

Blanqueamiento de fibra con peróxido de hidrógeno y porcentaje de medulación en alpaca Huacaya negra y marrón

Fibre bleaching with hydrogen peroxide and percentage of medullation in black and brown Huacaya alpaca

Franklin Lozano¹, Rubén Pinares^{2*}, Ruth Ccopa¹

RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar el tiempo de blanqueamiento de la fibra negra y marrón con peróxido de hidrógeno y evaluar el porcentaje de fibras meduladas según el color y sitio de muestreo en el vellón de alpaca Huacaya. Se tomaron 90 muestras de fibra (paleta, costillar medio y grupa) de 30 alpacas (10 negras, 10 marrones y 10 blancas). La fibra (2 g) se blanqueó a diferentes tiempos (5-105 minutos) con 20 g de peróxido de hidrógeno (crema oxigenada 40 volumen) y 10 g de polvo decolorante (*High lift 9 Tones*). Las coordenadas colorimétricas ($L^*a^*b^*$) se evaluaron a 5, 10, 35, 70 y 105 minutos en fibra negra y a 35 y 70 minutos en fibra marrón. Posterior al análisis microscópico, se calculó el porcentaje de fibras meduladas y su error estándar. La luminosidad en fibra negra es baja (5.19 ± 1.78), que se incrementa con el tiempo de blanqueamiento hasta 86.60 ± 1.49 al minuto 105. La luminosidad en fibra marrón es mayor (43.18 ± 10.47), que se incrementa hasta 86.92 ± 1.50 al minuto 70. La luminosidad de las fibras blanqueadas en esos tiempos fue similar a 87.14 ± 1.43 de fibra blanca (referencia estándar). La fibra con medulación fragmentada fue la más común (38.54 ± 1.98 , $31.56 \pm 1.87\%$), seguida de discontinua (18.77 ± 1.58 , $20.44 \pm 1.62\%$), continua

¹ Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, Abancay, Perú

² Escuela Profesional de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Sicuani, Perú

* E-mail: ruben.pinares@unsaac.edu.pe

Recibido: 4 de octubre de 2022

Aceptado para publicación: 19 de abril de 2023

Publicado: 29 de junio de 2023

©Los autores. Este artículo es publicado por la Rev Inv Vet Perú de la Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original

(17.43 ± 1.53 , $19.28 \pm 1.58\%$), con pocas fibras fuertemente meduladas (1.05 ± 0.4 , $1.27 \pm 0.45\%$) en alpacas negras y marrones, respectivamente. El porcentaje de fibras meduladas en alpaca negra ($75.81 \pm 1.72\%$) fue similar al de la alpaca marrón ($72.55 \pm 1.78\%$). Estas alpacas muestran alto porcentaje de medulación comparado con la blanca ($50.77 \pm 1.97\%$). El porcentaje de medulación no mostró variación por sitio de muestreo del vellón. El diámetro medio de fibra negra fue más grueso que la blanca, pero sin diferencias entre fibra negra y blanca. En conclusión, el peróxido de hidrógeno es un agente blanqueador que requiere entre 60 y 100 minutos para el blanqueamiento eficiente de fibra marrón y negra, respectivamente. Las fibras negra y marrón muestran menor calidad textil con alto porcentaje de medulación respecto a la fibra blanca.

Palabras clave: fibra negra, fibra marrón, medulación, melanina, peróxido de hidrógeno

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the bleaching time of the black and brown fibre with hydrogen peroxide and to evaluate the percentage of medullated fibres according to colour and sampling site in the Huacaya alpaca fleece. In total, 90 fibre samples (shoulder, mid-side area, and rump) were taken from 30 alpacas (10 black, 10 brown, and 10 white). The fibre (2 g) was bleached at different times (5-105 min) with 20 g hydrogen peroxide (40 volume oxygenated cream) and 10 g bleaching powder (High lift 9 Tones). The colorimetric coordinates ($L^*a^*b^*$) were evaluated at 5, 10, 35, 70 and 105 min in black fibre and at 35 and 70 minutes in brown fibre. After the microscopic analysis, fibre medullation percentage and their standard error were calculated. The luminosity in black fibre is low (5.19 ± 1.78), which increases with bleaching time to 86.60 ± 1.49 at minute 105. The luminosity in brown fibre is greater (43.18 ± 10.47) which increases to 86.92 ± 1.50 at minute 70. The luminosity of the bleached fibres in those times was similar to 87.14 ± 1.43 of white fibre (standard reference). Fragmented medullation was the most common (38.54 ± 1.98 , $31.56 \pm 1.87\%$), followed by discontinuous (18.77 ± 1.58 , $20.44 \pm 1.62\%$), continuous (17.43 ± 1.53 , $19.28 \pm 1.58\%$), with few strongly medullated fibres (1.05 ± 0.4 , $1.27 \pm 0.45\%$) in black and brown alpacas, respectively. The percentage of medullated fibres in black alpaca ($75.81 \pm 1.72\%$) was similar to that of brown alpaca ($72.55 \pm 1.78\%$). These alpacas show a high percentage of medullation compared to the white one ($50.77 \pm 1.97\%$). The percentage of medullation did not show variation by fleece sampling site. The mean diameter of the black fibre was thicker than the white, but there were no differences between the black and white fibres. In conclusion, hydrogen peroxide is a bleaching agent that requires between 60 and 100 minutes for efficient bleaching of brown and black fibre, respectively. The black and brown fibres showed lower textile quality with a high percentage of medullation compared to the white fibre.

Key words: black fibre, brown fibre, medullation, melanin, hydrogen peroxide

INTRODUCCIÓN

La pigmentación de la fibra negra y marrón en el vellón de la alpaca es por la presencia de los gránulos de eumelanina y feomeelanina, respectivamente (Cransberg *et al.*,

2013). En la fibra marrón clara sin despigmentar se puede observar la médula, en tanto que en la fibra marrón oscuro y negra no se diferencia la medulación. El peróxido de hidrógeno se ha usado en el blanqueamiento selectivo de fibras marrones (Liu *et al.*, 2003) con el propósito de obtener tonos más claros

sometiendo al teñido sintético de tops e hilos (Liu *et al.*, 2004); sin embargo, desde el enfoque industrial, el alto costo del procedimiento no permite la decoloración y tinción con productos sintéticos. En este sentido, es necesario reorientar la producción sostenible de colores uniformes y la conservación de la biodiversidad a nivel de pequeños productores. En la actualidad las prendas de alpaca y los productos terminados de colores naturales son bien cotizados a nivel internacional.

La calidad textil de la fibra se afecta por el porcentaje de medulación y el diámetro medio de fibra (DMF) en vellón de color blanco (Pinares *et al.*, 2019; Guillén y Leyva, 2020; Quispe *et al.*, 2022) y en vellón negro y marrón (Aruquipa, 2015; Radzik-Rant y Wiercinska, 2021). Las fibras individuales en el vellón de alpaca son meduladas y no meduladas, y la mayor frecuencia de presentación es regulada genéticamente (Pinares *et al.*, 2018). En alpaca Huacaya blanca existe alta frecuencia de fibras meduladas fragmentadas, discontinuas, continuas y baja frecuencia de las fuertemente meduladas (Pinares *et al.*, 2018, 2019; Berolatti *et al.*, 2021).

En alpacas de vellón blanco se ha vinculado negativamente el alto porcentaje de fibras meduladas continuas con la sensación de comodidad y el poco atractivo de las prendas de alpaca. Ante esto, y para solucionar se recomienda el registro de la medulación y la selección de aquellos animales con menor porcentaje de medulación continua (Pinares *et al.*, 2018; Quispe *et al.*, 2022). Por otro lado, las fibras meduladas permiten conservar el calor y favorecen la termorregulación del animal (Wang *et al.*, 2005; Moore *et al.*, 2011) y el bienestar animal en condiciones de frío. Es por esto que la prenda de alpaca mantiene el calor y favorece el confort térmico en los usuarios.

En este sentido, la optimización del tiempo de blanqueamiento de la fibra y su respectiva cuantificación colorimétrica permiten determinar el porcentaje de medulación y su respectivo DMF para definir su calidad tex-

til. Los objetivos de esta investigación fueron a) determinar el tiempo óptimo de blanqueamiento con de fibra negra y marrón, así como cuantificar por colorimetría y b) evaluar la variación del porcentaje de medulación según el color de fibra (negro, marrón, blanco) y sitio de muestreo en el vellón (paleta, costillar medio y grupa).

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo de Fibra

Las muestras de fibras de alpacas Huacaya color negro, marrón y blanco fueron obtenidas entre enero y febrero de 2022 de la Comunidad Campesina de Ssonccococha, ubicada entre 4200 y 4600 msnm, en el distrito de Oropesa, provincia de Antabamba, región de Apurímac, Perú. Se colectó 5 g de fibra de paleta, costillar medio y grupa de 10 alpacas negras, 10 alpacas marrones y 10 alpacas blancas (total: 90 muestras de fibra).

Blanqueamiento de la Fibra y Cuantificación por Colorimetría

En el laboratorio de Fibras y Lanasy en la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac se realizó el proceso de blanqueamiento de fibras y la cuantificación por colorimetría. Para el blanqueamiento de 2 g de fibra se usó 20 g de peróxido de hidrógeno de 40 vol y 10 g de polvo decolorante «High Lift 9 Tones» con tiempos de inmersión para la fibra negra de 5, 10, 35, 70 y 105 minutos y para la fibra marrón de 35 y 70 minutos.

Las coordenadas colorimétricas ($L^*a^*b^*$) fueron registradas usando un colorímetro PCE-CSM7. Los valores de L^* = luminosidad varían de 0 a +100, a^* = saturación de color verde (-100) varía a rojo (+150) b^* = saturación de color azul (-170) varía a amarillo (+100) (Druml *et al.*, 2018). Se calculó la intensidad (C)= $[(a^*)^2+(b^*)^2]^{0.5}$ y tonalidad (H)= $\arctg(b^*/a^*)$ (Druml *et al.*, 2018).

Análisis Microscópico de la Medulación

La medulación de la fibra negra se evaluó a 10 minutos pos-blanqueamiento, mientras que en la fibra marrón y blanca se evaluó sin el previo blanqueamiento utilizando un microscopio de proyección y registrando 600 fibras individuales (IWTO-8, 2011). La medulación fragmentada, discontinua, continua y fuertemente medulada se registró según la clasificación desarrollada por Pinares *et al.* (2019). Se calculó el porcentaje de medulación, $PM\% = [(\text{Número de fibras meduladas} / \text{Total de fibras analizadas}) * 100]$ y el error estándar (EE) $= [(m/n) * (100-m)]^{0.5}$, donde m es el porcentaje de medulación y n es el número total de fibras analizadas (600). Además, y usando solo las muestras del costillar medio de 30 muestras de fibra de color negro, marrón y blanco, se evaluó el diámetro medio de fibra usando el equipo de Fiber EC en el laboratorio de MAXCORP Technologies S.A.C (Lima, Perú).

Análisis Estadístico

Los datos obtenidos a diferentes tiempos de las coordenadas colorimétricas y el porcentaje de medulación según el color y sitio de muestreo de la fibra fueron evaluados mediante el análisis de varianza y la comparación múltiple de medias con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) usando el software estadístico R v. 3.6.3 (R Core Team, 2021).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Blanqueamiento de fibra con peróxido de hidrógeno y colorimetría

El efecto del peróxido de hidrógeno y la calidad de la fibra blanqueada se puede definir por su blancura o aclaramiento, conocido como luminosidad en el espacio del CIE $L^*a^*b^*$. La luminosidad (L^*) de fibra negra es muy baja (5.19), aumentando en 81.37 al ser blanqueada durante 105 minutos, alcanzando una luminosidad de 86.56; en tanto que la luminosidad inicial en fibras marrones

(43.18) aumenta a 86.92 a los 70 minutos de blanqueamiento. En fibra negra, la coordenada a^* disminuye de 49.33 a 4.43, la b^* disminuye de 22.82 a 13.89, mientras que, en fibra marrón, la a^* disminuye de 14.22 a 3.91 y la b^* disminuye de 23.93 a 15.80 (Cuadro 1). En fibra negra el mayor incremento de la luminosidad se observa en los primeros 35 minutos de degradación del pigmento de eumelanina (Figura 1).

La luminosidad de fibra negra de 5.19 fue inferior a 19.02 ± 5.10 , 17.40 ± 1.09 y 17.23 ± 1.93 reportadas por Pinares *et al.* (2021), Cruz *et al.* (2021) y Guridi *et al.* (2011), respectivamente. En cambio, la luminosidad de fibra marrón (43.18) resultó superior a lo reportado por estos autores, diferencia que podría deberse a la genética del animal por la menor o mayor producción del pigmento de feomelanina (Druml *et al.*, 2018; Cruz *et al.*, 2021), así como por la forma del registro del color y las tonalidades del marrón y el tipo de colorímetro empleado. La luminosidad de fibra negra y marrón aumenta a medida que aumenta el tiempo de inmersión con peróxido de hidrógeno. En fibra negra, el mayor incremento de la luminosidad se observa en los primeros 35 minutos de degradación del pigmento de eumelanina, en tanto que la luminosidad se incrementa muy poco con mayor tiempo de exposición al peróxido de hidrógeno (Figura 1).

A temperatura ambiente se obtiene el blanqueamiento óptimo de fibra negra a 105 minutos y de fibra marrón a los 70 minutos, siendo los valores obtenidos estadísticamente similares a la luminosidad de la fibra blanca (87.14). La luminosidad de fibra negra blanqueada es similar a 84.52 y 87.14 reportado por Pinares *et al.* (2021) y Cruz *et al.* (2021), respectivamente, en fibra blanca de alpacas Huacaya. El efecto del peróxido de hidrógeno se basa en la degradación de la melanina, relacionada el pH (estable en condiciones ácidas) y la generación de iones de hidrógeno y perhidroxilo (HO_2^-). Se requiere un álcali o calor para la degradación (Erdođan y Karaboyaci, 2019; Bouagga *et al.*, 2020).

Cuadro 1. Coordenadas colorimétricas L*a*b* y su respectiva desviación estándar (DE) en fibra de alpaca (n=30), según el tiempo de blanqueamiento con peróxido de hidrógeno

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

L*= luminosidad, a*= variación de - verde a + rojo, b* = variación de - azul a + amarillo

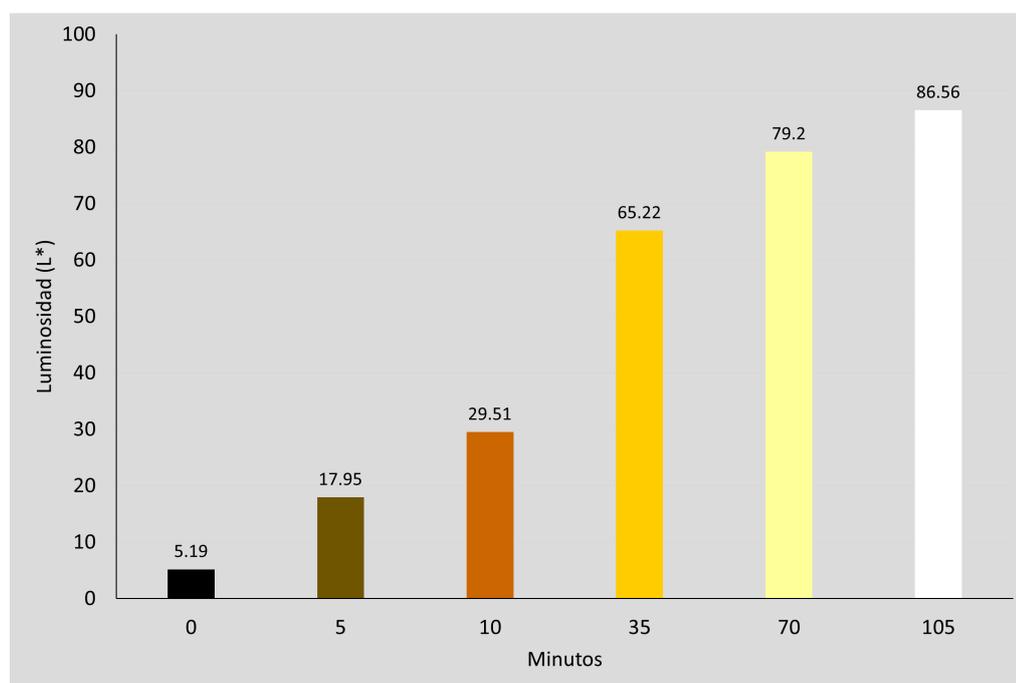


Figura 1. Incremento de luminosidad según el tiempo de blanqueamiento de la fibra negra de alpaca

Bouagga *et al.* (2020) blanquearon lana tunecina con peróxido de hidrógeno al 30%, sulfato de cobre (mordientes A) y sulfato de hierro (mordientes B) durante 90 minutos obteniendo un incremento de luminosidad de 58.5 ± 3.4 a 75.1 ± 30 y de 58.5 ± 3.4 a 79.7

± 5.4 , respectivamente. En lana negra de Karacul blanqueada con peróxido de hidrógeno 60 ml/l y sulfato de cobre como mordiente, Mortazavi *et al.* (2014) demostraron el incremento de la luminosidad de 16.27 a 78.00 en 75 minutos. Por otro lado, Harizi *et*

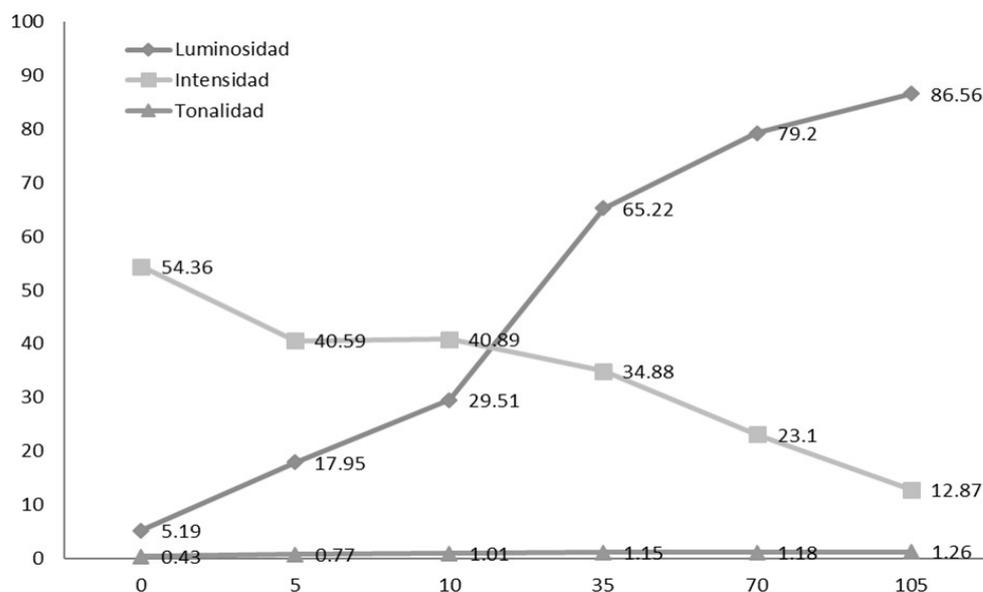


Figura 2. Variación de luminosidad, intensidad y tonalidad de fibra negra de alpaca, según el tiempo de blanqueamiento con peróxido de hidrógeno

al. (2013) reportan un incremento de 56.18 ± 1.1 a 77.73 ± 0.4 en fibra de dromedario marrón en un tiempo de 60 minutos.

La luminosidad de fibra negra mantenida en inmersión con peróxido de hidrógeno aumenta proporcionalmente al incremento del tiempo hasta los 70 minutos, similar al patrón de incremento reportado por Arildii *et al.* (2020) y Bouagga *et al.* (2020) en lana, quienes encuentran la mayor reducción de la tenacidad entre 90 y 110 minutos. El presente estudio muestra que a mayor tiempo la intensidad disminuye de 54.36 a 12.87, pero la tonalidad se mantiene entre 0.43 y 1.26, siendo estadísticamente similar a la fibra blanqueada y no blanqueada (Figura 2).

No se observaron cambios significativos en el DMF negra blanqueada a diferentes tiempos (Figura 3). Estadísticamente, el mayor tiempo de inmersión de fibra con peróxido de hidrógeno no afectó esta variable. No obstante, la fibra negra con un DMF

inicial de 25.38 aparentemente mostró una tendencia aparente de cambio a 24.29 y 23.43 μm entre 10 y 35 minutos, respectivamente, de blanqueamiento. En alpacas Huacaya marrón, Liu *et al.* (2003) demostraron una reducción significativa del DMF ($-1.9 \mu\text{m}$) a mayor volumen de concentración del peróxido de hidrógeno. Por otro lado, se hipotetiza que la reducción del DMF está asociada con una menor resistencia a la tracción de la fibra blanqueada. Arildii *et al.* (2020) y Bouagga *et al.* (2020) indican una fuerte tendencia de pérdida de la tenacidad a los 60 a 110 minutos del proceso de blanqueamiento.

Además, Bouagga *et al.* (2020) demostraron la reducción de la tenacidad (cN/tex) en lana tunecina por efecto de concentración de 40 a 100 ml/l y temperatura de 40 a 75 °C. El peróxido de hidrógeno en concentraciones mínimas se usa como un agente blanqueador, pero a mayor concentración podría dañar la estructura de la fibra, tanto la cutícula como la corteza (Liu *et al.*, 2003; Montazer *et al.*, 2009).

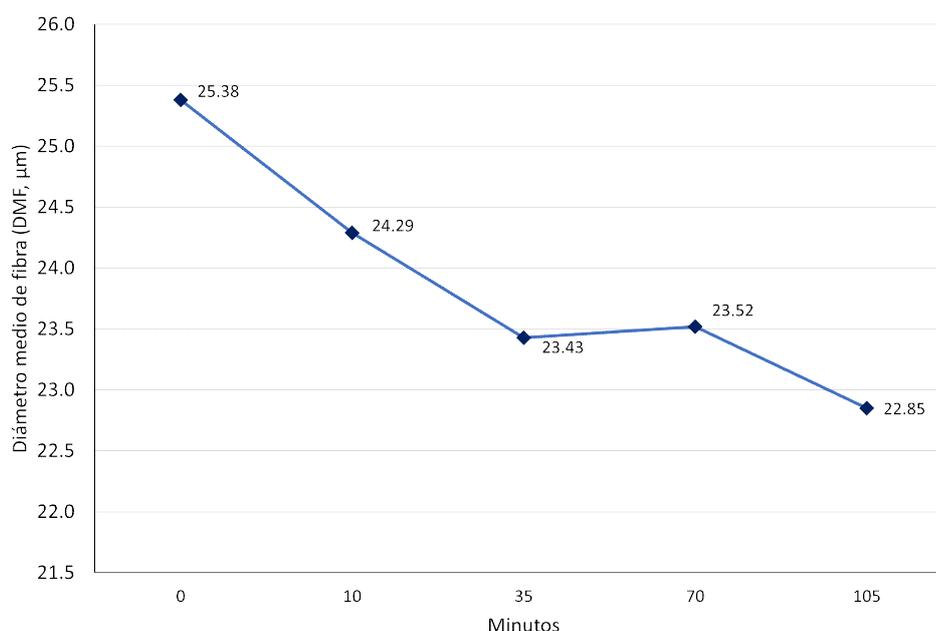


Figura 3. Diámetro medio de fibra negra (DMF, μm) a diferentes tiempos de blanqueamiento (10 -105 minutos) con peróxido de hidrógeno en alpacas Huacaya

Existe diferencia significativa del DMF según el color del vellón ($p < 0.05$). La fibra blanca muestra $20.87 \pm 1.97 \mu\text{m}$, menor a al $25.54 \pm 3.72 \mu\text{m}$ de la fibra negra. Asimismo, la fibra marrón de $21.89 \pm 4.01 \mu\text{m}$ no muestra diferencia significativa con los diámetros de la fibra blanca y fibra negra. Sin embargo, Quispe *et al.* (2021) y Aruquipa (2015) indican menor DMF en alpaca Huacaya blanca respecto al marrón. Por otro lado, varios autores reportan un DMF más grueso de la fibra negra con relación a la fibra blanca (Lupton *et al.*, 2006; Oria *et al.*, 2009; Simbaina y Raggi, 2019; Radzik-Rant y Wiercińska, 2021).

Porcentaje de fibras meduladas (PFM)

El color de fibra influye sobre el porcentaje de medulación total. En fibra negra fue $75.8 \pm 1.72\%$, similar al $72.55 \pm 1.78\%$ en fibra marrón. Estos valores fueron superiores al $50.77 \pm 1.97\%$ registrado en fibra blanca. El porcentaje de fibras fragmentadas

es diferente entre alpacas de color (negro, marrón y blanca), mientras que el porcentaje de médula discontinua es similar en fibra marrón y negra, pero inferior en fibra blanca. El porcentaje de fibras con médula continua es similar en fibra negra y marrón e inferior en fibra blanca (Cuadro 2). Por otra parte, las fibras fuertemente meduladas fueron similares en fibra negra, marrón y blanca (Figura 4). El porcentaje de medulación no muestra diferencias entre los tres sitios de muestreo de fibra (Cuadro 2).

El alto porcentaje de fibras meduladas ($75.8 \pm 1.72\%$) en alpacas negras fue superior al $27.92 \pm 7.48\%$ reportado por Aruquipa (2015) en alpacas negras de Bolivia. Sin embargo, el porcentaje de medulación de alpacas marrón ($72.55 \pm 1.78\%$) fue similar al $79.44 \pm 3.27\%$ reportado por Radzik-Rant y Wiercinska (2021) en alpacas marrón claro de Polonia y superior al $26.86 \pm 7.96\%$ reportado por Aruquipa (2015). Tradicionalmente, el OFDA 100 era el equipo usado para el registro de la medulación basado en la me-

Cuadro 2. Porcentaje de fibras (tipos de medulación) y error estándar (EE), según el color y sitio corporal de muestreo en alpaca Huacaya

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

^{a,b,c} Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas ($p < 0.001$; ***); letras similares indican que no hubo diferencias significativas (ns)

Tipos de fibra: sin médula (SM), con medulación fragmentada (MF), discontinua (MD), continua (MC) y fuertemente medulada (FM) y medulación total (MT)

Error estándar (EE)

todoología de opacidad >80% en lanas y fibras blancas y de tonalidades claras (Lupton y Pfeiffer, 1988), pero este equipo subestima el porcentaje de fibras meduladas, de allí que limita su empleo en alpacas negras (Lupton *et al.*, 2006).

El porcentaje de medulación en alpacas blancas ($50.77 \pm 1.97\%$) fue similar al $53.56 \pm 21.89\%$ en alpacas de Australia, al $51.73 \pm 13.66\%$ en alpacas de África y $52.84 \pm 25.30\%$ en alpacas de Europa, reportados por Radzik-Rant *et al.* (2018), pero inferior al $67.44 \pm 1.74\%$ reportado por Pinares *et al.* (2019). Asimismo, el porcentaje de medulación en alpaca blanca del presente estudio fue mayor al $25.47 \pm 7.22\%$ reportado por Aruquipa (2015) en alpacas de Bolivia y al $35 \pm 13\%$ reportado por Radzik-Rant *et al.* (2021) en alpacas polacas. Por otro lado, el porcentaje de medulación fue homogéneo entre los tres sitios de muestreo, tal y como lo menciona Radzik-Rant *et al.* (2021) en vellón de alpacas polacas y por Pinares y Machaca (2022) en vellón de vicuñas.

La comparación entre los tipos de fibra y su error estándar indican diferencias estadísticas ($p < 0.05$). Se observan los más altos porcentajes para fibras sin médula (33.62 ± 1.82) y fibras con médula fragmentada ($31.50 \pm 10.17\%$), estadísticamente similares entre sí ($p > 0.05$), seguido de fibras con médula discontinua y con médula continua $17.01 \pm 1.45\%$ y $16.67 \pm 1.48\%$, respectivamente ($p > 0.05$). El porcentaje de fibra fuertemente medulada fue el más bajo que el resto de las fibras (Cuadro 3).

CONCLUSIONES

- Se demostró el blanqueamiento de fibra de color negro y marrón de alpaca Huacaya mediante la inmersión con peróxido de hidrógeno. Según la luminosidad, el tiempo óptimo es entre 60 y 100 minutos para el blanqueamiento eficiente de fibra marrón y fibra negra, respectivamente.

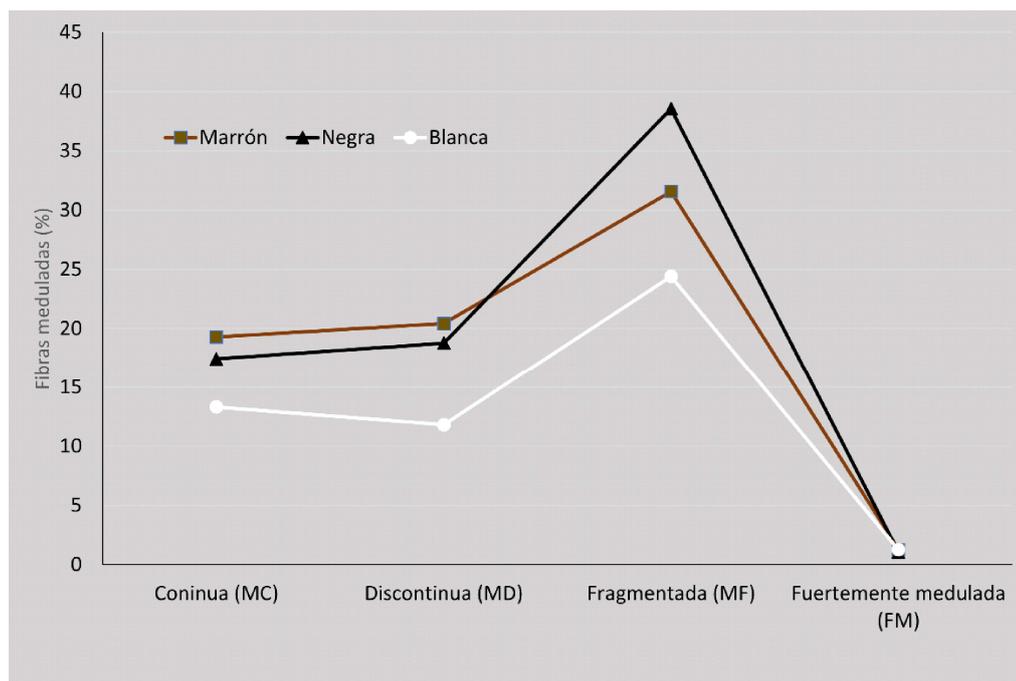


Figura 4. Variación del porcentaje de fibras meduladas en alpacas Huacaya de color

Cuadro 3. Porcentaje (\pm EE) de fibras según medulación en vellón de alpacas Huacaya de color (n=30)

| Tipos de fibra | Promedio (%) | EE (%) | Mínimo (%) | Máximo (%) |
|---------------------------|--------------------|--------------------|------------|------------|
| Sin médula (SM) | 33.62 ^a | 01.82 ^a | 06.67 | 81.83 |
| Médula fragmentada (MF) | 31.50 ^a | 01.86 ^a | 10.17 | 62.50 |
| Médula discontinua (MD) | 17.01 ^b | 01.45 ^b | 02.83 | 20.17 |
| Médula continua (MC) | 16.67 ^b | 01.48 ^b | 03.83 | 32.50 |
| Fuertemente medulada (FM) | 01.19 ^c | 00.43 ^c | 00.17 | 04.17 |

^{a,b,c} Letras diferentes dentro de columnas indican diferencias estadísticas ($p < 0.05$)

- El porcentaje de medulación por sitio de muestreo del vellón (paleta, costillar medio y grupa) no muestra variabilidad. Las alpacas Huacaya de color negro y marrón presentan altos porcentajes de fibras meduladas y con mayor diámetro medio de fibra respecto al blanco.

LITERATURA CITADA

1. *Arildii D, Davaasambu S, Bazarvaani A, Javzandulam D. 2020. Optimization of mordant bleaching of yak wool with hydrogen peroxide at low temperature. J Nat Fibers 19: 2527-2538. doi: 10.1080/15440478.2020.1819512*

2. **Aruquipa M. 2015.** Evaluación de la calidad de fibra de alpaca Huacaya (*Vicugna pacos*) en dos localidades del municipio de Catacora. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Bolivia: Univ. Mayor de San Andrés. 98p.
3. **Berolatti G, Ruiz L, Cabrera FA, Aliaga J, Quispe MD, Quispe EC. 2021.** Evaluación de la medulación de fibras de lanas y fibras especiales de algunas especies de animales. *Rev Inv Vet Perú* 32: e17639. doi: 10.15381/rivep.v32i5.-17639
4. **Bouagga T, Harizi T, Sakli F. 2020.** Effect of mordant bleaching on the optical and mechanical properties of black Tunisian wool and optimization of the bleaching process. *J Nat Fibers* 19: 3015-3027. doi: 10.1080/15440478.-2020.1838992
5. **Cruz A, Yucra A, Gutiérrez GA, Burgos A, Morante R, Gutiérrez JP, Cervantes I, et al. 2021.** Colorimetry analysis of coat color and its relationship with fiber traits in alpacas. *Animal* 15: 100219. doi: 10.1016/j.animal.2021.-100219
6. **Cransberg R, Wakamatsu K, Munyard K. 2013.** Melanin characterization suggests that the «brown» phenotype in alpaca (*Vicugna pacos*) is predominantly pheomelanin. *Small Ruminant Res* 114: 240-246. doi: 10.1016/j.small-rumres.2013.07.004
7. **Druml T, Grilz-Seger G, Horna M, Brem G. 2018.** Discriminant analysis of colour measurements reveals allele dosage effect of ASIP/MC1R in bay horses. *Czech J Anim Sci* 63: 347-355. doi: 10.17221/105/2017-CJAS
8. **Erdođan MU, Karaboyaci, M. 2019.** Investigation of alternative ecologic bleaching methods for the wool fibers. *J Nat Fibers* 1229-1246. doi: 10.1080/15440478.2019.1689883
9. **Guillén AL, Leyva V. 2020.** Variación en el diámetro de fibra por efecto de medulación en vellones finos de alpaca Huacaya de tres grupos etarios. *Rev Inv Vet Perú* 31: e19026. doi: 10.15381/rivep.v31i4.19026
10. **Guridi M, Soret B, Alfonso L, Arana A. 2011.** Single nucleotide polymorphisms in the melanocortin 1 receptor gene are linked with lightness of fibre colour in Peruvian Alpaca (*Vicugna pacos*). *Anim Genet* 42: 679-682. doi: 10.1111/j.1365-2052.2011.02205.x
11. **Harizi, T., S. Dhouib, S. Msahli, And F. Sakli. 2013.** Bleaching process investigation of Tunisian dromedary hair. *Int Sch Res Notices* 2013: 532396. doi: 10.-1155/2013/532396
12. **IWTO-8. 2011.** Fiber diameter distribution parameters and percentage of medullated fibers in wool and other animal fibers by the projection microscope. In: *IWTO Red Book Specifications*. International Wool Textile Organization.
13. **Liu X, Hurren CJ, Wang X. 2003.** Comparative analyses of two selective bleaching methods an alpaca fiber. *Fiber Polym* 4: 124-128. doi: 10.1007/BF028-75459
14. **Liu X, Hurren CJ, Wang, L, Wang X. 2004.** Effect of bleaching and dyeing on the quality of alpaca tops and yarns. *Fiber Polym* 5: 128-33. doi: 10.1007/BF029-02926
15. **Lupton C, Mccoll A, Stobart R. 2006.** Fiber characteristics of the Huacaya alpaca. *Small Ruminant Res* 64: 211-224. doi: 10.1016/j.smallrumres.2005.04.023
16. **Lupton CJ, Pfeiffer FA. 1998.** Measurement of medullation in wool and mohair using an optical fibre diameter analyser. *J Anim Sci* 76: 1261-1266. doi: 10.2527/1998.7651261x
17. **Montazer M, Zargaran M, Rahimi A. 2009.** Depigmentation of pigmented wool. *Text Res J* 79: 261-267. doi: 10.1177/0040517507097517
18. **Moore KE, Blache D, Maloney SK. 2011.** Fibre diameter and insulation in alpacas: The biophysical implications. *Small Ruminant Res* 96: 165-172. doi: 10.1016/j.smallrumres.2011.01.012

19. **Mortazavi SM, Safi S, Moghadam MK, Zamani M. 2014.** Bleaching of black pigmented karakul wool fibers using copper sulfate as catalyst. *Fiber Polym* 15: 2297-2306. doi: 10.1007/s12221-014-2297-y
20. **Oria I, Quicaño I, Quispe E, Alfonso L. 2009.** Variabilidad del color de la fibra de alpaca en la zona altoandina de Huancavelica-Perú. *Anim Genet Resour* 45: 79-84. doi: 10.1017/s10142339099-9037X
21. **Pinares R, Gutiérrez GA, Cruz A, Morante R, Cervantes I, Burgos A, Gutiérrez JP. 2018.** Heritability of individual fiber medullation in Peruvian alpacas. *Small Ruminant Res* 165: 93-100. doi: 10.1016/j.smallrumres.2018.-04.007
22. **Pinares R, Gutiérrez G, Cruz A, Burgos A, Gutiérrez JP. 2019.** Variabilidad fenotípica del porcentaje de fibras meduladas en el vellón de alpacas Huacaya. *Rev Inv Vet Perú* 30: 699-708. doi: 10.15381/rivep.v30i2.16098
23. **Pinares R, Cruz A, Daverio M, Gutiérrez J, Ponce de León F, Wurzinger M, Di Rocco F, Gutiérrez G. 2021.** Polimorfismos de nucleótido simple (PNSs) del gen *MC1R* en alpacas negras y marrones. *Rev Peru Biol* 28: e19742. doi: 10.15381/rbp.v28i1.19742
24. **Pinares R, Machaca V. 2022.** Factores relacionados con la calidad textil de fibra en vicuñas (*Vicugna vicugna mensalis*) de Apurímac, Perú. *Rev Inv Vet Perú* 33: e23348. doi: 10.15381/rivep.v33i4.23348
25. **Quispe M, Serrano L, Trigo JD, Quispe C, Poma A, Quispe EC. 2022.** Application of artificial intelligence and digital images analysis to automatically determine the percentage of fiber medullation in alpaca fleece samples. *Small Ruminant Res* 213. doi: 10.1016/j.smallrumres.2022.106724
26. **Quispe JE, Castillo P, Viveros Yana W, Vilcanqui H, Apaza E, Quispe DM. 2021.** Atributos textiles de la fibra de alpacas Huacaya blanca y color (*Vicugna pacos*) de la feria ganadera del sur del Perú. *Rev Inv Vet Perú* 32: e20930. doi: 10.15381/rivep.v32i4.20930
27. **Radzik-Rant A, Wiercińska K. 2021.** Analysis of the wool thickness and medullation characteristics based on sex and color in a herd of alpacas in Poland. *Arch Anim Breed* 64: 157-165. doi: 10.5194/aab-64-157-2021
28. **Radzik-Rant A, Wielechowska M, Rant W. 2021.** Variation in wool characteristics across the body in a herd of alpacas kept in Poland. *Animals* 11: 2939. doi: 10.3390/ani11102939
29. **Radzik-Rant A, Pofelska O, Rant O. 2018.** Characteristics of alpaca wool from farmed animals located on different continents. *SGGW - Anim Sci* 57: 151-158. doi: 10.22630/aas.2018.57.2.15
30. **R Core Team. 2021.** R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [Internet]. Disponible en: <http://www.R-project.org/>
31. **Simbaina JC, Raggi, L. 2019.** Lanametric determination of the alpaca Fiber (*Vicugna pacos*) in Tucayta, Province of Cañar. *J Veter Sci Med* 7: 1-4.
32. Wang HM, Xin L, Wang X. 2005. Internal structure and pigment granules in coloured alpaca fibers. *Fiber Polym* 6: 263-268. doi: 10.1007/BF02875652