

## CARACTERÍSTICAS DE LAS FIBRAS MEDULADAS EN ALPACA HUACAYA Y SURI DE PERÚ

### CHARACTERISTICS OF MEDULLATED FIBERS IN PERUVIAN HUACAYA AND SURI ALPACA

Rubén Pinares<sup>1\*</sup> y Edgar Quispe<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Escuela Profesional de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Av. De la Cultura, Nro. 733, Apartado Postal Nro. 921 Cusco, Perú  
<https://orcid.org/0000-0002-9033-7736>

<sup>2</sup> Center for Research and Technological Development, Natural Fiber's Tech SAC, 186 Las Secoyas, La Molina, 15024 Lima, Peru  
<https://orcid.org/0000-0001-9651-2702>

\* Autor para correspondencia: [ruben.pinares@unsaac.edu.pe](mailto:ruben.pinares@unsaac.edu.pe)

#### RESUMEN

La presencia de fibras objetables, que son casi todas las fibras fuertemente meduladas y, particularmente, de medulación continua, afectan negativamente el atractivo y calidad de los hilos y las prendas de alpaca. Sin embargo, las fibras meduladas facilitan la termorregulación (retención de calor) en el animal, mientras que las prendas son livianas debido al bajo peso específico de las fibras. Existe escasa información acerca de la incidencia de las fibras de acuerdo a su tipo de medulación en los vellones de alpacas. El objetivo de esta investigación fue evaluar la influencia de procedencia, edad y sexo de la alpaca Huacaya y Suri sobre las características de las fibras meduladas. Para ello, se tomaron 396 muestras de fibra del costillar medio de alpacas Huacaya (329) y Suri (67). Los tipos de fibras meduladas fueron evaluadas usando el equipo FIBER MED, obteniéndose el porcentaje de fibras meduladas (MED, %) y el diámetro medio de fibra (DMF,  $\mu\text{m}$ ) de cada tipo. Los resultados indican que estas características de fibras meduladas están muy influenciados por el lugar y edad en alpacas Huacaya. Por el contrario, el lugar y edad influyen poco sobre los tipos de MED y DMF en alpacas Suri, aunque las hembras presentan mayor porcentaje de medulación total y porcentaje de fibra medulada fragmentada con respecto a los machos. En conclusión, en comparación con la alpaca Suri, la alpaca Huacaya muestra alta variabilidad del porcentaje y diámetro de los tipos de fibras meduladas (fragmentada, discontinua, continua y fuertemente medulada), según el lugar de procedencia, edad y sexo del animal.

**Palabras clave:** Microscopía, fibra sin médula, fibra medulada, confort de fibra, crianza de alpaca.

#### ABSTRACT

The presence of objectionable medullated fibers, which are almost all strongly medullated and, particularly, continuously medullated fibers, negatively affects the attractiveness and quality of alpaca yarns and garments. However, medullated fibers facilitate thermoregulation (heat retention) in the animal, while garments are lightweight due to the low specific weight of the fibers. There is scarce information about the incidence of fibers according to their type of medullation in alpaca

fleeces. The objective of this research was to evaluate the influence of location, age and sex of the Huacaya and Suri alpaca on the characteristics of medullated fibers. For this, 396 fiber samples were taken from the mid-side area of Huacaya (329) and Suri (67) alpacas. Types of medullated fibers were evaluated using the FIBER MED instrument, obtaining the percentage of medullated fibers (MED, %) and the average fiber diameter (MFD,  $\mu\text{m}$ ) of each type. The results indicate that these characteristics of medullated fibers are greatly influenced by location and age in Huacaya alpacas. Conversely, place and age have little influence on the types of MED and MFD in Suri alpacas, with higher percentage of total medullation and percentage of fragmented medullated fibers in females with respect to males. In conclusion, when compared to Suri, Huacaya alpaca shows a high variability in the percentage and diameter of types of medullated fibers (fragmented, discontinuous, continuous and strongly medullated), depending on the location, age and sex of the animal.

**Keywords:** Microscopy, non-medullated fiber, medullated fiber, fiber comfort, alpaca breeding

## INTRODUCCIÓN

La crianza de alpacas en el Perú está concentrada en el sur andino, situada en dos zonas agroecológicas, puna húmeda y puna seca (Huanca et al., 2013). El vellón de Huacaya se caracteriza por ser compacto y de menor longitud, con alto grado de curvatura (rizos), en cambio en Suri resalta el lustre con mechadas de mayor longitud que forman rulos independientes (Pinares et al., 2023; Lupton y McColl, 2011; Villarroel, 1963). De acuerdo a la estructura poblacional, el 80% es Huacaya (la más abundante), la Suri es escasa (12%) y los híbridos representan el 8% (INEI, 2013). En tal sentido, se han realizado muchos estudios sobre características textiles en fibra de alpaca Huacaya, con fines comerciales o con fines de selección genética.

La metrología e identificación de las fibras finas es de gran interés en el campo textil, debido a las importantes diferencias de precio entre ellas. Los métodos de identificación específicos están relacionados con los avances en las tecnologías analíticas que incluye la microscopía clásica o microscopio de proyección acoplado a un monitor (Pinares et al., 2019; Radzik-Rant y Wiercińska, 2021; Zoccola et al., 2023). La automatización o digitalización del microscopio ha pasado por innovaciones en el procesamiento de imágenes con algoritmos basados en análisis de imágenes digitales (Ling, 1990; Zoccola et al., 2023) y en inteligencia artificial (Quispe et al., 2022a, 2023) con el fin de cuantificar fácil y rápidamente el porcentaje de fibras medulladas y su respectivo diámetro medio de fibra.

La fibra de alpaca es altamente medullada y es más ligera que la lana, por lo que tiene menos peso específico (Czaplicki, 2012; Villarroel, 1963), debido a que el vellón de alpaca tiene fibras sin médula y fibras medulladas de tipo fragmentada, discontinua, continua y fuertemente medullada. Las fibras medulladas se caracterizan por tener un canal central (médula) que contiene residuos celulares y bolsas de aire, corriendo en forma

continua o fragmentada a lo largo de su longitud. La morfología de la médula en la sección transversal es variable, siendo circular en fibras finas, triangular a elíptica en fibras más gruesas y arriñonada en las fibras fuertemente medulladas (Czaplicki, 2012; Pinares et al., 2018, 2019; Hunter, 2020; Tridico, 2014; Carpio, 1991; Villarroel, 1963).

Por otro lado, a medida que se incrementa el diámetro de las fibras, al parecer la médula se torna continua a lo largo de la fibra, por lo que MED estaría directamente influenciado por la variación del DMF en la alpaca (Villarroel, 1963; McGregor, 2006; Pinares et al., 2019; Quispe et al., 2022a), así como también en la fibra de llama (Martinez et al., 1997; Frank et al., 2014) y en el mohair (McGregor et al., 2013; Hunter y Botha, 2022). La mayoría de fibra de alpaca que presenta el tipo de médula continua y todas las fibras fuertemente medulladas son indeseables para la industria, porque no se tiñen uniformemente y son las que sobresalen del hilo y de las prendas, ocasionando picazón en los usuarios (Hunter et al., 2013; Hunter, 2020; Lozano et al., 2023), razón por la cual también se les conoce como fibras objetables (FOBs), y pueden ser fácilmente identificados visualmente (Quispe y Quispe, 2024).

Los primeros reportes de porcentaje de fibras medulladas (MED) y diámetro medio de fibra (DMF) en alpacas del sur del Perú, se realizaron con muestras pequeñas (Villarroel, 1963), porque era costoso y requería mucho tiempo el análisis de las fibras por microscopio de proyección (Pinares et al., 2019; Quispe et al., 2023). El porcentaje de medulación y el diámetro medio de fibra aumentan a mayor edad del animal (Martinez et al., 1997; Pinares et al., 2019; Olarte et al., 2023); sin embargo, no está claro la influencia del sexo sobre las características de medulación (Radzik-Rant et al., 2018; Radzik-Rant y Wiercińska, 2021; Quispe et al., 2022a; Olarte et al., 2023). Por tanto, el objetivo de la investigación fue evaluar la influencia de edad, sexo y lugar de procedencia de la alpaca Huacaya y Suri sobre las características de las fibras medulladas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización y muestreo de fibra

El estudio se desarrolló en dos distritos: Pitumarca y Marangani de la provincia de Canchis, departamento de Cusco, Perú. Se tomaron 396 muestras de fibra (1 a 5 g del costillar medio), considerando la edad y el sexo de alpacas Huacaya y Suri de color blanco (debido a que no requieren el proceso de despigmentación, en contraste las fibras pigmentadas oscuras si lo requieren). La mayor proporción de muestras de fibra corresponde a Huacaya (329), pertenecientes a cuatro localidades con diferentes niveles de producción. De estas muestras, 158 fueron tomadas de la asociación de Toxaccota, 83 del Centro de Investigación en Camélidos Sudamericanos (CICAS) - La Raya, de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), 34 muestras corresponden a XXVI Feria Regional Agropecuaria, Agroindustrial de Pitumarca y 54 muestras corresponden a LXX Expo Feria Regional Agropecuaria, Agroindustrial, Artesanal y Comercial de Marangani.

Los mismos criterios fueron considerados para la obtención de 67 muestras de fibra de alpaca Suri, este pequeño número de muestra (19% del total de las muestras,  $n = 396$ ) se justifica ya que está condicionada por la poca población nacional, que concentra apenas el 12% de la población total de alpacas. (INEI, 2013). Tanto en Huacaya y Suri que participaron en las ferias de exposiciones, el muestreo de fibra se realizó en la etapa de admisión de los animales, previo al juzgamiento. La categoría de edad se asignó verificando la dentición (tipo y número), donde A = DL (dientes de leche, 7 a 18 meses), B = 2D (dos dientes, 18 meses a 2 años), C = 4D (cuatro dientes, 2 - 3 años) y D = BL (boca llena  $\geq 3$  años), como fue descrito previamente por Pinares et al. (2023).

### Análisis de fibras meduladas

Las muestras fueron preparadas siguiendo la Norma IWTO-8 (IWTO, 2011). El porcentaje de medulación por tipo: fragmentada, discontinua, continua y fuertemente medulada (Pinares et al., 2018, 2019) y su respectivo DMF fueron medidos usando el equipo FIBER MED (Medulómetro), desarrollado por Natural Fiber's Tech SAC (Quispe et al., 2022a, 2023) basado en inteligencia artificial para la identificación rápida del porcentaje y diámetro de las fibras de acuerdo al tipo de medulación que ostentan.

### Características textiles de fibras meduladas

En este estudio de características textiles de fibras meduladas, nos referimos al porcentaje y diámetro medio de fibras, por el tipo de médula:

fragmentada, discontinua, continua y fuertemente medulada. El porcentaje de medulación total o simplemente porcentaje de fibras meduladas se obtiene de la sumatoria de los porcentajes por tipos de fibras meduladas. En cambio, el porcentaje de fibra sin médula se calcula por diferencia: 100% - porcentaje de medulación total.

En fibra de llama, la terminología usada para clasificación de la médula es ligeramente diferente: amedulada, fragmentada, interrumpida, continua y grande en mosaico o 'lattice' (Martinez et al., 1997; Frank et al., 2007; Frank et al., 2014); en esta especie resalta la proporción de fibras objetables.

### Análisis estadístico

La influencia de cada factor con sus niveles entre paréntesis: lugar (Toxaccota, La Raya, Marangani y Pitumarca), edad (DL, 2D, 4D y BL) y sexo (hembra y macho) sobre el porcentaje de fibras meduladas y diámetro medio de fibras meduladas, tanto en Huacaya y Suri se analizaron por separado. Se aplicó el análisis de varianza de un factor (sin interacción) y las medias se compararon con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) utilizando los comandos aov y glht, respectivamente en el software estadístico R versión 4.2.3 (R Core Team, 2023).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Porcentaje y diámetro de fibras meduladas en Huacaya

El porcentaje de medulación total o porcentaje de fibras meduladas muestra alta variabilidad según el lugar de procedencia y edad del animal. El porcentaje de medulación fragmentada y discontinua varían según el lugar de procedencia, edad y sexo del animal. En cambio, el porcentaje de fibras fuertemente meduladas y de medulación continua solo muestran variabilidad según el lugar de procedencia (Tabla 1). El DMF, diámetro de fibra sin médula y los diámetros de tipos de fibras meduladas son influenciadas por el lugar de procedencia, edad y sexo del animal ( $p < 0,05$ ), excepto el diámetro de fibras fuertemente meduladas, que no es afectado por la edad de la alpaca.

Los menores valores de MED y de los porcentajes de los tipos de fibras meduladas se observan en alpacas provenientes de las ferias de Marangani y Pitumarca, seguidas de La Raya y Toxaccota. El DMF muestra la misma tendencia, resultados que concuerdan con los hallados por Pinares et al. (2023) y Quispe et al. (2021), en alpacas Huacaya tanto blancos y de colores oscuros, pues animales que se juzgan en la feria son seleccionados minuciosamente por los criadores en función a la calidad de la fibra

Tabla 1. Características textiles de las fibras meduladas según el lugar de procedencia, edad y sexo de alpaca Huacaya de Cusco.  
Table 1. Textile characteristics of medullated fibers according to the location, age and sex of Huacaya alpaca from Cusco.

	# n	MED (%)	DMF (μm)	SDMF (μm)	FMED (%)	FDMF (μm)	DMED (%)	DDMF (μm)	CMED (%)	CDMF (μm)	fMED (%)	fDMF (μm)
<b>Lugar</b>		***	***	***	*	***	**	***	***	***	**	***
Toxaccota	158	34,72ab	21,35a	19,40a	15,61a	22,78a	6,15a	25,42a	10,87ab	29,03a	0,32a	48,09a
Marangani	54	22,66c	18,23b	16,96b	11,63b	21,34b	3,67b	23,99b	05,79c	27,04b	0,09a	40,27b
Pitumarca	34	25,92ac	19,34b	17,76b	12,61ab	21,53b	4,27ab	24,42b	07,16ac	28,49a	0,18a	47,46a
La Raya	83	37,45b	22,60c	20,40c	14,80a	23,60c	6,37a	25,88a	13,66b	29,50a	0,77b	46,62a
<b>Edad</b>		***	***	***	***	***	***	***	ns	***	ns	ns
A: DL	125	26,46a	19,89b	18,30c	11,37b	22,07b	4,15b	24,76a	09,34a	28,37b	0,23a	45,55a
B: 2D	74	33,82ab	21,29a	19,37ab	14,64a	22,76ab	5,42ab	25,18a	11,45a	28,73ab	0,62a	46,35a
C: 4D	54	35,38b	21,07ab	19,10ac	16,71a	22,57ab	6,32ac	25,17ab	09,89a	28,44b	0,39a	46,63a
D: BL	76	39,10b	22,27a	20,15b	17,70a	23,44a	7,67c	25,96b	11,30a	29,68a	0,40a	47,17a
<b>Sexo</b>		ns	**	***	**	***	*	**	ns	**	ns	*
Hembra	194	34,15a	21,34a	19,45a	15,74a	22,93a	6,12a	25,46a	10,12a	29,11a	0,33a	47,28a
Macho	135	30,17a	20,38b	18,58b	12,57b	22,18b	4,87b	24,83b	10,69a	28,26b	0,46a	44,92b
<b>Total</b>	329	32,71	21,09	19,10	14,12	22,71	5,59	25,19	10,65	28,73	0,61	46,10

# n: número de muestras; MED: porcentaje de fibras meduladas; DMF: diámetro medio de fibra; SDMF: diámetro medio de fibra sin médula; FMED: porcentaje de medulación fragmentada; FDMF: diámetro medio de fibra fragmentada; DMED: porcentaje de medulación discontinua; DMED: porcentaje de medulación discontinua; DDMF: diámetro medio de fibra discontinua; CMED: porcentaje de medulación continua; CDMF: diámetro medio de fibra continua; fMED: porcentaje de fuertemente medulada; fDMF: diámetro medio de fibra fuertemente medulada.

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas.

(principalmente el diámetro). De este modo, al existir una asociación positiva entre el DMF y MED (Martínez et al., 1997; Pinares et al., 2018, 2019; Quispe et al., 2023), resulta que alpacas que tienen menor diámetro también tienen bajo porcentaje de medulación en sus fibras.

De otro lado, resulta remarcable la baja incidencia de medulación y diámetro medio encontrado en las fibras de alpacas de Toxaccota (que pertenecen a criadores comunales asociados) comparada con las encontradas en animales pertenecientes a CICAS - La Raya UNSACC, en donde se realiza un manejo técnico por los pastores (personal de la UNSAAC), por su propia peculiaridad.

Por otra parte, la variabilidad de la medulación fragmentada, discontinua, continua y fuertemente medulada, por lugares de procedencia del animal, es similar al reporte de Quispe et al. (2023), Checalla (2021) y Olarte et al. (2023) en alpacas de Huancavelica y Puno, respectivamente y al de Radzik-Rant et al. (2018) en alpacas de Australia, África y Europa. El porcentaje y diámetro medio de fibras meduladas fragmentadas y discontinuas, así como el DMF y MED muestran una tendencia de incremento entre las categorías de DL y BL. En alpaca Huacaya los estudios previos indican variabilidad de MED y DMF según edad, siendo alta la incidencia de MED en alpacas mayores a cinco años (McGregor, 2006; Lupton et al., 2006; Pinares et al., 2019; Olarte et al., 2023); en llamas similar patrón de incremento se ha reportado; animales más viejos tienden a tener fibras con mayor MED y DMF (Martínez et al., 1997).

Estas diferencias por categoría de edad o estrato etario, además se deberían al efecto de número de esquilas o cortes, tal como fue demostrado en ovinos por Quispe et al. (2022b), quienes al realizar cortes cada dos meses encontraron que luego de cada corte se incrementaba el diámetro de la fibra. Sin embargo, en la alpaca Huacaya (nacidos en febrero), que fueron sometidos a una esquila anticipada a los 10, 11, 12 y 16 meses de edad no incrementaba el diámetro de la fibra (Pallotti et al., 2020).

La influencia de sexo es discutible, la Huacaya hembra respecto al macho muestra similar MED, pero con mayor porcentaje de medulación fragmentada y discontinua, por el contrario, en alpacas Huacaya criadas en Polonia Radzik-Rant y Wiercińska (2021) reportaron mayor MED y medulación discontinua en machos respecto a las hembras. Por otra parte, tanto en llama de Bolivia (Martínez et al., 1997), alpacas de Perú (Quispe et al., 2022a; Checalla, 2021) y alpacas criadas en Australia, África y Europa (Radzik-Rant et al., 2018), se han indicado que el sexo no influye en las características de medulación.

Olarte et al. (2023) no indican diferencias por sexo para el diámetro medio de fibra con medulación discontinua, continua y fuertemente medulada, aunque señalan que los machos presentan menor diámetro medio de fibras fragmentadas y no meduladas.

### **Porcentaje y diámetro de fibras meduladas en Suri**

Los tipos de fibras meduladas (%) fragmentada, discontinua, continuas y fuertemente medulada no son afectados por el lugar de procedencia, edad y sexo del animal (Tabla 2), el sexo no influye sobre las características textiles de las fibras meduladas (excepto sobre MED y FMED, donde las hembras presentan mayor incidencia).

Por otro lado, el DMF, diámetro de fibras sin médula, diámetro de fibras meduladas fragmentadas y discontinuas incrementan a mayor edad (BL) respecto a los de DL y 2D similar al estudio de McGregor (2006) y Checalla (2021). El diámetro de estas fibras meduladas es variable entre los lugares de procedencia del animal ( $p < 0,05$ ). El porcentaje de fibras meduladas y porcentaje de medulación fragmentada es mayor en hembras que machos, diferente al de Huacaya y contrario al reporte de Radzik-Rant y Wiercińska (2021), quienes indican mayor MED y porcentaje de medulación discontinua en machos Huacaya respecto a las hembras. Sin embargo, Checalla (2021) indica que el sexo no influye sobre MED en alpaca Suri.

El diámetro medio de fibra sin médula es más fino respecto al diámetro medio de tipos de fibras meduladas, concordante con las investigaciones realizadas en alpacas y llamas (Berolatti et al., 2021; Frank et al., 2014; Pinares et al., 2019). Por otra parte, tanto en Huacaya como en Suri, el diámetro medio de fibras meduladas tienden a aumentar por el cambio del tipo de médula, en el orden, fragmentada, discontinua, continua y fuertemente medulada. En la llama, el grado de medulación induce cambios importantes sobre el DMF, determinando mayor DMF a medida que la MED aumentan a una tasa de cambio lineal de  $b = 0,195 \mu\text{m}$  por unidad de MED. Estas variaciones o tendencias también son comunes en Huacaya y Suri (Villarroel, 1963; Quispe et al., 2023).

En este estudio no se ha comparado los promedios de MED entre Huacaya (32,71%) y Suri (33,63%), debido a que resulta difícil establecer diferencias estadísticas en fibras finas, medianas y gruesas (Villarroel, 1963), además, debido a que se cuenta con una pequeña población de Suri (INEI, 2013). A pesar de ello, en rebaños selectos de Pacamarca (Puno), Quispe et al. (2023) indicaron mayor MED en Huacaya (37,81%) respecto a Suri (29,46%). Asimismo, en alpacas de

Tabla 2. Características textiles de las fibras meduladas según el lugar de procedencia, edad y sexo de alpaca Suri de Cusco.  
Table 2. Textile characteristics of medullated fibers according to the location, age and sex of Suri alpaca from Cusco.

Lugar	# n	MED (%)	MFD (μm)	SDMF (μm)	FMED (%)	FDMF (μm)	DMED (%)	DDMF (μm)	CMED (%)	CDMF (μm)	fMED (%)	fDMF (μm)
Toxaccota	34	ns 37,29a	ns 22,05a	ns 19,71a	ns 13,62a	* 22,88b	ns 6,38a	* 25,14ab	ns 13,79a	** 28,76ab	ns 1,75a	ns 47,18a
Maranganí	20	33,58a	21,12a	18,96a	12,93a	22,77ab	5,48a	24,51a	11,37a	27,30a	2,08a	42,73a
Pitumarca	13	24,13a	22,29a	20,62a	09,09a	24,45a	3,32a	26,16b	8,83a	30,05b	1,22a	44,50a
<b>Edad</b>		ns	***	**	ns	**	ns	***	ns	ns	ns	ns
A: DL	20	27,48a	19,90a	18,19b	10,65a	21,80a	4,42a	23,77a	10,16a	27,72a	0,91a	44,57a
B: 2D	13	32,78a	21,89ab	19,59ab	13,74a	23,30ab	4,85a	25,37ab	09,43a	28,51a	2,86a	45,00a
C: 4D	15	36,35a	22,50b	20,09ab	12,86a	23,66b	5,89a	25,45b	13,72a	28,70a	1,95a	43,35a
D: BL	19	38,82a	23,36b	20,92a	13,60a	24,15b	6,86a	26,29b	14,67a	29,45a	1,80a	47,27a
<b>Sexo</b>		*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Hembra	37	38,46a	22,30a	19,87a	14,16a	23,01a	6,53a	25,19a	13,84a	28,61a	2,01a	44,68a
Macho	30	27,67b	21,23a	19,40a	10,54b	23,32a	4,27a	25,10a	09,96a	28,52a	1,42a	45,84a
<b>Total</b>	67	33,63	21,82	19,66	12,54	23,15	5,52	25,15	12,11	28,57	1,74	45,18

# n: número de muestras; MED: porcentaje de fibras meduladas; DMF: diámetro medio de fibra; SDMF: diámetro medio de fibra sin médula; FMED: porcentaje de medulación fragmentada; FDMF: diámetro medio de fibra fragmentada; DMED: porcentaje de medulación discontinua; DDMF: diámetro medio de fibra discontinua; CMED: porcentaje de medulación continua; CDMF: diámetro medio de fibra continua; fMED: porcentaje de fuertemente medulada; fDMF: diámetro medio de fibra fuertemente medulada.

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas.

Cusco, Villarroel (1963) reportó mayor porcentaje de medulación en Huacaya (77,60%) respecto a Suri (66,50%).

Por otra parte, el porcentaje de fibras fuertemente meduladas tiene mayor incidencia en alpacas Suri (1,74%) respecto a la Huacaya (0,61%), esta tendencia resulta similar al reporte de Quispe et al. (2023). Una reciente investigación - realizada en una población donde se estuvo considerando el DMF como principal criterio de selección - reporta una baja correlación genética ( $0,13 \pm 0,06$ ) entre el porcentaje de fibras fuertemente meduladas y el DMF (Cruz et al., 2024). Sin embargo, no se refleja en Suri la reducción de fibras con medulación continua y fuertemente meduladas al seleccionar por DMF, lo que requiere estudios más detallados como el perfil de medulación a lo largo de la mecha, así como una mejor caracterización de las FOBs; aunque Quispe y Quispe (2024) en un trabajo preliminar encontraron que, las FOBs tienen DMF que varían entre 24 y 120  $\mu\text{m}$  y que están constituidas en un 57,5% por fibras con medulación continua y un 36,8% de fibras fuertemente meduladas, pero que solo un porcentaje alrededor del 5% está constituidos por fibras con medulación fragmentada y discontinua. Además, al parecer éstas tienen mayor elipticidad (Villarroel, 1963) y mayor rigidez a la flexión, por lo que requiere mayor fuerza de carga de pando para que se doblen al estar en contacto con la piel (Mamani-Cato et al., 2022).

Considerando en conjunto la mitad de CMED y el total de fMED, en alpacas Huacaya y Suri, podríamos estar deduciendo el porcentaje de FOBs (7,8 y 5,9%, respectivamente), resultados que son extremadamente altos, comparados con las fibras mohair, que alcanzan apenas el 1,5% (Hunter et al., 2013), lo que constituirían problemas para el productor (pues afecta la calidad de la fibra y, por ende, el precio del producto) y para la industria textil (al ser responsables de la heterogeneidad de hilos, tejidos y prendas). Las FOBs derivarían de foliculos primarios por lo que muestran diámetros y longitudes grandes, siendo no preferidas en la industria, debido a que sobresalen de la superficie del hilo y de las prendas (Hunter, 2020) y serían las responsables de ocasionar una sensación desagradable en forma de pinchazos conocido como picazón, cuando las prendas elaboradas en base a ellas se usan en contacto con la piel. Asimismo, las FOBs brindan una apariencia heterogénea en hilos, telas y tejidos lo cual disminuye el precio del producto, y también al tener menor resistencia a la tracción éstas se quiebran rápidamente incrementando la proporción de desechos durante el procesamiento y por tanto un menor rendimiento textil.

## CONCLUSIONES

En alpaca Huacaya, el lugar de procedencia, edad y sexo influyen sobre los porcentajes y diámetros de tipos de fibras meduladas, así como sobre porcentaje de medulación total y el diámetro medio de fibra.

En alpaca Suri, el lugar de procedencia y edad influyen sobre el diámetro medio de fibras meduladas fragmentadas, discontinuas y continuas. Sin embargo, no habría influencia de sexo, edad y lugar de procedencia del animal sobre el porcentaje fibras meduladas y fibras objetables.

Las fibras meduladas continuas y fuertemente meduladas están directamente relacionados con las fibras visualmente objetables. Un alto porcentaje de estas fibras afectan negativamente el procesamiento y rendimiento textil de fibra de alpaca Huacaya y Suri; por lo que es crucial la reducción de fibras objetables mediante selección.

## Contribución de autores

Ambos los autores contribuyeron en todas las etapas de la investigación: revisión bibliográfica, diseño de la metodología, redacción del manuscrito, discusión de los resultados, revisión y aprobación de la versión final del artículo.

## LITERATURA CITADA

- Berolatti, G., L. Ruiz, F.A. Cabrera, J. Aliaga, M.D. Quispe y E.C. Quispe. 2021. Evaluación de la medulación de fibras de lanas y fibras especiales de algunas especies de animales. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 32(5): e17639. <https://dx.doi.org/10.15381/rivep.v32i5.17639>
- Carpio, M. 1991. La fibra de camélidos. p. 295-356. En C. Novoa y A. Flórez (Eds.). *Producción de rumiantes menores: alpacas*. RERUMEN. Lima, Perú. Disponible en <https://es.scribd.com/document/263825545/Produccion-Alpacas-Novoa-pdf>
- Checalla, V.M, 2021. Heredabilidad del diámetro y medulación de fibra en alpacas (*Vicugna pacos* L.) blancas Suri - Anexo Quimsachata, INIA Illpa - Puno. Tesis de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Perú. 89 p. Disponible en <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/15586>
- Cruz, A., Y. Murillo, A. Burgos, A. Yucra, R. Morante, M. Quispe, C. Quispe, E. Quispe, and J.P. Gutiérrez. 2024. Genetic parameters for different types of medullated fibre in alpacas. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 00:1-10. <https://doi.org/10.1111/jbg.12861>.

- Czaplicki, Z. 2012. Properties and structure of Polish alpaca wool. *Fibres & Textiles in Eastern Europe* 20, 1(90):8-12. [http://www.fibtex.lodz.pl/pliki/Fibtex\\_\(in9qxzjrznrrbp2d\).pdf](http://www.fibtex.lodz.pl/pliki/Fibtex_(in9qxzjrznrrbp2d).pdf)
- Frank, E.N., M.V.H. Hick, M.F. Castillo, A. Prieto, and O.G. Adot. 2014. Fibre-based components determining handle/skin comfort in fabrics made from dehaired and non dehaired llama fibre. *International Journal of Applied Science and Technology* 4(3): 51-66. [https://www.ijastnet.com/journals/Vol\\_4\\_No\\_3\\_May\\_2014/7.pdf](https://www.ijastnet.com/journals/Vol_4_No_3_May_2014/7.pdf)
- Huanca, T., R. Mamani, M. González, O. Cárdenas y M. Naveros. 2013. Situación actual de la crianza de camélidos en el Perú. *Journal of Basic & Applied Genetics* 24(1): 63-64. Disponible en: [https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/2159/1/Huanca\\_et-al\\_2013\\_Peru\\_camelidos.pdf](https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/2159/1/Huanca_et-al_2013_Peru_camelidos.pdf)
- Hunter, L., S. Smuts and A.F. Botha. 2013. Characterizing visually objectionable and nonobjectionable medullated fibers in mohair. *Journal of Natural Fibers* 10(2): 112-135. <http://dx.doi.org/10.1080/15440478.2013.763483>
- Hunter, L. 2020. Mohair, cashmere and other animal hair fibres. p 279-383. In: Kozłowski R.M and Mackiewicz-Talarczyk M (eds). *Handbook of natural fibres*. 2<sup>nd</sup> ed. Volume 1: Types, properties and factors affecting breeding and cultivation. Woodhead Publishing. Cambridge, United Kingdom. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818398-4.00012-8>
- Hunter, L. and A.F. Botha. 2022. The relationship between medullated fibres and angora goat age and fibre diameter distribution in commercial mohair sale lots. *Journal of Natural Fibers* 19(16): 14131-14145. <https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2116624>
- INEI, 2013. Resultados Definitivos: IV Censo Nacional Agropecuario – 2012. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Lima, Perú. Disponible en <https://proyectos.inei.gob.pe/web/DocumentosPublicos/ResultadosFinalesIVCENAGRO.pdf>
- 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. IWTO Publishing, Brussels, Belgium. <https://www.member.iwto.org/store/viewproduct.aspx?id=12408804>
- Ling, C.S. 1990. Application of image analysis to wool fibre diameter measurement. Thesis of Master of Engineering Science Degree, University of New South Wales, Australia. 146 p. <https://doi.org/10.26190/unsworks/4902>
- Lozano, F., R. Pinares y R. Ccopa. 2023. Blanqueamiento de fibra con peróxido de hidrógeno y porcentaje de medulación en alpaca Huacaya negra y marrón. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 34(3): e25486. <https://doi.org/10.15381/rivep.v34i3.25486>
- Lupton, C.J., A. McColl, and R. Stobart. 2006. Fiber characteristics of the Huacaya alpaca. *Small Ruminant Research* 64(3): 211-224. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.04.023>
- Lupton, C.J., and A. McColl. 2011. Measurement of luster in Suri alpaca fibre. *Small Ruminant Research* 99: 178–186. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.03.045>
- Mamani-Cato R.H., E.N. Frank, A. Prieto, M.F. Castillo, N. Condori-Rojas, and M.V.H. Hick. 2022. Effect of fibre diameter, prickle factor and coarse fibre bias on yarn surface hairiness in South American Camelids (SAC) fibre. *Fibers* 10(2): 18. <https://doi.org/10.3390/fib10020018>
- McGregor, B. 2006. Production, attributes and relative value of alpaca fleeces in southern Australia and implications for industry development. *Small Ruminant Research* 61: 93-111. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.07.001>
- McGregor, B.A., K.L. Butler, and M.B. Ferguson. 2013. The relationship of the incidence of medullated fibres to the dimensional properties of Mohair over the lifetime of Angora goats. *Small Ruminant Research* 115: 40-50. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2013.08.010>
- Martinez, Z., L.C. Iniguez, and T. Rodríguez. 1997. Influence of effect on quality traits and relationships between traits of the llama fleece. *Small Ruminant Research* 24: 203-212. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(96\)00925-X](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(96)00925-X)
- Olarte, C.U., B. Calsin, O. Oros y E. Ormachea. 2023. Variación del diámetro y porcentaje de medulación en la fibra de alpacas Huacaya (*Vicugna pacos*). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 34(6), e26957. <https://doi.org/10.15381/rivep.v34i6.26957>
- Pallotti, S., C. Pacheco, A. Valbonesi, and M. Antonini. 2020. A comparison of quality of the fleece and follicular activity between sheared and non-sheared yearling alpacas (*Vicugna pacos*). *Small Ruminant Research* 192:106243. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2020.106243>



- Pinares, R., G. Gutiérrez, A. Cruz, R. Morante, I. Cervantes, A. Burgos, and J.P. Gutiérrez. 2018. Heritability of individual fibre medullation in Peruvian alpacas. *Small Ruminant Research* 165: 93-100. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2018.04.007>
- Pinares, R., G. Gutiérrez, A. Cruz, A. Burgos y J.P. Gutiérrez. 2019. Variabilidad fenotípica del porcentaje de fibras meduladas en el vellón de alpacas Huacaya. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 30: 699-708. <https://doi.org/10.15381/rivep.v30i2.16098>
- Pinares, R., A. Meza, N. Crispín, F. Lozano, and D. Pezo. 2023. Comparing fiber quality characteristics and staple length in Suri and Huacaya alpacas. *Frontiers in Animal Science* 4: 1167113. <https://doi.org/10.3389/fanim.2023.1167113>
- Quispe, J.E., P. Castillo, W. Yana, H. Vilcanqui, E. Apaza y D.M. Quispe. 2021. Atributos textiles de la fibra de alpacas Huacaya blanca y color (*Vicugna pacos*) de la feria ganadera del sur del Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 32(4): e20930. <https://doi.org/10.15381/rivep.v32i4.20930>
- Quispe, M., L. Serrano, J.D. Trigo, C. Quispe, A. Poma y E.C. Quispe. 2022a. Application of artificial intelligence and digital images analysis to automatically determine the percentage of fiber medullation in alpaca fleece samples. *Small Ruminant Research* 213: 106724. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2022.106724>
- Quispe, R., W.H. Grabiell, J. Aliaga, M.D. Quispe y E.C. Quispe. 2022b. Variaciones de la densidad, diámetro y crecimiento de fibras, expansión de piel y peso vivo desde el nacimiento al destete en corderos Junín. *Archivos de Zootecnia* 71(275): 172-182. <https://www.uco.es/ucopress/az/index.php/az/article/view/5681/3537>
- Quispe, E., M. Quispe, C. Quispe, A. Poma, R. Paucar, A. Cruz, and B.M. McGregor. 2023. Relationships between the incidence and degree of medullation with the diameter of alpaca fibers evaluated using a novel device based on artificial intelligence. *The Journal of the Textile Institute* 114 (7):1016-1031. <https://doi.org/10.1080/00405000.2022.2105110>
- Quispe, E. y M.D. Quispe. 2024. Nuevos criterios de selección en alpacas Huacaya. En Libro de Artículos cortos y resúmenes del III Seminario Internacional en Producción Sostenible en Camélidos Sudamericanos: Asegurando la Biodiversidad, p. 146-158. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. <https://www.researchgate.net/publication/382523847>
- Radzik-Rant, A., and K. Wiercińska. 2021. Analysis of the wool thickness and medullation characteristics based on sex and color in a herd of alpacas in Poland. *Archives Animal Breeding* 64: 157-165. <https://doi.org/10.5194/aab-64-157-2021>
- R Core Team. 2023. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at <http://www.R-project.org/>
- Tridico, S. 2014. Hair: Animal. En *Wiley Encyclopedia of Forensic Science* p.1-15. John Wiley & Sons, Ltd.: Chichester, UK. <https://doi.org/10.1002/9780470061589.fsa172.pub2>
- Villaruel, J. 1963. Un estudio de la fibra de alpaca. *Anales Científicos Universidad Nacional Agraria La Molina* 1(3): 246 - 274. <https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/issue/archive>
- Zoccola, M., P. Bhavsar, A. Anceschi, and A. Patrucco. 2023. Analytical methods for the identification and quantitative determination of wool and fine animal fibers: A review. *Fibers* 11(8): 67. <https://doi.org/10.3390/fib11080067>