

## Evaluación de la medulación de las fibras de alpaca Suri (*Vicugna pacos*)

### Evaluation of fiber medullation of Suri alpacas (*Vicugna pacos*)

Ceferino Uberto Olarte D.<sup>1,2</sup>, Edwin Ormachea V.<sup>1,2</sup>, Bilo Calsin C.<sup>1,2</sup>,  
Edgar Quispe P.<sup>3,4\*</sup>

#### RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo evaluar el porcentaje y media de diámetro de fibras de acuerdo con el tipo de medulación en alpacas, así como determinar la existencia de variaciones debido al sexo y número de esquilas. Se trabajó con 108 alpacas Suri, obteniéndose 6 g de muestra de fibra de la región del costillar medio de cada animal (30 machos y 78 hembras), registrándose el número de esquila (I=1°, II=2°, III=3°, IV=4°, V=5° y VI=6° esquila a más) correspondiente a un año de crecimiento de fibra. Las variables dependientes fueron tipo de medulación (no medulada, con médula fragmentada, continua, discontinua y fuertemente medulada) y sus correspondientes diámetros medios. Las fibras fueron analizadas con el equipo Fiber Med. Se usó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis y la comparación de pares de rangos por el método de Dunn ( $\alpha=0.05$ ), y la correlación de Spearman para evaluar la relación entre las variables dependientes. Los resultados indican que la tasa de medulación de fibras es alta y por encima del 60%,

<sup>1</sup> Instituto de Investigación y Promoción de Camélidos Sudamericanos, IIPC, Puno, Perú

<sup>2</sup> Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú

<sup>3</sup> Centro de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico Natural Fiber's Tech SAC, La Molina, Lima, Perú

<sup>4</sup> Escuela de Posgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

\* Autor para correspondencia: Edgar Quispe P.; [edgarquispe62@gmail.com](mailto:edgarquispe62@gmail.com)

PROINNOVATE financió parcialmente el estudio a través del Contrato N.º 451-PROINNOVATE-PIEC2-2023

Recibido: 13 de septiembre de 2024

Aceptado para publicación: 21 de mayo de 2025

Publicado: 30 de junio de 2025

©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

siendo las fibras con medulación continua y fragmentada las más abundantes. La incidencia de fibras fuertemente meduladas se encuentra por encima del 1%. El sexo no tiene efecto sobre la incidencia de algún tipo de fibra según la medulación ni con sus respectivos DMF, a excepción de fibras con medulación discontinua y fragmentada. Los machos tienen menor FMF y FMC. A mayor frecuencia de esquilas se incrementa el porcentaje de fibras meduladas y fibras con medulación continua, pero también aumenta el DMF de fibras con diferentes tipos de medulación. La correlación fenotípica es alta y positiva entre el diámetro medio de la fibra y los porcentajes de fibras con medulación fragmentada, discontinua y continua, aunque es menor con el porcentaje de fibras fuertemente medulada.

**Palabras clave:** fibra, Suri, medulación, diámetro, Spearman, camélidos sudamericanos

## ABSTRACT

The study aimed to evaluate the percentage and mean diameter of fibres according to the type of medullation in alpacas, as well as to determine the existence of variations due to sex and number of shearings. The study included 108 Suri alpacas, obtaining 6 g of fibre sample from the middle rib region of each animal (30 males and 78 females) and registering the number of shearing (I = 1<sup>st</sup>, II = 2<sup>nd</sup>, III = 3<sup>rd</sup>, IV = 4<sup>th</sup>, V = 5<sup>th</sup> and VI = 6<sup>th</sup> shearing or more) corresponding to one year of fibre growth. The dependent variables were type of medullation (non-medullated, with fragmented medullation, continuous, discontinuous and heavily medullated) and their corresponding mean diameters. The fibres were analysed with the Fiber Med equipment. The nonparametric Kruskal Wallis test and the comparison of pairs of ranks by the Dunn method ( $\alpha=0.05$ ) were used, as well as the Spearman's correlation to evaluate the relationship between the dependent variables. The results indicate a high fibre medullation rate of over 60%, with fibres with continuous and fragmented medullation being the most abundant. The incidence of heavily medullated fibres is above 1%. Sex has no effect on the incidence of any fibre type according to medullation or their respective AFD, except for fibres with continuous and fragmented medullation. Males have lower FMF and CMF. Higher shearing frequencies increase the percentage of medullated fibres and fibres with continuous medullation, but the AFD of fibres with different types of medullation also increases. The phenotypic correlation is high and positive between the mean fibre diameter and the percentages of fibres with fragmented, discontinuous, and continuous medullation, although it is lower with the percentage of heavily medullated fibres.

**Keywords:** fibre, medulla, Suri, diameter, Spearman, South American camelids

## INTRODUCCIÓN

Fibras meduladas (FMED) son aquellas que tienen un canal central conteniendo células residuales (también llamadas medulares) y bolsillos de aire corriendo en forma continua o interrumpida a lo largo de la corteza (Boguslavsky *et al.*, 1992); por tanto, las fibras de alpaca pueden ser clasificadas como fibras no meduladas (FNM), con medulación

fragmentada (FMF), discontinua (FMD), continua (FMC) y fuertemente meduladas (FFM). Las FFM – parecidas a los «kemps» en ovinos – tienen el canal medular muy amplio, con más del 56% del diámetro de la fibra (Quispe-Peña y Quispe-Bonilla, 2024) rodeado por una capa delgada de corteza (Villarroel, 1963), y pueden ser visualmente detectadas, tal como menciona Hunter *et al.* (2013) en fibras de mohair.

La forma y distribución de la médula tienen efectos adversos sobre la suavidad, vellosoidad, rigidez y el picor que ocasionan los hilos, telas y prendas al contacto con la piel. Por tal motivo, las FFM y una gran parte de las FMC, son consideradas como contaminantes de los vellones de mohair, cachemira, alpaca, llama, entre otros (Balasingam, 2005; McGregor, 2006; Frank *et al.*, 2012; Hunter *et al.*, 2013).

En alpacas, la selección a favor de la reducción del porcentaje de fibras meduladas es la mejor estrategia de solución para mejorar la calidad de la fibra (Pinares *et al.*, 2018; Cruz *et al.*, 2024); sin embargo, Quispe-Peña y Quispe-Bonilla (2024) consideran que es mejor seleccionar específicamente en contra del porcentaje de FMC y FFM, pues si se reduce en forma general la medulación, se podría perder algunas bondades de la fibra de alpaca, como el carácter termo regulatorio que tiene la fibra de alpaca (Czaplicki, 2012).

De otro lado, para realizar la selección de los animales en base a criterios objetivos dentro del proceso de mejoramiento genético, resulta necesario realizar la medición del carácter a mejorar (Quispe *et al.*, 2012). De este modo, al considerarse el diámetro medio de la fibra (DMF) como la principal característica que determina la calidad de la fibra, la selección por esta característica ha sido considerada dentro de muchos programas de mejora genética en alpacas (Quispe-Peña y Quispe-Bonilla, 2022). Sin embargo, a pesar de que el DMF de alpacas se ha reducido en Perú (Quispe-Peña *et al.*, 2022), todavía se tiene el inconveniente de la presencia de fibras objetables (FOB: constituidas por la totalidad de las FFM y gran parte de las FMC) que repercuten en el precio y comodidad de dicha materia prima (Cruz *et al.*, 2019), tal como sucede en fibras de mohair (Hunter *et al.*, 2013). Las FOB se encuentran asociadas con la sensación de picazón en contacto con la piel cuando se usan prendas elaboradas con fibra de alpaca; asimismo, son las responsables de la heterogeneidad al teñido

de hilos, telas y prendas), y de quebrarse fácilmente durante el procesamiento textil (Balasingam, 2005).

Los estudios sobre medulación en fibra de alpaca se vienen realizando con gran facilidad dada la existencia de un dispositivo que permite evaluar dicha característica en forma práctica (Quispe Bonilla *et al.*, 2022, 2023), habiéndose además determinado los parámetros genéticos del porcentaje de FNM, FMF, FMD, FMC y FFM (Cruz *et al.*, 2019). Además se han evaluado los efectos de la raza, ubicación, esquila, sexo y calidad de las fibras en alpacas Huacaya (Contreras, 2010; Pinares *et al.*, 2019; Guillén y Leyva, 2020; Quispe-Peña *et al.*, 2022; Olarte *et al.*, 2023; Ormachea *et al.*, 2024); sin embargo, estudios específicos en alpacas Suri aún son muy restringidos, existiendo información de medulación realizada por Carpio (1991), Villarroel (1963), pero utilizando solo 5 y 4 alpacas Suri, respectivamente; así como los estudios de Pinares y Quispe (2024) en alpacas criadas en Cusco, Perú. Por otro lado, en llamas Q'ara, T'amphulli e intermedio, Poma y Ayala (2022), evaluaron el efecto de la edad, sexo y localización sobre la incidencia de diferentes tipos de medulación.

Ante tales consideraciones, y debido a la limitada información sobre medulación en alpacas Suri, se realizó el presente trabajo, teniendo como objetivos evaluar el porcentaje y el diámetro medio de las fibras por tipo de medulación, y determinar el efecto de la esquila y sexo sobre dichas características de la fibra de alpacas Suri.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Lugar y Duración

Se tomaron muestras de fibras de alpacas Suri del Centro Experimental La Raya de la Universidad Nacional del Altiplano (CELR-UNA), ubicada en el distrito de Santa Rosa, provincia de Melgar, Región

Puno (Perú). El CELR-UNA corresponde a una zona de Puna Húmeda, y se encuentra próximo al Nudo de Vilcanota, entre 4100 a 5500 msnm. Se consideraron alpacas de ambos sexos y de diferentes esquilas anuales. La evaluación de las muestras se realizó en el Laboratorio de Fibras Textiles del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico Natural Fiber's Tech, localizada en el distrito de La Molina, Lima, Perú.

El muestreo de las fibras de alpacas Suri se llevó a cabo en octubre de 2022 y el análisis de las muestras en el laboratorio se realizó en febrero y marzo de 2024. El sexo y el número de esquilas de cada animal fue tomado de los registros de producción del CELR-UNA.

### Muestreo de Fibras

Las muestras de fibras (n=108) fueron obtenidas del costillar medio y lado derecho de cada animal mediante corte con tijera de las fibras a 1 cm de la piel. El muestreo se realizó siguiendo las recomendaciones de Aylan-Parker y McGregor (2002), considerando una cantidad de aproximadamente 6 g. Cada muestra fue depositada en una bolsa de polietileno con su respectiva rotulación, considerando la identificación del animal, sexo (30 machos y 78 hembras) y número de esquila (desde la primera hasta la sexta a más esquilas).

Debido a la necesidad de encontrar promedios de diferentes fibras de acuerdo a su medulación, considerando como indicadores porcentajes (para incidencia del tipo de fibras) y micrones (para el diámetro medio de las fibras), y a fin de determinar el tamaño muestral, se utilizó la librería *pwr* de R (Champely, 2020) considerando una proporción de fibras meduladas de 0.6 (equivalente al 60%), con un error del 0.1, mientras que para el diámetro medio se consideró una desviación estándar de 3  $\mu\text{m}$  y un error de 0.7  $\mu\text{m}$ . Los resultados arrojaron un tamaño muestral de 93 y 96, para los porcentajes de medulación y media de diámetro de fibra, res-

pectivamente. Asimismo, para pruebas de correlación, también se utilizó el paquete *pwr*, considerando una correlación estimada de 0.3, un nivel de significación de 0.05 y una potencia de 0.8, obteniendo un tamaño muestral de 84, de tal forma que para disminuir el error se utilizó un tamaño muestral mayor (n=108).

### Análisis de la Fibra

Las fibras fueron analizadas haciendo uso del FIBER MED modelo V.2.0, equipo de fabricación peruana, basado en inteligencia artificial (Quispe-Bonilla *et al.*, 2023) y que brinda información del porcentaje de FNM, FMF, FMD, FMC, FFM y FMED (p\_FNM, p\_FMF, p\_FMD, p\_FMC, p\_FFM y p\_FMED), con sus respectivos diámetros medios (DMF\_FNM, DMF\_FMF, DMF\_FMD, DMF\_FMC, DMF\_FFM y DMF\_FMED).

Previo al análisis de las fibras, estas fueron lavadas en una solución de seis partes de alcohol etílico al 96% y 4 partes de bencina. Luego, cada muestra pasó por su respectiva preparación de acuerdo a la norma IWTO-8-04 (2017), para lo cual se obtuvieron fragmentos de 0.2 a 0.4 mm de las muestras de fibra mediante el microtomo de Hardy. Dichos fragmentos fueron dispersados en una lámina porta objetos utilizando una bagueta y aceite inmersión y cubiertos con una lámina cubre objetos. Finalmente, la muestra fue colocada en el porta-muestras del FIBER MED. Para la evaluación se consideraron las recomendaciones de Quispe-Bonilla *et al.* (2023).

### Diseño Estadístico

Se aplicó un diseño cuasi experimental cuantitativo, considerando dos factores en estudio: sexo (machos y hembra) y número de esquilas (I=1°, II=2°, III=3°, IV=4°, V=5° y VI=6° esquila a más) correspondiente a un año de crecimiento de fibra. Las variables dependientes fueron los porcentajes y diámetros medios de las fibras acorde al tipo de medulación: FNM, FMF, FMC, FMD, FFM y FMED, según la clasificación de Villarroel (1963).

Para la evaluación estadística de los porcentajes de medulación y diámetro de fibras acorde a su medulación, los datos fueron previamente sometidos a pruebas de Shapiro y Levene para evaluar la distribución normal y la homocedasticidad, encontrándose que las variables en estudio no cumplían con las premisas exigidas para el uso de estadística paramétrica. Por tal motivo, se utilizó estadística no paramétrica haciendo el análisis de medianas con el Test de Kruskal Wallis y la comparación de pares de rangos por el método de Dunn, con un nivel de significación del 0.05. Para la evaluación de la relación entre porcentajes de medulación y diámetros de fibra se utilizó la correlación de Spearman ( $r_s$ ). Todos los análisis se realizaron mediante el software R v.3.6.1 (R Core Team 2019).

## RESULTADOS

En el Cuadro 1 se presentan algunos estadígrafos de posición, dispersión y de distribución de los porcentajes de FNM, FMED,

FMF, FMD, FMC y FFM y sus respectivos diámetros medios de fibras de alpacas Suri. El porcentaje de medulación total se encuentra alrededor del 60%, y dentro de ella, más del 60% son FMC y alrededor del 25% son FMF, siendo el resto compartido entre FMD y FFM. Las FFM tienen menor incidencia y alta variación, indicando que 16% de alpacas Suri no tienen FFM y 9% tenían más del 3% de FFM. En el análisis de la forma de distribución, se observa que los porcentajes y los diámetros medios de FMF, FMD, FMC y FFM tienen una distribución asimétrica de cola derecha, y que a la vez son platicúrticas. Estos resultados sumados a las diferencias encontradas entre los promedios y las medianas indican que los datos obtenidos de las variables analizadas no tienen distribución normal.

En el Cuadro 2 se presentan los promedios y resultados de la prueba de Kruskal-Wallis que evalúa el efecto del sexo y número de esquilas sobre los porcentajes y diámetros medios de FMED, FMF, FMD, FMC y FFM. Se observa que el sexo no tiene efecto

Cuadro 1. Estadígrafos de posición, dispersión y distribución de variables relacionadas al tipo de medulación y sus respectivos diámetros medios de fibras de alpacas Suri

Variable	Promedio	D.E.	Mediana	Máx.	Mín.	Curtosis	Asimetría
Variables de medulación (%)							
No medulada	39.17	22.15	38.74	84.88	0.70	-1.06	0.11
Medulada	60.83	22.15	61.26	99.31	15.13	-1.06	-0.11
Fragmentada	15.35	6.12	14.62	33.11	1.39	-0.15	0.25
Discontinua	7.13	3.60	6.48	19.12	1.60	0.55	0.81
Continua	37.73	22.27	33.78	94.79	4.32	-0.57	0.51
Fuertemente medulada	1.02	1.69	0.39	9.86	0.00	10.71	3.07
Variables de diámetro medio ( $\mu\text{m}$ )							
No medulada	18.88	2.07	18.98	25.21	15.14	0.07	0.52
Medulada	22.51	3.91	22.58	32.65	15.82	-0.90	0.32
Fragmentada	21.25	2.03	21.23	26.42	17.68	-0.60	0.24
Discontinua	22.37	2.71	22.59	31.27	17.40	-0.19	0.36
Continua	25.95	3.35	25.87	34.66	20.19	-0.70	0.28
Fuertemente medulada	38.87	5.92	37.78	54.30	30.07	-0.36	0.64

Cuadro 2. Promedios  $\pm$  error estándar y resultados de la prueba de Kruskal-Wallis (medianas en negrita) según sexo y número de esquilas sobre los porcentajes y diámetros medios de los tipos de fibra de acuerdo a su medulación

	n	FMED	FMF	FMD	FMC	FFM
<b>Medulación (%)</b>						
Factor Sexo		[0.098]	[0.631]	[0.300]	[0.048]	[0.095]
Hembra	78	63.08 $\pm$ 2.38 <b>67.29<sup>a</sup></b>	15.28 $\pm$ 0.66 <b>14.65<sup>a</sup></b>	7.35 $\pm$ 0.41 <b>6.35<sup>a</sup></b>	39.26 $\pm$ 2.31 <b>40.42<sup>a</sup></b>	1.19 $\pm$ 0.21 <b>0.42<sup>a</sup></b>
Macho	30	54.99 $\pm$ 4.41 <b>51.62<sup>a</sup></b>	15.54 $\pm$ 1.26 <b>14.3<sup>a</sup></b>	6.54 $\pm$ 0.65 <b>6.61<sup>a</sup></b>	32.30 $\pm$ 4.78 <b>23.57<sup>a</sup></b>	0.60 $\pm$ 0.16 <b>0.25<sup>a</sup></b>
Factor Esquila		[<0.001]	[0.381]	[0.703]	[<0.001]	[0.130]
Primera	20	37.49 $\pm$ 2.52 <b>36.6<sup>c</sup></b>	16.30 $\pm$ 1.32 <b>15.23<sup>a</sup></b>	7.13 $\pm$ 1.10 <b>5.92<sup>a</sup></b>	13.41 $\pm$ 1.22 <b>14.82<sup>c</sup></b>	0.65 $\pm$ 0.20 <b>0.45</b>
Segunda	19	47.51 $\pm$ 3.60 <b>50.62<sup>bc</sup></b>	15.95 $\pm$ 1.29 <b>14.84<sup>a</sup></b>	8.38 $\pm$ 1.00 <b>7.84<sup>a</sup></b>	22.62 $\pm$ 2.35 <b>23.44<sup>bc</sup></b>	0.55 $\pm$ 0.15 <b>0.33</b>
Tercera	13	58.10 $\pm$ 4.46 <b>60.06<sup>abc</sup></b>	17.02 $\pm$ 1.14 <b>17.09<sup>a</sup></b>	6.83 $\pm$ 0.77 <b>7.40<sup>a</sup></b>	39.93 $\pm$ 3.38 <b>37.7<sup>ab</sup></b>	0.32 $\pm$ 0.12 <b>0.23</b>
Cuarta	7	64.18 $\pm$ 9.15 <b>72.17<sup>abc</sup></b>	14.43 $\pm$ 3.33 <b>10.29<sup>a</sup></b>	6.72 $\pm$ 1.34 <b>6.05<sup>a</sup></b>	41.39 $\pm$ 6.45 42.5 <sup>ab</sup>	1.65 $\pm$ 0.81 <b>0.91</b>
Quinta	9	70.15 $\pm$ 8.18 <b>77.89<sup>ab</sup></b>	12.22 $\pm$ 2.38 <b>10.92<sup>a</sup></b>	5.86 $\pm$ 2.38 <b>4.84<sup>a</sup></b>	50.46 $\pm$ 9.81 <b>62.87<sup>ab</sup></b>	1.61 $\pm$ 0.56 <b>1.16</b>
Sexta a más	40	77.03 $\pm$ 2.33 <b>77.82<sup>a</sup></b>	14.92 $\pm$ 0.99 <b>14.65<sup>a</sup></b>	6.98 $\pm$ 0.43 <b>6.14<sup>a</sup></b>	53.70 $\pm$ 2.78 <b>54.15<sup>a</sup></b>	1.42 $\pm$ 0.36 <b>0.45</b>
<b>Diámetro medio (<math>\mu</math>m)</b>						
Factor Sexo		[0.012]	[0.002]	[0.020]	[0.054]	[0.287]
Hembra	78	24.87 $\pm$ 0.38 <b>23.56<sup>a</sup></b>	21.63 $\pm$ 0.23 <b>21.84<sup>a</sup></b>	22.65 $\pm$ 0.28 <b>23.01<sup>a</sup></b>	26.30 $\pm$ 0.36 <b>26.33<sup>a</sup></b>	39.13 $\pm$ 0.70 <b>38.12<sup>a</sup></b>
Macho	30	23.23 $\pm$ 0.68 <b>19.52<sup>b</sup></b>	20.26 $\pm$ 0.30 <b>19.70<sup>b</sup></b>	21.65 $\pm$ 0.30 <b>20.51<sup>b</sup></b>	25.03 $\pm$ 0.65 <b>24.12<sup>a</sup></b>	38.11 $\pm$ 1.33 <b>36.94<sup>a</sup></b>
Factor Esquila		[<0.001]	[<0.001]	[<0.001]	[<0.001]	[<0.001]
Primera	20	20.79 $\pm$ 0.38 <b>18.14<sup>b</sup></b>	19.13 $\pm$ 0.25 <b>19.08<sup>b</sup></b>	19.69 $\pm$ 0.30 <b>19.85<sup>b</sup></b>	22.97 $\pm$ 0.42 <b>22.84<sup>b</sup></b>	35.35 $\pm$ 0.88 <b>34.75<sup>b</sup></b>
Segunda	19	20.79 $\pm$ 0.23 <b>18.91<sup>b</sup></b>	19.24 $\pm$ 0.18 <b>19.16<sup>b</sup></b>	19.73 $\pm$ 0.25 <b>20.14<sup>b</sup></b>	22.32 $\pm$ 0.27 <b>22.13<sup>b</sup></b>	36.78 $\pm$ 1.46 <b>34.6<sup>ab</sup></b>
Tercera	13	25.02 $\pm$ 0.63 <b>22.3<sup>a</sup></b>	21.83 $\pm$ 0.38 <b>21.41<sup>a</sup></b>	22.88 $\pm$ 0.54 <b>23.29<sup>a</sup></b>	27.08 $\pm$ 0.84 <b>26.41<sup>a</sup></b>	35.40 $\pm$ 1.42 <b>35.04<sup>b</sup></b>
Cuarta	7	26.32 $\pm$ 0.99 <b>23.7<sup>a</sup></b>	23.01 $\pm$ 0.71 <b>22.39<sup>a</sup></b>	24.20 $\pm$ 0.78 <b>24.2<sup>a</sup></b>	27.32 $\pm$ 1.01 <b>26.64<sup>a</sup></b>	40.74 $\pm$ 2.31 <b>39.42<sup>ab</sup></b>
Quinta	9	27.15 $\pm$ 1.13 <b>26.36<sup>a</sup></b>	22.47 $\pm$ 0.45 <b>22.41<sup>a</sup></b>	24.18 $\pm$ 0.70 <b>23.99<sup>a</sup></b>	28.42 $\pm$ 1.12 <b>28.97<sup>a</sup></b>	42.65 $\pm$ 1.88 <b>44.24<sup>ab</sup></b>
Sexta a más	40	26.81 $\pm$ 0.37 <b>25.21<sup>a</sup></b>	22.49 $\pm$ 0.23 <b>22.47<sup>a</sup></b>	24.08 $\pm$ 0.33 <b>23.9<sup>a</sup></b>	27.99 $\pm$ 0.34 <b>28.2<sup>a</sup></b>	41.28 $\pm$ 1.01 <b>40.75<sup>a</sup></b>

FMED: Fibras meduladas; FMF: Fibras con medulación fragmentada; FMD: Fibras con medulación discontinua; FMC: Fibras con medulación continua; FFM: Fibras fuertemente meduladas.

Entre corchetes se muestran los p-valor. Dentro de cada celda, letras diferentes dentro de los niveles de un mismo factor indican diferencias significativas (comparación de pares de rangos por el método de Dunn, con un nivel de significación del 0.05)

sobre la medulación de fibra (a excepción de las FMC); sin embargo, se encontró efecto del sexo sobre el DMF de las fibras con dife-

rente tipo de medulación (a excepción de las FFM). De este modo, las hembras tendrían mayor porcentaje de FMC que los machos;

pero también tendrían mayor DMF\_FMED, DMF\_FMF, DMF\_FMD y DMF\_FMC que los machos.

Se encontró que la esquila solo tiene efecto sobre el porcentaje de FMED y FMC, más no sobre el porcentaje de FMF, FMD y FFM. Asimismo, la esquila afecta de manera considerable el diámetro medio de todos los tipos de fibra de acuerdo con su medulación. Por otro lado, el número de esquilas también incrementa la incidencia de FMED y FMC, así como el diámetro medio de las FMED, FMF, FMD, FMC y FFM, mientras que los porcentajes de FMF, FMD y FFM se mantienen casi estables (entre 12.2 y 17.0%, 5.9 y 8.4, y 0.3 y 1.7%, respectivamente).

El porcentaje de FMED obtenido en la primera esquila resulta duplicada a la sexta esquila y las FMC se cuadruplican, mientras que los DMF en todos los tipos de fibras (de acuerdo con su medulación) se incrementan en promedio entre 3 y 6  $\mu\text{m}$ . Adicionalmente,

en el Cuadro 2, se puede observar que el DMF no varía entre la primera y segunda esquila, pero a partir de la tercera esquila existe un fuerte engrosamiento, con excepción de las FFM, cuyo mayor engrosamiento se aprecia a partir de la cuarta esquila.

Las correlaciones de Spearman de los porcentajes y diámetros medios de las fibras de acuerdo con el tipo de medulación se presenta en la Figura 1. Los resultados muestran que no existe relación (o es baja:  $r_s = [ < 0.4 ]$ ) de las variables p\_FMF y p\_FMD, con las otras variables relacionadas a la medulación y DMF, mientras que, a la evaluación las relaciones del p\_FFM y MDF\_FFM con las otras variables arrojan correlaciones medias positivas y significativas ( $r_s$ : varía entre 0.2 y 0.5); sin embargo, las demás variables como p\_MED, p\_FMC, así como el DMF de todos los tipos de fibra (con excepción de MDF\_FFM) tienen una relación directa y alta entre ellas.

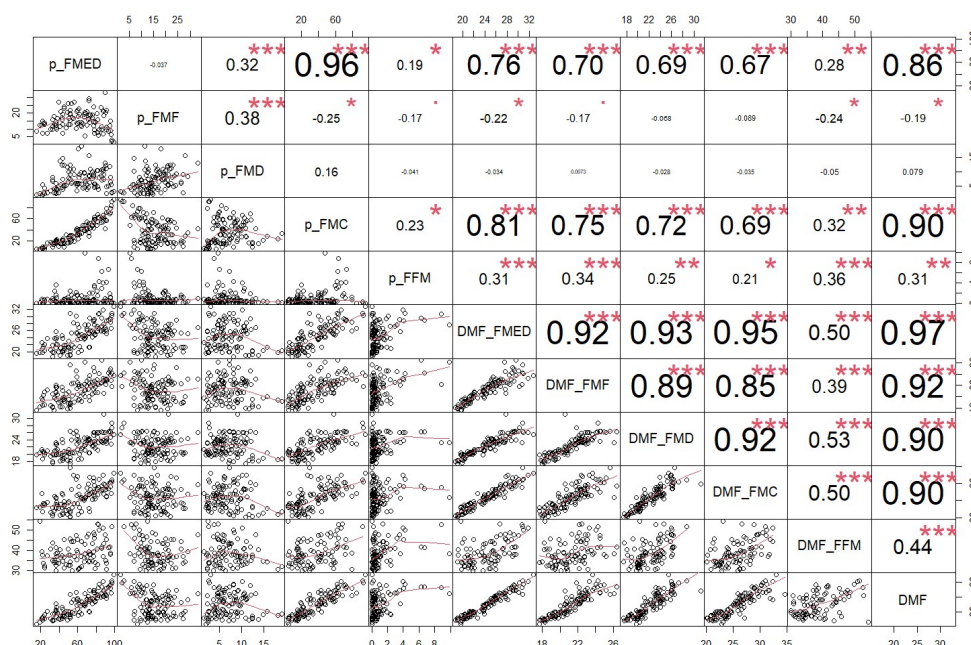


Figura 1. Gráfico conjunto de correlaciones de Spearman entre las variables relacionadas a la medulación y al diámetro medio de los tipos de fibra acorde a su medulación

## DISCUSIÓN

Los estudios en torno a la incidencia de la medulación en la fibra de alpaca vienen cobrando importancia debido a su consideración como criterio de selección dentro de programas de mejora genética de estos animales, pues las FFM y gran parte de las FMC son las principales causas de la baja calidad de la fibra en alpacas (Quispe-Peña *et al.*, 2022; Pinares Huamaní y Quispe Peña, 2024; Quispe-Peña y Quispe-Bonilla, 2024), por lo que deben ser eliminadas o disminuidas, mientras que la presencia de FMF y FMD brindarían grandes ventajas para el animal y prendas confeccionadas en base a ellas, por lo que sería conveniente incrementarlas (Quispe-Peña y Quispe-Bonilla, 2024). Asimismo, se ha comprobado que los tipos de fibras de acuerdo con su medulación y sus respectivos DMF tienen un componente genético (Cruz *et al.*, 2024), por lo que se requiere contar con estudios de base para determinar el progreso genético que se obtendría en el futuro. De otro lado, la fibra de alpacas Suri tiene cierta preferencia con relación a la Huacaya por su brillo particular, por lo que cierto segmento de mercado la prefiere.

El resultado de incidencia de fibras meduladas obtenido es similar al reportado por Villarroel (1963), quien encontró una tasa de medulación del 66.5%, y se encuentran dentro del rango indicado por McGregor (2006) en alpacas Suri, así como al hallado por Contreras (2010), Córdova (2015), Pinares *et al.* (2019), Radzick-Rant y Wiercińska (2021), Olarte *et al.* (2023) y Ormachea *et al.* (2024) en alpacas Huacaya. Sin embargo, es mayor a lo encontrado por Pinares y Quispe (2024), Quispe-Peña *et al.* (2022) y Cruz *et al.* (2019) en alpacas Suri quienes hallaron porcentajes de medulación entre el 30 al 33%. Estas diferencias se deberían a que Pinares y Quispe (2024) evaluaron muestras de fibra de alpacas Suri en ferias ganaderas, que son animales seleccionados por ser los mejores de sus hatos; mientras que

Quispe-Peña *et al.* (2022) trabajaron con alpacas de un fundo con más de 20 años con un intenso programa de mejora genética de la calidad de la fibra, y Cruz *et al.* (2019), utilizaron el equipo OFDA100, que revela subestimaciones de la incidencia de medulación (Torres Quintanilla, 2020; Quispe-Peña *et al.*, 2023).

La evidencia hallada sobre la falta de efecto del sexo sobre el p\_FMED en alpacas Suri es similar a lo encontrado por Contreras (2010), Quispe-Peña *et al.* (2022) y Olarte *et al.* (2023) en alpacas Huacaya; sin embargo, resulta opuesto a lo hallado por Pinares y Quispe (2024) quienes indican que las hembras Suri tienen mayor p\_FMED que los machos (38.4 y 27.7%, respectivamente). De otro lado, Radzik-Rant y Wercinska (2021) reportaron que las hembras (60.13%) tienen menor medulación que los machos (77.7%). Estos resultados contradictorios en investigaciones llevados a cabo en alpacas Suri exigen mayores estudios y profundización, controlando diversos factores que podrían afectar la incidencia de la medulación.

Se encontró que a mayor cantidad de esquilas se incrementa el p\_FMED y FMC. En este sentido, Quispe-Peña *et al.* (2022) encontraron que a medida se incrementa la cantidad de esquilas también se incrementa los porcentajes de fibras con diferentes tipos de medulación, lo cual se explicaría por el incremento del DMF, que tiene relación directa con la incidencia de medulación (Cruz *et al.*, 2019, 2024). Adicionalmente, los resultados obtenidos son congruentes con estudios en llamas (Martínez *et al.*, 1997) y en alpacas Huacaya (Lupton *et al.*, 2006; McGregor, 2006; Contreras, 2010; Aruquipa, 2015; Pinares *et al.*, 2019; Burgos *et al.*, 2023; Olarte *et al.*, 2023; Ormachea *et al.*, 2024). Sin embargo, la incidencia de medulación no solamente estaría afectada por la frecuencia de esquilas, sino también por la especie, estado fisiológico, cambios ambientales, precipitación pluvial (que guarda relación con la disponibilidad de alimentos), entre



otros factores, tal como fue indicada por Lupton *et al.* (1991) en fibras mohair y en alpacas Suri por Jakes (2006) y Burgos *et al.* (2023), entre otros.

El efecto sexo sobre la MDF es similar a lo encontrado por otros investigadores (Lupton *et al.*, 2006; PECSA, 2016; Quispe *et al.*, 2009; Wuliji, 2017), lo cual sería debido a la mayor presión de selección al que vienen siendo sometidos las alpacas macho con relación a las hembras (Burgos *et al.*, 2023; Quispe *et al.*, 2009).

Se suelen confundir los efectos de la edad y número de esquilas sobre el DMF, debido que generalmente las esquilas se realizan cada año, y que el estrato etario es fácil de determinar a través de la erupción de los incisivos de las alpacas, más no la cantidad de esquilas, en ausencia de registros de nacimiento. Sin embargo, sería el número de esquilas la que ejerce efecto sobre el DMF y sobre la medulación, lo cual ha sido demostrado en lana de ovinos (Quispe-Ramos *et al.*, 2022). En cabras, McGregor y Butler (2008) demostraron que al incrementar la frecuencia de esquilas no solo se incrementa el DMF, con un cambio lineal por cada esquila adicional en 0.32  $\mu\text{m}$ , sino que también se incrementa el peso de vellón limpio en 149 g y en 6 mm de longitud de mecha. Contrariamente, en alpacas Pallotti *et al.* (2020) no encontraron diferencias significativas del DMF entre alpacas tuis esquiladas con otro grupo sin esquilar a los 10 meses de edad. Sin embargo, esta diferencia podría deberse al pequeño número de animales utilizados en el estudio (10 por grupo), a la técnica de medición, y a la metodología del experimento utilizada.

El incremento del diámetro de la fibra por efecto de la esquila se debería al incremento de la síntesis de proteína adicional debido al crecimiento de la piel (Adams y Cronjé, 2003; McGregor, 2018), pero también estimulado por el corte de fibra, deducción que necesita ser corroborada por investigaciones adicionales (Quispe-Ramos *et al.*,

2022). Asimismo, el incremento del diámetro de fibra se debería también al crecimiento de los animales, pues cuando ello sucede la densidad de los folículos en la piel también disminuye a medida que se incrementa el área de piel con el consecuente incremento proporcional del área de la sección transversal de los folículos pilosos conllevando así al crecimiento de las fibras de mayor diámetro (D'Arcy, 1990).). Asimismo, se ha documentado que la esquila estimula una respuesta al estrés por frío mediante el incremento de la tasa metabólica por encima del 30% en ovinos (Blaxter *et al.*, 1959), pero también estimula un mayor consumo de alimento por lo menos durante los primeros cinco meses pos-esquila (Birrell, 1992).

La respuesta alométrica del diámetro medio de la fibra ha sido demostrada en ovinos Merino (McGregory y Butler, 2016), y en cabras Angora (McGregor *et al.*, 2012). De este modo, ovinos, cabras y alpacas más pesadas producen fibras más gruesas comparadas con aquellas más pequeñas y livianas. Es habitual que los animales sigan creciendo a medida que pasan los años, por lo que la recolección de fibra a edades más avanzadas suele estar asociada a un aumento de la DMF; sin embargo, esta respuesta dependerá de la nutrición estacional del animal, pues la pérdida de peso vivo conduce a la producción de fibra más fina, respuestas del diámetro de la fibra a los cambios en el peso vivo estacional han sido detectadas en alpacas (McGregor, 2002).

Las relaciones entre la medulación y diámetro medio de las fibras de acuerdo al tipo de medulación, guardan congruencia con los encontrados por otros autores (Quispe-Peña *et al.*, 2022; Cruz *et al.*, 2024), reafirmando que a excepción del DMF\_FFM, las demás variables involucradas con el DMF mantienen entre regular y alta correlación, por lo que estos resultados debieran tenerse en cuenta cuando se desarrollen programas de mejora genética en alpacas Suri, con respecto a la mejora de la calidad de fibra.

## CONCLUSIONES

- La tasa de medulación de la fibra de alpaca Suri es alta y por encima del 60%. Dentro de ella, las fibras con medulación continua y fragmentada son los más abundantes. La incidencia de fibras fuertemente medulada se encuentra por encima del 1%.
- El sexo no tiene efecto sobre la incidencia de algún tipo de fibra de acuerdo con su medulación, ni con los DMF, a excepción de fibras con medulación discontinua y fragmentada, de tal modo que los machos tienen menor FMF y FMD.
- A mayor frecuencia de esquilas se incrementa el porcentaje de fibras meduladas y fibras con medulación continua, pero también aumenta el DMF de fibras con diferentes tipos de medulación.
- La correlación fenotípica es alta y positiva entre el diámetro medio de la fibra y los porcentajes de fibras con medulación fragmentada, discontinua y continua, aunque la correlación es menor con el porcentaje de fibras fuertemente medulada.

## LITERATURA CITADA

1. **Adams NR, Cronjé PB. 2003.** A review of the biology linking fibre diameter with fleece weight, liveweight, and reproduction in Merino sheep. *Aust J Agr Res* 54: 1-10. doi: 10.1071/ar02059
2. **Aruquipa M. 2015.** Evaluación de la calidad de fibra de alpaca Huacaya (*Vicugna pacos*) en dos localidades del municipio de Catacora, departamento de La Paz. Tesis de Ingeniero Agrónomo. La Paz, Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés, 120 p.
3. **Aylan-Parker J, McGregor BA. 2002.** Optimising sampling techniques and estimating sampling variance of fleece quality attributes in alpacas. *Small Ruminant Res* 44: 53-64. doi: 10.1016/S0921-4488(02)00038-X
4. **Balasingam A. 2005.** The definitions of medullation threshold values used by different testing methods to define an objectionable medullated fibre in Merino Wool. Australian Wool Testing Authority Ltd. Guildford, New South Wales. 32 p. [Internet]. Available in: <https://fibers-tech.com/wp-content/uploads/2023/03/The-Definitions-of-Medullation-Threshold-Values-used-by-Different-Testing-Methods-to-Define-an-Objectionable-Medullated-Fibre.pdf>.
5. **Birrell HA. 1992.** Factors associated with the rate of growth of clean wool on grazing sheep. *Aust J Agr Res* 43: 265-275. doi: 10.1071/ar9920265
6. **Blaxter KL, Graham NM, Wainman FW. 1959.** Environmental temperature, energy metabolism and heat regulation in sheep. III. The metabolism and thermal exchanges of sheep with fleeces. *J Agr Sci* 52: 41-49. doi: 10.1017/S0021859-600035656
7. **Boguslavsky A, Botha A, Hunter L. 1992.** Measuring medullation in mohair with near infrared reflectance analysis. *Text Res J* 62:433-437. doi: 10.1177/004051759206200801
8. **Burgos A, Gutiérrez JP, Cruz A, Gutiérrez G. 2023.** Pacomarca. Alpacas: genetics in black and white. Arequipa, Perú: Inca Tops. 223 p.
9. **Carpio M., 1991.** Aspectos tecnológicos de la fibra de los camélidos andinos- En: Producción de rumiantes menores. RERUMEN. p 297-359.
10. **Champely S. 2020.** *pwr*:f Basic functions for power analysis. R package version 1.3-0. In: <https://CRAN.R-project.org/package=pwr>
11. **Contreras A. 2010.** Estructura y características físicas de la fibra de alpaca Huacaya (*Vicugna pacos*) de color blanco. Tesis de Ingeniero Zootecnista. Huancavelica, Perú: Universidad Nacional de Huancavelica. 83 p.
12. **Córdova M. 2015.** Comparación de la calidad de las fibras de *Vicugna pacos* (alpaca) y *Lama glama* (llama). Tesis de Ingeniero Zootecnista. Riobamba,

- Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 68 p.
13. **Cruz A, Morante R, Gutiérrez JP, Torres R, Burgos A, Cervantes I. 2019.** Genetic parameters for medullated fiber and its relationship with other productive traits in alpacas. *Animal* 13: 1358-1364. doi: 10.1017/S1751731118003282
14. **Cruz A, Murillo Y, Burgos A, Yucra A, Morante R, Quispe M, Quispe C, et al. 2024.** Genetic parameters for different types of medullated fibre in alpacas. *J Anim Breed Genet* 141: 521-530. doi: 10.1111/jbg.12861
15. **Czaplicki Z. 2012.** Properties and structure of Polish alpaca wool. *Fibres Text East Eur* 1: 8-12.
16. **D'Arcy JB. 1990.** Sheep management and wool technology. 3° ed. Australia: New South Wales University Press. 352 p.
17. **Frank EN, Hick MVH, Adot OG. 2012.** Determination of dehairing tactile attributes with different Llama fleece types. *Arch Sci* 65: 294-312.
18. **Guillén AL, Leyva VV. 2020.** Variación en el diámetro de fibra por efecto de la medulación en vellones finos de alpacas Huacaya de tres grupos etarios. *Rev Inv Vet Perú* 31: e19026. doi: 10.15381/rivep.v31i4.19026
19. **Hunter L, Smuts S, Botha AF. 2013.** Characterizing visually objectionable and nonobjectionable medullated fibers in mohair. *J Nat Fibers* 10: 112-135. doi: 10.1080/15440478.2013.763483
20. **IWTO. 2017.** IWTO-8-04 Method of determining fibre diameter distribution parameters and percentage of medullated fibres in wool and other animal fibres by the projection microscope. In: *Red Book: Test methods and draft test methods*, Brussels, Belgium: IWTO. p 1-19.
21. **Jakes KA, Shim S, Thompson A. 2006.** A pilot study of the effects of diet on Huacaya and Suri alpaca fibre. *J Camel Pract Res* 13: 185-192.
22. **Lupton CJ, McColl A, Stobart RH. 2006.** Fiber characteristics of the Huacaya Alpaca. *Small Ruminant Res* 64: 211-224. doi: 10.1016/j.smallrumres.2005.04.023
23. **Lupton CJ, Pfeiffer FA, Blakeman NE. 1991.** Medullation in mohair. *Small Ruminant Res* 5: 357-365. doi: 10.1016/0921-4488(91)90073-Y
24. **Martinez Z, Iniguez LC, Rodríguez T. 1997.** Influence of effects on quality traits and relationships between traits of the llama fleece. *Small Ruminant Res* 24: 203-212. doi: 10.1016/S0921-4488(96)-00925-X
25. **McGregor B, Butler K. 2008.** Frequency of shearing increases growth of fibre and changes objective and subjective attributes of Angora goat fleeces. *J Agric Sci* 146: 351-361. doi: 10.1017/S0021859607007599
26. **McGregor BA. 2018.** Physical, chemical, and tensile properties of cashmere, mohair, alpaca, and other rare animal fibers. In: *Handbook of properties of textile and technical fibres*. Elsevier. p 105-136. doi: 10.1016/B978-0-08-101272-7.00004-3
27. **McGregor BA. 2006.** Production, attributes and relative value of alpaca fleeces in southern Australia and implications for industry development. *Small Ruminant Res* 61: 93-111. doi: 10.1016/j.smallrumres.2005.07.001
28. **McGregor BA. 2002.** Comparative productivity and grazing behaviour of Huacaya alpacas and Peppin Merino sheep grazed on annual pastures. *Small Ruminant Res* 44: 219-232. doi: 10.1016/S0921-4488(02)00050-0
29. **McGregor BA, Butler KL. 2016.** Coarser wool is not a necessary consequence of sheep aging: allometric relationship between fibre diameter and fleece-free liveweight of Saxon Merino sheep. *Anim Int J Anim Biosci* 10: 2051-2060. doi: 10.1017/S1751731116001038
30. **McGregor BA, Butler KL, Ferguson MB. 2012.** The allometric relationship between mean fibre diameter of mohair and the fleece-free liveweight of Angora goats over their lifetime. *Anim Prod Sci* 52: 35-43. doi: 10.1071/AN11086

31. **Olarte CU, Calsin B, Oros O, Ormachea E. 2023.** Variación del diámetro y porcentaje de medulación en la fibra de alpacas Huacaya (*Vicugna pacos*). *Rev Inv Vet Perú* 34: e26957. doi: 10.15381/rivep.v34i6.26957
32. **Ormachea E, Bustinza J, Calsin B, Olarte CU, Nina J, Cano D, Gonzales I, Calapuja H. 2024.** Effect of age and sex on medullation types and fiber characteristics in Huacaya alpacas. *Indian J Anim Res* 58: 1253-1259. doi: 10.18805/IJAR.BF-1782
33. **Pallotti S, Pacheco C, Valbonesi A, Antonini M. 2020.** A comparison of quality of the fleece and follicular activity between sheared and non-sheared yearling alpacas (*Vicugna pacos*). *Small Rumin Res* 192: 106243. doi: 10.1016/j.smallrumres.2020.106243
34. **PECSA, 2016.** Mapeo de la calidad de fibra de alpaca en la Región Puno. Informe de Consultoría. Proyecto Especial Camélidos Sudamericano, Gobierno Regional de Puno. 194 p.
35. **Pinares Huamaní R, Quispe Peña E. 2024.** Características de las fibras meduladas en alpaca Huacaya y Suri de Perú. *Chil J Agric Anim Sci* 40: 1-10.
36. **Pinares R, Gutiérrez GA, Cruz A, Burgos A, Gutiérrez JP. 2019.** Variabilidad fenotípica del porcentaje de fibras meduladas en el vellón de alpaca Huacaya. *Rev Inv Vet Perú* 30: 699-708. doi: 10.15381/rivep.v30i2.16098
37. **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
38. **Poma G, Ayala C. 2022.** Características físicas de la fibra de llamas (*Lama glama*) a la primera esquila en la mancomunidad de municipios aymaras sin fronteras. *Rev Investig Innov Agropecu Recur Nat* 9: 19-25. doi: 10.53287/xrpy4094ec47e
39. **Quispe-Bonilla MD, Serrano-Arriezu L, Trigo JD, Bonilla CQ, Gutiérrez AP, Quispe-Peña 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: 106724. doi: 10.1016/j.smallrumres.2022.106724
40. **Quispe-Bonilla MD, Quispe CC, Serrano-Arriezu L, Trigo JD, Bengoechea JJ, Quispe-Peña EC. 2023.** Development and validation of a smart system for medullation and diameter assessment of alpaca, llama and mohair fibres. *Animal* 17: 100800. doi: 10.1016/j.animal.2023.100800
41. **Quispe EC, Alfonso L, Flores A, Guillén H, Ramos Y. 2009.** Bases para un programa de mejora de alpacas en la región altoandina de Huancavelica-Perú. *Arch Zootec* 58: 705-716.
42. **Quispe-Peña E, Quispe-Bonilla M. 2024.** Nuevos criterios de selección en alpacas Huacaya. En: Libro de Resúmenes III Seminario Internacional en Producción Sostenible en camélidos sudamericanos. Lima, Perú.
43. **Quispe-Peña EC, Gutiérrez JP, Poma A. 2012.** Plan de mejoramiento genético para alpacas de color blanco en la Región de Huancavelica. Perú: Universidad Nacional de Huancavelica. 98 p.
44. **Quispe-Peña EC, Quispe-Bonilla MD. 2022.** Nuevos criterios de selección para el mejoramiento de la fibra de la alpaca. En: XLIV Reunión Científica Anual de la Asociación Peruana de Producción Animal. Lima, Perú.
45. **Quispe-Peña EC, Quispe-Bonilla MD, Quispe C, Poma A, Paucar-Chanca R, Cruz A, McGregor BA. 2022.** Relationships between the incidence and degree of medullation with the diameter of alpaca fibers evaluated using a novel device based on artificial intelligence. *J Text Inst* 114: 1016-1031. doi: 10.1080/00405000.2022.2105110

46. **Quispe-Peña EC, Torres R, Pinares R, Cruz A, Quispe MD. 2023.** Comparison of projection microscope with OFDA100 in alpaca fibers medullation. Arch Zootec 72: 226-234. doi: 10.21071/az.v72i279.5737
47. **Quispe-Ramos R, Grabiell WH, Aliaga J, Quispe MD, Quispe EC. 2022.** Variaciones de la densidad, diámetro y crecimiento de fibras, expansión de piel y peso vivo desde el nacimiento al destete en corderos Junín. Arch Zootec 71: 172-182. doi: 10.21071/az.v71i275.5681
48. **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
49. **Torres Quintanilla RN. 2020.** Tasa de medulación de fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) mediante la comparación del medulómetro y el OFDA 100. Tesis de Maestría. Arequipa, Perú: Universidad Católica Santa María. 89 p.
50. **Villarroel J. 1963.** Un estudio de la fibra de alpaca: I Parte. An Científicos 1: 247-274.
51. **Wuliji T. 2017.** Evaluation of fiber diameter and correlated fleece characteristics of an extreme fine alpaca strain farmed in Missouri. J Camelid Sci 10: 17-30.