 1746-7748 [consultado el 22/01/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0040517507097517>.



MOORE, K. E.; BLACHE, D. y MALONEY, S. K. *Fibre diameter and insulation in alpacas: The biophysical implications*. Small Ruminant Research [en línea]. Elsevier. Abril de 2011, 96(2-3), 165–172. ISSN 0921-4488 [consultado el 06/01/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.01.012>.

MORTAZAVI, S. M.; SAFI, S.; MOGHADAM, M. K. y ZAMANI, M. *Bleaching of black pigmented karakul wool fibers using copper sulfate as catalyst*. Fibers and Polymers [en línea]. Noviembre de 2014, 15(11), 2297–2306. ISSN 1875-0052 [consultado el 06/01/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12221-014-2297-y>.

NARVAEZ, E. *Evaluación de la calidad de fibra de alpaca de la Comunidad Campesina de Curanco, Distrito de Antabamba- Apurímac*. Tesis de Ingeniero Zootecnista, 2019. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Perú.

NINA, M.R. *Caracterización del Color de Fibra En Alpacas (Vicugna Pacos) Huacaya de la Comunidad de Lagunillas, Distrito de Santa Lucia-Lampa*. Tesis de Médico Veterinario y Zootecnista, 2017. Universidad Nacional del altiplano, Puno, Perú. 102 pág.

NORMA TÉCNICA PERUANA. *Fibra de alpaca clasificada, Definiciones, Clasificación por grupo de Calidades, Requisitos y Rotulado*. 2014. Lima-Perú.

ORIA, I., et al. *Variabilidad del color de la fibra de alpaca en la zona altoandina de Huancavelica-Perú*. Animal Genetic Resources Information [en línea]. Octubre de 2009, 45, 79–84. ISSN 2076-4022 [consultado el 10/02/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/s101423390999037x>.

PINARES, R. *Parámetros genéticos para la medulación y el diámetro de fibra en alpacas (Vicugna Pacos) Huacaya del fundo experimental Pacamarca*. Tesis de maestría, 2017. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

PINARES, Rubén, et al. *Heritability of individual fiber medullation in Peruvian alpacas*. Small Ruminant Research [en línea]. Elsevier. Agosto de 2018, 165, 93–100. ISSN 0921-4488 [consultado 04/01/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2018.04.007>.

PINARES, Rubén, et al. *Variabilidad fenotípica del porcentaje de fibras meduladas en el vellón de alpaca Huacaya*. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú [en línea]. Julio de 2019, 30(2), 699–708. ISSN 1682-3419 [consultado el 15/01/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.15381/rivep.v30i2.16098>.



PINARES, R. y YAURI, W. V. *Variaciones fenotípicas de las características textiles de fibra predescerdada de vicuña*. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú [en línea]. Febrero de 2020, 30(4), 1592–1602. ISSN 1682-3419 [consulta: 20 enero 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.15381/rivep.v30i4.17265>.

PINARES, Rubén, et al., *Polimorfismos de nucleótido simple (PNSs) del gen MC1R en alpacas negras y marrones*. Revista Peruana de Biología [en línea]. Febrero de 2021, 28(1), e19742. ISSN 1727-9933 [consultado el 17/02/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.15381/rpb.v28i1.19742>.

POWELL, B. C. y ROGERS, G. E. *The role of keratin proteins and their genes in the growth, structure and properties of hair*. Formation and Structure of Human Hair. 1997, 59–148. ISBN 9783034899512.

QUISPE, Max, et al. *Application of artificial intelligence and digital images analysis to automatically determine the percentage of fiber medullation in alpaca fleece samples*. Small Ruminant Research [en línea]. Elsevier. Mayo del 2022, 213, 106724. ISSN 0921-4488 [consultado 05/09/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2022.106724>.

QUISPE, J. E.; APAZA, E. y OLARTE, C. U. *Características físicas y perfil de diámetro de fibra de alpacas Huacaya del Centro Experimental La Raya (Puno, Perú), según edad y sexo*. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú [en línea]. Abril de 2021, 32(2), e20004. ISSN 1682-3419 [consultado el 25/01/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.15381/rivep.v32i2.20004>.

QUISPE, J. E.; BUSTINZA, V. y JAHUIRA, F. *Características del vellón de vicuñas (Vicugna vicugna mensalis) de Cala Cala y Picotani (Puno-Perú) criadas en semicautiverio*. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú [en línea]. Julio de 2019, 30(2), 523–536. ISSN 1682-3419 [consultado el 20/01/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.15381/rivep.v30i2.16090>.

QUISPE, E.; POMA, A. y PURROY, A. *Características productivas y textiles de la fibra de alpacas de raza huacaya*. Revista Complutense de Ciencias Veterinarias [en línea]. Febrero de 2013, 7(1), 1-29. ISSN 1988-2688 [consultado el 27/12/2021]. Disponible en: [https://doi.org/10.5209/rev\\_rccv.2013.v7.n1.41413](https://doi.org/10.5209/rev_rccv.2013.v7.n1.41413).

QUISPE, E.C.; SACHERO, D. y QUISPE, M.D. *Potencial uso en la evaluación de lanas y fibras de animales de un novedoso caracterizador electrónico*. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú [en línea]. Septiembre de 2018. 29(3), 858. ISSN 1682-3419 [consultado el 23/01/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.15381/rivep.v29i3.13677>.



RADZIK-RANT, A.; POFELSKA, O. y RANT, O. *Characteristics of alpaca wool from farmed animals located on different continents*. Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW [en línea]. Junio de 2018, 57(2), 151–158. ISSN 1898-8830 [Consultado el 27/04/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.22630/aas.2018.57.2.15>.

RADZIK-RANT, A. y WIERCÍŃSKA, K. *Analysis of the wool thickness and medullation characteristics based on sex and color in a herd of alpacas in Poland*. Archives Animal Breeding [en línea]. Mayo de 2021, 64(1), 157–165. ISSN 2363-9822 [consultado el 27/04/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.5194/aab-64-157-2021>.

ROGERS, G. E. *Hair follicle differentiation and regulation*. The International Journal of Developmental Biology [en línea]. ResearchGate. 2004, 48(2-3), 163–170. ISSN 0214-6282 [consultado el 20/01/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1387/ijdb.15272381>.

SAID, HAYEL M. y SAID HIAN. *Composición para aclarar y colorear simultáneamente el cabello utilizando tintes ácidos y básicos estables a la decoloración*. 2016. (patente de Europa N° 2562020) comunidad europea.

SPONENBERG, Philips, et al. *Pigment Types in Sheep, Goats, and Llamas*. Pigment Cell Research [en línea]. Mayo de 1988, 1(6), 414–418. ISSN 1600-0749 [consultado el 14/01/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0749.1988.tb00145.x>.

TORRES R.N. *Tasa de medulación de fibra de alpaca (Vicugna Pacos) mediante la comparacion del medulometro y el ofda 100*. Tesis de Maestria, 2020. Universidad Católica de Santa Maria, Arequipa, Perú. 77 pág.

VALBONESI, A., et al. *Comparison of Fiber and Cuticular Attributes of Alpaca and Llama Fleeces*. Textile Research Journal [en línea]. Febrero de 2010, 80(4), 344–353. ISSN 1746-7748 [consultado el 15/03/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0040517509337634>.

VÁSQUEZ, R.; GÓMEZ, O. E. y QUISPE, E. *Características Tecnológicas de la fibra blanca de Alpaca Huacaya en la zona Altoandina de Apurímac*. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú [en línea]. Junio de 2015, 26(2), 213-222. ISSN 1609-9117 [consultado el 15/11/2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.15381/rivep.v26i2.11020>.

VILLARROEL, J. *Un estudio de la fibra de alpaca*. Anales Científicos. 1963, 31, 246–274. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.



WHEELER, J. C. *Evolution and present situation of the South American Camelidae*. Biological Journal of the Linnean Society. 1995, 54(3), 271-295. DOI: 10.1111/j.1095-8312.1995.tb01037.x.

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

WANG, X.; WANG, L. y LIU, X. *The Quality and Processing Performance of Alpaca Fibres*. Rural Industries Research and Development Corporation. 2003, 3(128). ISBN 0642 586942.

WANG, H.; LIU, X. y WANG, X. *Internal structure and pigment granules in colored alpaca fibers*. Fibers and Polymers [en línea]. Septiembre de 2005, 6(3), 263–268. ISSN 1875-0052 [consultado el 08/02/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/bf02875652>.

WU, D. y SUN, D. W. *Colour measurements by computer vision for food quality control – A review*. Trends in Food Science & Technology [en línea]. Enero de 2013, 29(1), 5–20. ISSN 0924-2244 [consultado el 03/004/2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.08.004>.

### **Bibliografía de internet**

ALFAPARFAMILANO, 2022. [Consulta 9 de enero del 2022]. Disponible en línea: <https://www.alfaparfmilanopro.com/>.

ARQUIMI, 2020. [Consulta 14 de noviembre del 2021]. Disponible en línea: <https://www.arquimi.com/>.

ASCALPE, 2017. Asociación Civil Alpaca del Perú. [Consulta 20 de diciembre del 2022]. Disponible en línea: <http://www.alpacadelperu.org.pe/>.

EUROMEX, 2013. Euromex Microscopes. *Tienda microscopios*. [Consulta 15 de febrero del 2022]. Disponible en línea: <https://www.tiendamicroscopios.com/>.

GARCIA, F., 2017. Un poco de historia sobre el vellón. *Made in Slow*. [Consulta 20 de diciembre del 2022]. Disponible en línea: <https://madeinslow.com/>.

HENKEL, 2022. Asesor de coloración. *Schwarzkopf*. [Consulta 29 abril del 2022]. Disponible en línea: <https://www.schwarzkopf.es/>.



PCE, 2014. Instrumentación Medición, regulación, laboratorio y pesaje. *PCE Inst.* [Consulta 18 de enero del 2022]. Disponible en línea: <https://www.pce-iberica.es/>.

PEROXIDOS, 2022. Peróxidos do Brasil. *Solvay en el mundo.* [Consulta 10 de enero del 2022]. Disponible en línea: <https://www.peroxidos.com.br/pt>.

STARBRANDSGROUP, 2020. [Consulta 12 de marzo del 2022]. Disponible en línea: <https://starbrandsgroup.com/>.

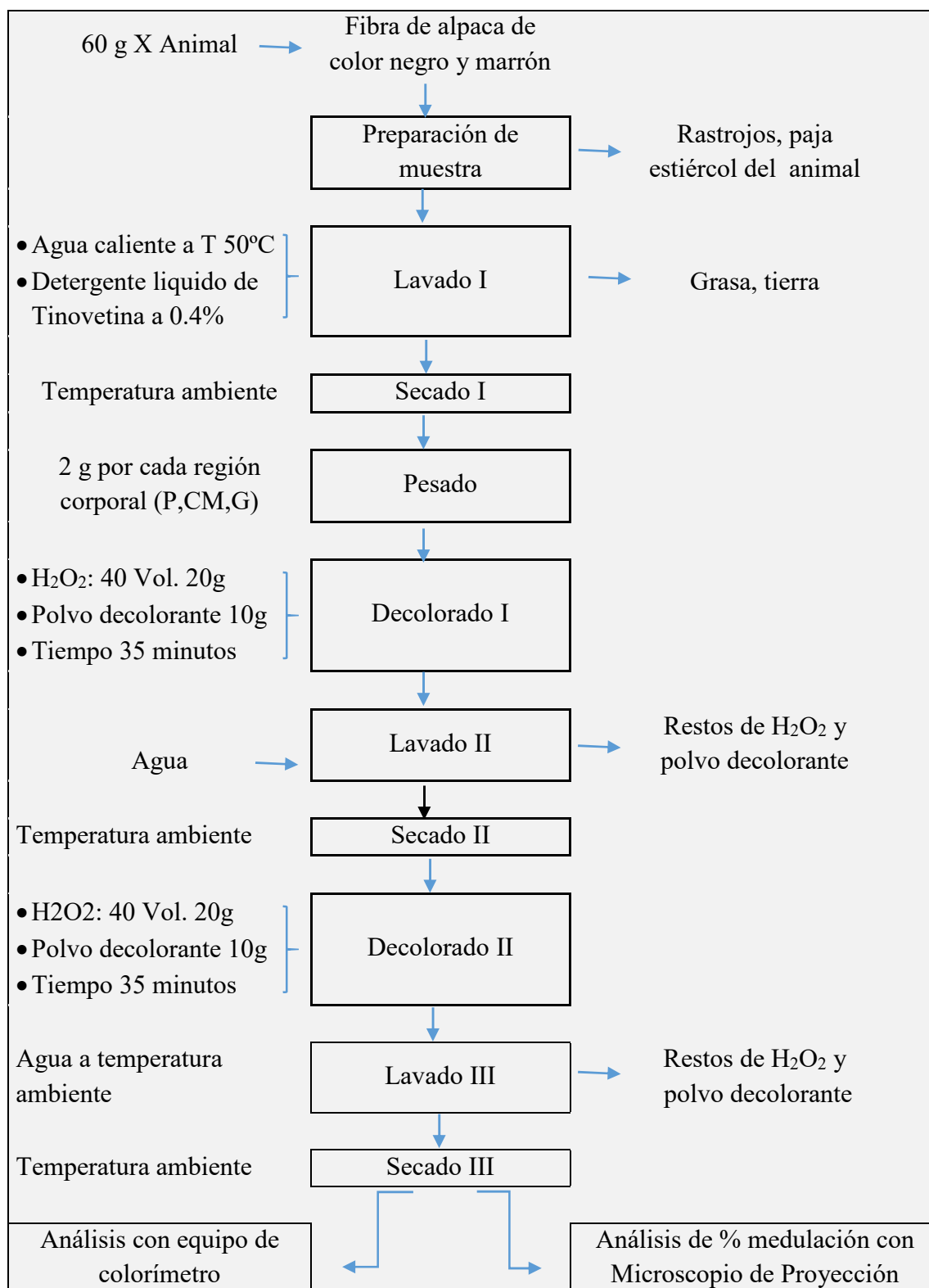


# ANEXOS





Anexo 1 — Diagrama de flujo de decolorado en fibra negra y marrón en alpaca Huacaya



## Anexo 2 — Reporte de Fiber Med, Promedio $\pm$ desviación estándar (DE) de los valores de diámetro medio de fibra (DMF) en alpaca Huacaya

Color de fibra	Sexo	Zona de muestreo	DMF ( $\mu\text{m}$ )	DE ( $\mu\text{m}$ )
Negro	Hembra	Costillar medio	21.14	5.27
Negro	Macho	Costillar medio	27.63	5.14
Negro	Hembra	Costillar medio	22.39	5.28
Negro	Macho	Costillar medio	31.42	7.48
Negro	Hembra	Costillar medio	25.48	6.97
Negro	Hembra	Costillar medio	24.22	5.16
Negro	Hembra	Costillar medio	24.66	5.29
Negro	Hembra	Costillar medio	23.87	5.23
Negro	Hembra	Costillar medio	32.07	6.40
Negro	Hembra	Costillar medio	22.55	4.98
Marrón	Macho	Costillar medio	21.34	5.55
Marrón	Macho	Costillar medio	31.40	7.78
Marrón	Hembra	Costillar medio	22.41	6.21
Marrón	Hembra	Costillar medio	17.75	4.99
Marrón	Hembra	Costillar medio	19.49	4.48
Marrón	Hembra	Costillar medio	21.80	5.72
Marrón	Hembra	Costillar medio	22.67	5.79
Marrón	Macho	Costillar medio	16.85	3.95
Marrón	Hembra	Costillar medio	20.64	4.77
Marrón	Hembra	Costillar medio	24.63	4.89
Blanco	Macho	Costillar medio	21.85	5.08
Blanco	Hembra	Costillar medio	23.41	5.34
Blanco	Macho	Costillar medio	16.82	4.21
Blanco	Hembra	Costillar medio	21.86	5.04
Blanco	Macho	Costillar medio	20.64	5.30
Blanco	Macho	Costillar medio	19.46	3.88
Blanco	Hembra	Costillar medio	20.99	4.30
Blanco	Hembra	Costillar medio	20.49	4.92
Blanco	Hembra	Costillar medio	19.72	4.84
Blanco	Hembra	Costillar medio	23.44	5.15

## Anexo 3 — Análisis de varianza

### a) Análisis de varianza de luminosidad (L\*)

Fuente	Gl	Sum Sq	Mean Sq	Razon F	Valor p	Significancia
Tiempo	9	257108	28568	1818	5.507e-14	***
Residuales	290	4557	16			

Dónde: (Gl) = Grados de libertad, (Sum Sq) = Suma de cuadrados, (Mean Sq) = Cuadrados medios.

**b) Análisis de varianza para (a\*)**

Fuente	Gl	Sum Sq	Mean Sq	Razon F	Valor p	Significancia
Tiempo	9	57031	6337	1096	2.0e-14	***
Residuales	290	1677	6			

Dónde: (Gl) = Grados de libertad, (Sum Sq) = Suma de cuadrados, (Mean Sq) = Cuadrados medios

**c) Análisis de varianza para (b\*)**

Fuente	Gl	Sum Sq	Mean Sq	Razon F	Valor p	Significancia
Tiempo	9	18218	2024.3	298.7	2.0e-16	***
Residuales	290	1965	6.8			

Dónde: (Gl) = Grados de libertad, (Sum Sq) = Suma de cuadrados, (Mean Sq) = Cuadrados medios

**d) Análisis de varianza para el porcentaje de medulación según color de fibra**

Fuente	Gl	Sum Sq	Mean Sq	Razon-F	Valor-p	Significancia
Color	2	11116	5558	54.55	<4.43e-16	***
Residuales	87	8864	102			

Dónde: (Gl) = Grados de libertad, (Sum Sq) = Suma de cuadrados, (Mean Sq) = Cuadrados medios.

**e) Análisis de varianza para el porcentaje de medulación según sitio de muestreo**

Fuente	Gl	Sum Sq	Mean Sq	Razon F	Valor p
Sitio de muestreo	2	3.77	1.887	0.838	0.436
Residuales	87	195.82	2.251		

Dónde: (Gl) = Grados de libertad, (Sum Sq) = Suma de cuadrados, (Mean Sq) = Cuadrados medios.

**f) Análisis de varianza del porcentaje de medulación por tipo de médula**

Fuente	Gl	Sum Sq	Mean Sq	Razon F	Valor p	significancia
Tipo de médula	4	62247	15562	208.4	<2e-16	***
Residuales	445	33229	75			

Dónde: (Gl) = Grados de libertad, (Sum Sq) = Suma de cuadrados, (Mean Sq) = Cuadrados medios.

**g) Análisis de varianza para el diámetro medio de fibra (DMF) según color**

Fuente	Gl	Sum Sq	Mean Sq	Razon F	Valor p	Significancia
Color	2	120.7	60.34	2.272	0.0117	*
Residuales	27	309.0	11.45			

Dónde: (Gl) = Grados de libertad, (Sum Sq) = Suma de cuadrados, (Mean Sq) = Cuadrados medios.

### Anexo 4 — Colores de fibra de alpaca por su tonalidad



**Anexo 5 — Sitio de muestreo de fibra de alpaca (paleta, costillar medio y grupa)**



Tomado de. Aguilar et al. (2019)

**Anexo 6 — Selección de animales según color**



**Anexo 7 — Selección de animales según color**



**Anexo 8 — Muestra de fibra de alpaca según color**



Anexo 9 — (Izquierda) polvo decolorante High Lift 9 Alfaparf Milano, (derecha) crema oxigenada Faire Bon 40vol



Anexo 10 — Lavado de fibra según color



**Anexo 11 — Decoloración en fibra negra con crema oxigenada y polvo decolorante**



**Anexo 12 — Proceso de secado de fibras decoloradas de alpaca según color**





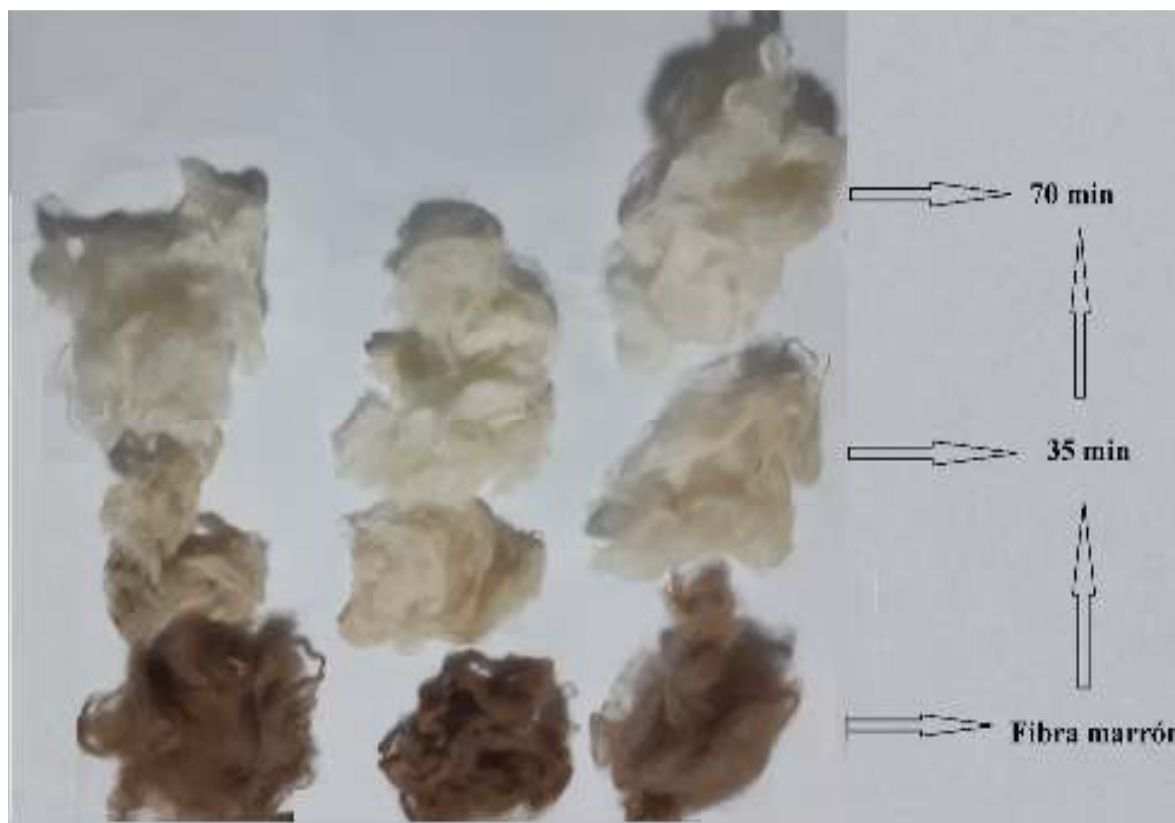
### Anexo 13 — Decoloración en fibra negra y marrón a diferentes tiempos de inmersión



### Anexo 14 — Decoloración en fibra negra a diferentes tiempos de inmersión



### Anexo 15 — Decolorado en fibra marrón a diferentes tiempos de inmersión



### Anexo 16 — Cuantificación de color con el colorímetro



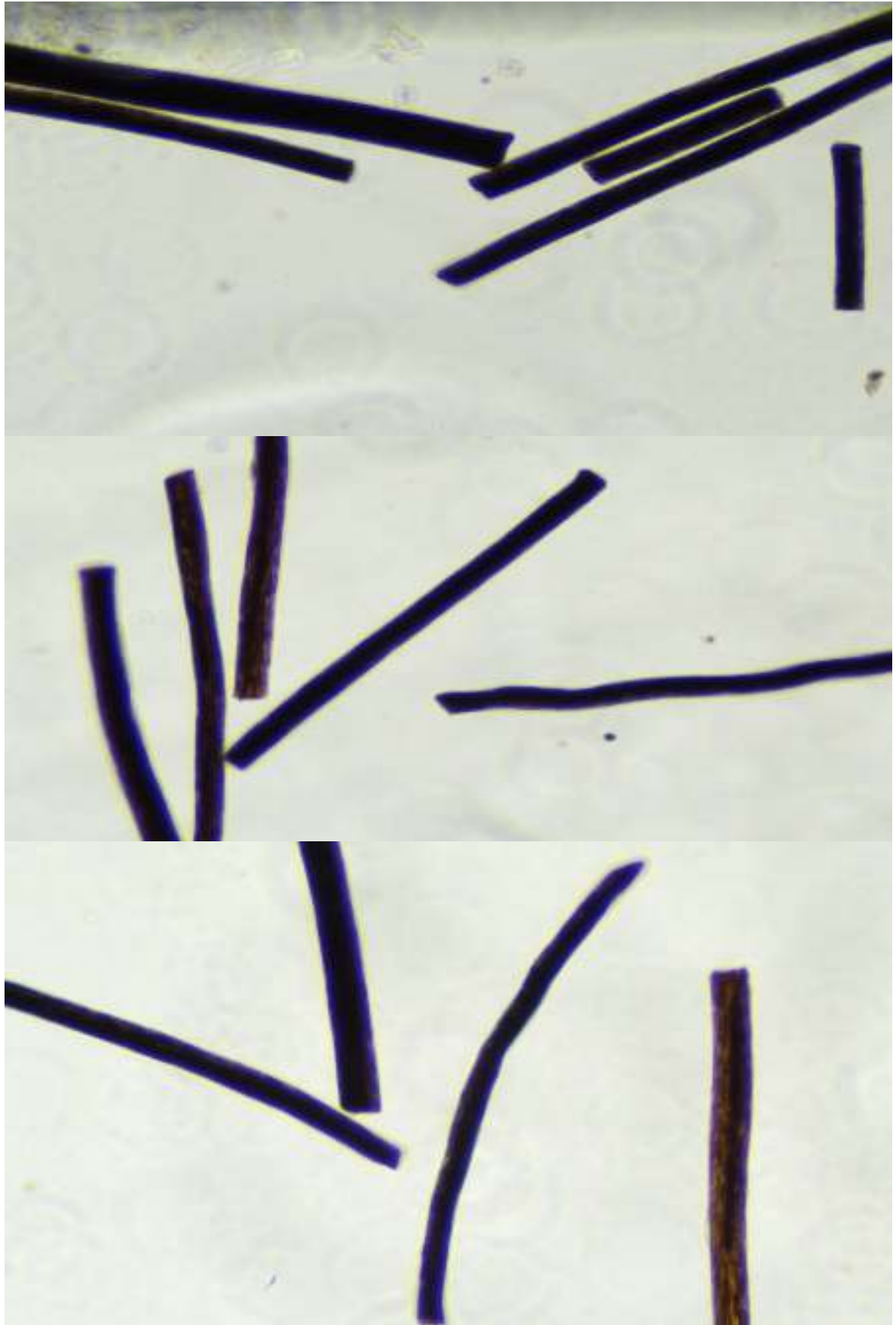
### Anexo 17 — Valores de CIE L\*a\*b\* en fibra de alpaca



### Anexo 18 — Evaluación del porcentaje de fibra medulada con microscopio de proyección



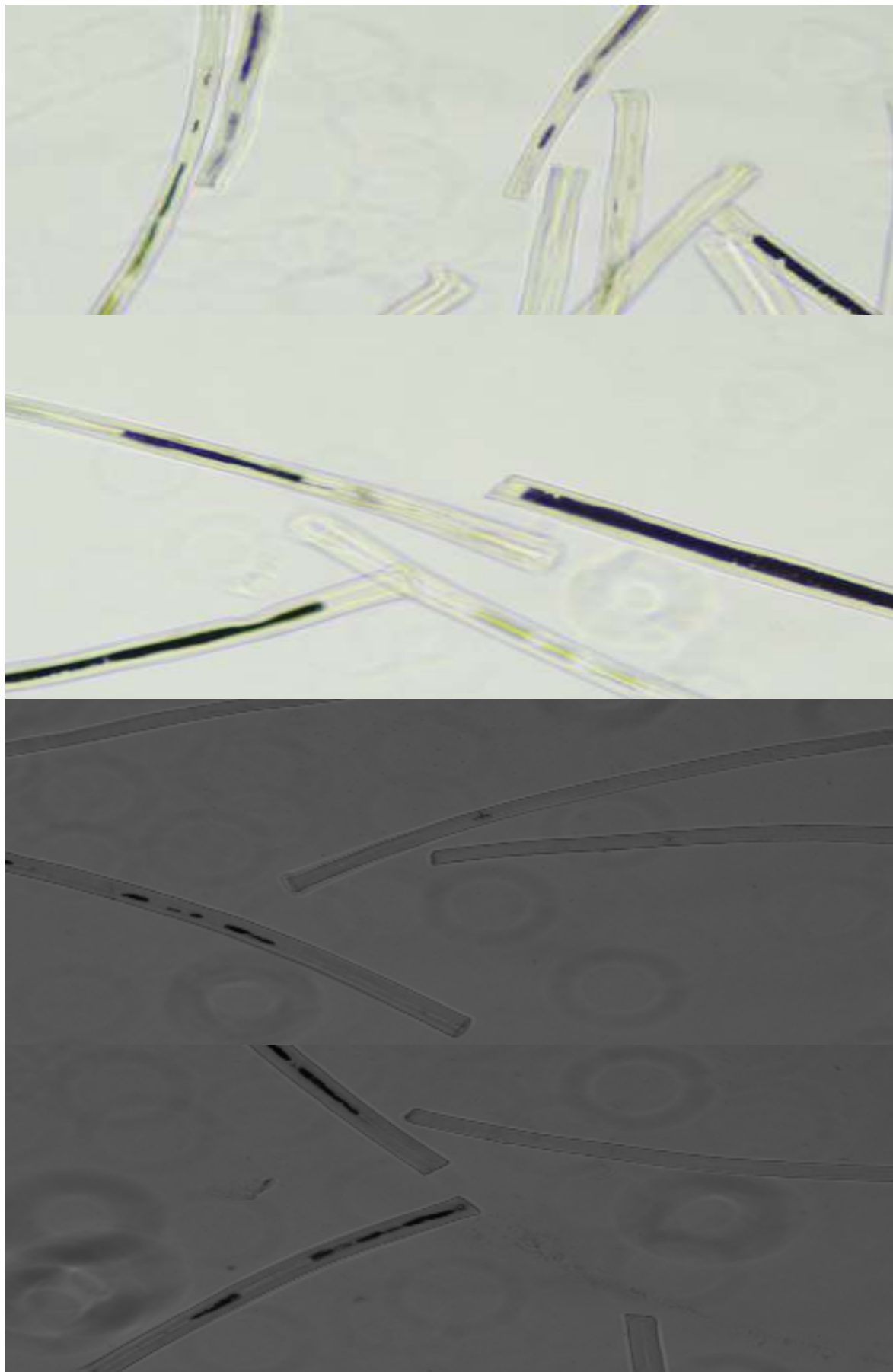
Anexo 19 — Fibra negra sin proceso de decoloración



Anexo 20 — Tipos de fibra según su médula a 10 minutos de decoloración en fibra negra



**Anexo 21 — Tipos de fibra según su médula en fibra marrón de alpaca Huacaya**



**Anexo 22 — Tipos de fibra según su médula en fibra blanca de alpaca Huacaya**



Anexo 23 — Toma de muestra de fibra de alpaca en la comunidad de Ssonccococha del Distrito de Oropesa en la Provincia de Antabamba

(n)	Alpaca de color blanco 20 g			Sexo		Alpaca de color marrón 20 g			Sexo		Alpaca de color negro 20 g			Sexo	
	P	CM	G	M	H	P	CM	G	M	H	P	CM	G	M	H
	1	X	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	
2	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X	X	X	
3	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X		X
4	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X	X	
5	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X		X
6	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X		X
7	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X		X
8	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X	X		X
9	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X		X
10	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X		X

FRONKIN LOZANO CUSI  
 RESPONSABLE DE MUESTREO  
 SONCCOCCOCHA 25 ENERO 2022

*[Signature]*  
 46718282 

Dónde: (n) es el número de animales de cada color y (P) es la parte de la paleta (MC) es el costillar medio del animal, (G) es la parte de la grupa del animal.

