

## Comparaciones de la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), parámetros colorimétricos y porcentaje de medulación en fibra de vicuña

### Comparisons of the Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), colorimetric parameters and percentage of medullation in vicuña fibre

Rubén Pinares<sup>1\*</sup>, Virgilio Machaca<sup>2</sup>, Franklin Lozano<sup>3</sup>, Arturo Quispe<sup>3</sup>,  
Ruth Ccopa<sup>3</sup>, Bilo Calsin<sup>4</sup>

#### RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue comparar fibra de vicuña mediante la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), determinar los parámetros colorimétricos y los porcentajes de medulación en fibra de vicuña provenientes de Puno y Apurímac (Perú). Mediante colorimetría se caracterizó la luminosidad (L\*), intensidad o pureza de color (C\*) y tonalidad (H\*). Estos parámetros demuestran una variabilidad del color y tonalidad en el vellón de la vicuña. Los FTIR en fibra de vicuñas de Puno y Apurímac se superponen, lo que confirma similar perfil químico en la estructura de la fibra. El porcentaje de medulación total es diferente según la procedencia, donde las vicuñas de la Comunidad de Toma (Puno) tienen mayor porcentaje de medulación (5.02%), mientras que las vicuñas de las comunidades de Pilluni (1.65%) y Taraccasa (1.80%) de

<sup>1</sup> Escuela Profesional de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Sicuani, Perú

<sup>2</sup> Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, Abancay, Perú

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, Abancay, Perú

<sup>4</sup> Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú

\* E-mail: [ruben.pinares@unsaac.edu.pe](mailto:ruben.pinares@unsaac.edu.pe)

Recibido: 30 de diciembre de 2022

Aceptado para publicación: 24 de junio de 2023

Publicado: 25 de agosto 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

Apurímac mantienen un menor porcentaje de medulación. Asimismo, se observa variabilidad del porcentaje de fibras con médula fragmentada y fuertemente medulada según la procedencia de las vicuñas. En conclusión, las vicuñas de Puno y Apurímac muestran fibras con similares características químicas, pero con variaciones fenotípicas en intensidad de color, tonalidad de fibra y en el porcentaje de fibras meduladas.

**Palabras clave:** vicuña, espectro FTIR, colorimetría, intensidad de color, tipo de medulación

## ABSTRACT

The aim of this research was to compare vicuña fibre by the Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy, determine the colorimetric parameters and the percentages of medullation in vicuña fibre from Puno and Apurímac (Peru). Luminosity ( $L^*$ ), colour intensity or purity ( $C^*$ ) and tonality ( $H^*$ ) were characterized by colorimetry. These parameters demonstrate a variability of colour and tonality in the vicuña fleece. The FTIR spectra in fibre from vicuñas from Puno and Apurímac overlap, confirming a similar chemical profile in the fibre structure. The percentage of total medullation is different according to the origin, where the vicuñas of the Community of Toma (Puno) have higher percentage of medullation (5.02%), while the vicuñas of the communities of Pilluni (1.65%) and Taraccasa (1.80%) of Apurímac maintain a lower percentage of medullation. Likewise, variability in the percentage of fibres with fragmented and strongly medullated mediation is observed according to the origin of the vicuñas. In conclusion, vicuñas from Puno and Apurímac show fibres with similar chemical characteristics, but with phenotypic variations in colour intensity, fibre tonality, and percentage of medullated fibres.

**Key words:** vicuña, FTIR spectra, colorimetry, colour intensity, type of medullation

## INTRODUCCIÓN

Los incas, refiriéndose a la fibra de la vicuña (*Vicugna vicugna*), indicaban que la «Fibra de los Dioses» estaba reservada para el emperador. En la actualidad, la vicuña sigue produciendo la fibra animal más fina y muy cotizada a nivel internacional. Perú es el país que tiene la mayor población de vicuñas a nivel mundial, especie silvestre de la familia Camelidae, que produce un vellón con doble capa compuesto por cerdas (pelos largos y gruesos) y una abundante capa interna de fibras finas denominada fibras down (Sacchero y Mueller, 2005). Las comunidades campesinas comercializan el vellón ya sea como fibra sucia o semi procesada (fibra descerdada), especialmente con la empresa italiana Loro Piana (Loro Piana Marketing

Communication *et al.*, 2013). No obstante, a pesar de su gran valor textil y comercial, poco se ha investigado sobre la variación del color, estructura morfológica y composición química de la fibra de vicuña.

Las coordenadas del espacio CIE  $L^*a^*b^*$  definen los parámetros colorimétricos como la luminosidad, intensidad y tonalidad de la fibra (Pinares *et al.*, 2021; Cruz *et al.*, 2021). El parámetro K/S es un indicador de la intensidad del color. La espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) identifica bandas químicas relacionadas con enlaces químicos, incluidos los grupos de aminoácidos (McGregor *et al.*, 2018). En la estructura del vellón y fibras individuales de vicuña están presentes los siguientes elementos químicos: carbono (50%), oxígeno (22-25%), nitrógeno (16-17%), hidrógeno (7%) y

azufre (4%), los cuales son los principales componentes de la proteína llamada queratina, que incluye 19 aminoácidos (Carpio y Santana, 1982; Hunter, 2020).

Las fibras primarias son las que sobresalen como una capa externa del vellón de la vicuña. Estas fibras son objetables o despreciables por ser fuertemente meduladas (conocidas como cerdas), mientras que en el *down* hay poca presencia de fibras meduladas. El porcentaje de medulación total incluye la suma de las fibras meduladas según el tipo de médula. Carpio y Solari (1982) reportaron un bajo porcentaje de fibra con médula continua (1.5%) y discontinua (3%) en la fibra de vicuña; sin embargo, con el OFDA 100 se reportó en promedio 7.87% de fibras meduladas en vicuñas de Apurímac (Pinares y Machaca, 2022). Basado en estos antecedentes, los objetivos de la investigación fue comparar las bandas químicas de la fibra de vicuña por espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (IFTR), determinar los parámetros colorimétricos por espectroscopía acoplada a una esfera de integración y determinar los porcentajes de medulación de la fibra usando un microscopio automatizado (Fiber Med) en vicuñas provenientes de las regiones de Puno y Apurímac, Perú.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Muestreo de Fibra

En diferentes chakus (captura de vicuñas) se tomaron muestras de fibras (5 g) del costillar medio de 19 vicuñas que tenían caspa y 23 vicuñas sin caspa provenientes de la Comunidad Campesina de Toma, Provincia de San Antonio de Putina, Región Puno, Perú. Asimismo, en otro chaku se tomaron muestras de fibra (5 g) sin caspa de 20 vicuñas que provenían de la Comunidad Campesina de Pilluni y de 18 vicuñas capturadas en el Centro Ecológico Recreacional Taraccasa de la Municipalidad Provincial de Abancay, región Apurímac, Perú.

### Colorimetría y Análisis del FTIR

Las impurezas de las fibras sin descender fueron limpiadas manualmente. Para el lavado de fibra se usó un detergente de la marca Bolívar a una concentración entre 0.2 y 0.4% con 0.5% de hidróxido de sodio (NaOH) a temperatura entre 50 y 55 °C. Las muestras fueron secadas a temperatura ambiente durante 48 horas. La cuantificación de color y la comparación de espectros infrarrojos se determinaron en el Laboratorio de Química de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.

Los parámetros colorimétricos de la fibra se evaluaron usando un espectrómetro ULS2048CL-RS-EVO Avantes acoplado a una esfera integradora con luz halógena. El equipo se calibró en fondo negro y blanco (ángulo de observación de 10° e iluminantes D65). El espacio CIE L\*a\*b\* fue graficado en un plano cartesiano tridimensional (ejes X, Y, Z) donde el eje vertical es la luminosidad (L\*) entre 0 y 100, el eje horizontal a\* tiene valores negativos para verde y valores positivos para rojo. El eje horizontal b\* es perpendicular al eje a\*, los valores negativos son para el azul y positivos para amarillo. El valor chroma, pureza de intensidad:  $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{0.5}$  y la tonalidad:  $H^* = \arctg(b^*/a^*)$ , llamado ángulo de matiz (Druml *et al.*, 2018).

El parámetro K/S se determinó usando el mismo colorímetro con base a los espectros de reflectancia, la absorbancia se obtuvo a una longitud de onda aproximado de 496 nm, los valores de K/S se obtuvieron según la ecuación de Kubelka-Munk:  $K/S = (1-R)^2/2R$ , donde K es el coeficiente de absorción, S es el coeficiente de dispersión y R es el valor de reflectancia de la superficie de la muestra (Džimbeg-malèiæ *et al.*, 2011). En las fibras limpias lavadas se examinaron las bandas químicas usando un espectroscopio infrarrojo de transformada de Fourier (FTIR) a longitudes de onda entre 500 y 4000  $cm^{-1}$  (Nicolet™ iS50 FTIR Spectrometer).

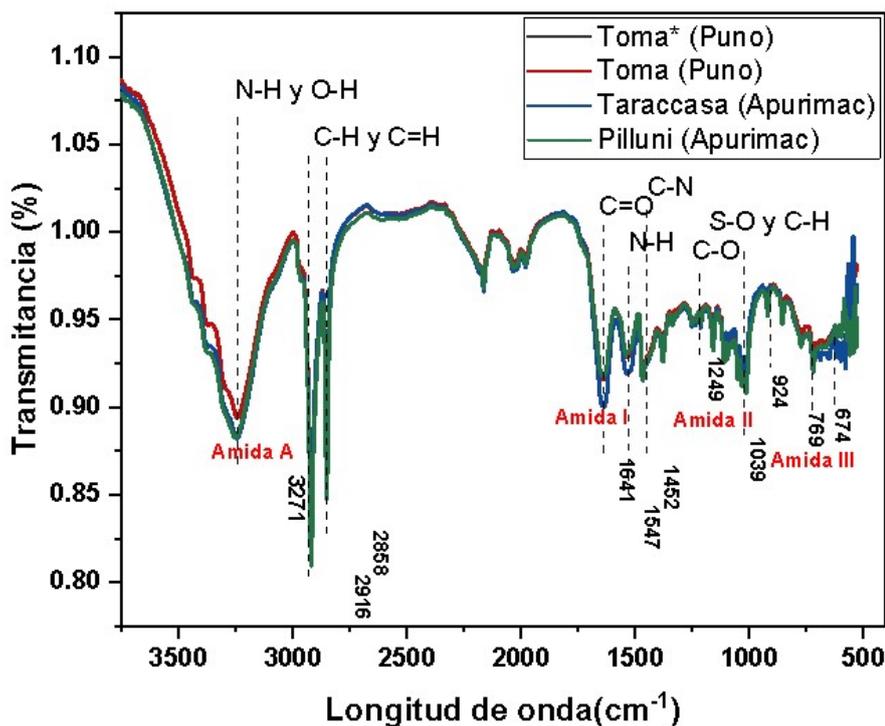


Figura 1, Intensidad de espectro infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) en forma de bandas en fibra de vicuñas provenientes de Puno y Apurímac. *Toma\**: fibra con caspa. *Toma*: fibra sin caspa

### Análisis de la Medulación de la Fibra

Solo en 80 muestras de fibra se registró el porcentaje de medulación por tipo usando el nuevo equipo Fiber Med (Medulómetro), desarrollado por Natural Fiber's Tech SAC (Quispe *et al.*, 2022a) con inteligencia artificial para la identificación rápida de fibras sin médula (SM) y fibras meduladas: médula fragmentada (MF), médula discontinua (MD), médula continua (MC) y fuertemente medulada (FM). La sumatoria de estas fibras meduladas se reporta como el porcentaje de medulación total (MT).

### Análisis Estadístico

Los datos de colorimetría y del porcentaje de medulación fueron testeadas mediante el análisis de varianza con un factor (One

Way). Además, se usó la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para la comparación múltiple de medias usando el software estadístico R v. 3.6.3 (R Core Team, 2021).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Espectroscopía infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR)*

Las bandas de intensidad de los espectros FTIR en fibra de vicuñas que provenían de dos lugares geográficos (Puno y Apurímac) se superponen, lo que indica similitud de características químicas y de la estructura de la fibra (Figura 1). Las vibraciones de los enlaces peptídicos originan las bandas conocidas como Amida A, Amida I, Amida II y Amida III (McGregor *et al.*, 2018). La

región de transmisión abarca desde 3500 hasta 3200  $\text{cm}^{-1}$  donde se ha originado el estiramiento de los enlaces N-H y O-H. La banda de la Amida A, que presenta un pico en 3271  $\text{cm}^{-1}$ , está relacionada con la vibración de estiramiento de los enlaces N-H. Las bandas de transmisión en el rango de 3000 - 2800  $\text{cm}^{-1}$  están relacionadas con los modos de estiramiento del C-H y C=H. La banda de la Amida I está relacionada principalmente con la vibración de estiramiento de C=O, y se produce en el rango de 1700-1600  $\text{cm}^{-1}$ .

La banda de transmisión de la amida II se forma entre 1580 y 1480  $\text{cm}^{-1}$ , y está relacionada con la vibración de flexión del N-H y de estiramiento del C-H. La banda de la Amida III se produce en el rango de 1300 - 1220  $\text{cm}^{-1}$  como resultado de la combinación en fase de estiramiento de C-N y flexión de N-H en el plano. Estos espectros obtenidos son concordantes al reporte de McGregor *et al.* (2018) en cachemira, lana y otras fibras animales como la vicuña. Los espectros FTIR en la fibra de vicuñas de Puno y Apurímac se superponen, sin mostrar diferencias estadísticas entre sí. McGregor *et al.* (2018) observaron diferencias significativas entre cachemira y lana, cachemira de diferentes orígenes, cachemira blanca y de color, asimismo entre cachemira y pelo.

#### *Parámetros colorimétricos*

Los parámetros de luminosidad ( $L^*$ ), valores de  $a^*$ , tonalidad ( $H^*$ ) y el parámetro K/S fueron diferentes según el lugar de procedencia de la vicuña ( $p < 0.05$ ); pero la intensidad de color o valor chroma ( $C^*$ ) no muestra diferencia significativa (Cuadro 1). La mayor luminosidad ( $46.79 \pm 04.64$ ) se observa en la fibra sin caspa de la Comunidad Toma (Puno) respecto a las vicuñas de Taraccasa y Pilluni (Apurímac). Sin embargo, Pinares *et al.* (2021), al cuantificar con un colorímetro Chroma Meter CR-210 (Konica Minolta) reportaron una luminosidad de  $47.74 \pm 03.65$  en las mismas vicuñas de Taraccasa, Apurímac.

Por otro lado, el parámetro de intensidad de color obtenido en el presente estudio (Cuadro 1) resulta similar al valor de  $24.33 \pm 01.39$  reportado por Pinares *et al.* (2021) en vicuñas de Taraccasa. La tonalidad de fibra más alta ( $1.18 \pm 0.04$ ) se observa en vicuñas de la Comunidad de Toma (Puno) y el más bajo ( $1.12 \pm 0.04$ ) en vicuñas de Taraccasa (Apurímac). El parámetro K/S es el más bajo ( $09.79 \pm 03.18$ ) en fibras de vicuñas sin caspa de Toma (Puno) respecto a las vicuñas de Apurímac. Este parámetro es directamente proporcional a la concentración de pigmento en la fibra, siendo un indicador de la profundidad de color en un tejido natural o teñido (Ramaiah y Ari, 2019). Estas diferencias pueden ser influenciadas por la altitud y las intensidades de radiaciones ultravioleta (UV). Se sabe que la radiación UV es un modulador significativo de la pigmentación en fibras de animales (Wakamatsu *et al.*, 2021; Yardman-Frank y Fisher, 2021).

#### *Porcentaje de fibras meduladas*

El porcentaje de medulación total o porcentaje de fibras meduladas en vicuña sin caspa es diferente entre Puno y Apurímac, siendo mayor la medulación en vicuñas de Puno (Cuadro 2). Además, hay diferencias en el porcentaje de fibras con médula fragmentada y fuertemente medulada, siendo mayor en vicuñas de Puno. En vicuñas de la Comunidad de Toma (Puno) se observa alto porcentaje de medulación total (5.02%), en cambio las vicuñas de la Comunidad de Pilluni (1.65%) y de Taraccasa (1.80%) muestran un menor porcentaje de medulación (Figura 2).

El porcentaje de fibras fuertemente meduladas (2.16%) en vicuñas de la Comunidad de Toma es similar al 2% reportado por Carpio y Solari (1981). En cambio, el porcentaje de medulación total en vicuñas de Apurímac (1.94) es inferior al 7.75% reportado por Pinares y Machaca (2022) en la comunidad de Taccata, distrito de Lambrama. En este sentido, en la subespecie *Vicugna vicugna vicugna* de Argentina, Rebuffi (1999) reportó 8% de medulación total.

Cuadro 1. Parámetros colorimétricos en fibra de vicuña según el lugar de procedencia

	n	L*	a*	b*	C*	H*	Parámetro K/S
Toma* (Puno)	19	43.39 <sup>b</sup> ± 03.51	9.76 <sup>b</sup> ±01.41	21.85 <sup>a</sup> ±02.10	23.94 <sup>a</sup> ±02.35	1.15 <sup>b</sup> ±0.04	12.55 <sup>a</sup> ±02.64
Toma (Puno)	23	46.79 <sup>a</sup> ± 04.64	8.89 <sup>a</sup> ±01.07	21.55 <sup>a</sup> ±01.49	23.32 <sup>a</sup> ±01.60	1.18 <sup>a</sup> ±0.04	09.79 <sup>b</sup> ±03.18
Taraccasa (Apurímac)	18	42.22 <sup>b</sup> ± 05.63	9.94 <sup>b</sup> ±01.34	21.02 <sup>a</sup> ±02.27	23.27 <sup>a</sup> ±02.43	1.12 <sup>c</sup> ±0.04	13.73 <sup>a</sup> ±04.56
Pilluni (Apurímac)	20	42.35 <sup>b</sup> ± 03.98	9.53 <sup>b</sup> ±01.49	21.16 <sup>a</sup> ±02.53	23.22 <sup>a</sup> ±02.79	1.14 <sup>b</sup> ±0.04	13.29 <sup>a</sup> ±02.39

Toma\*: fibra con caspa; n: número de vicuñas muestreadas

Cuadro 2. Porcentaje de fibras meduladas y no meduladas en vicuñas de Puno y Apurímac

	n	MF (%)	MD (%)	MC (%)	FM (%)	MT (%)	DE*	NM (%)	DMF $\mu\text{m}$	DE $\mu\text{m}$
Toma (Puno)	23	1.56 <sup>b</sup>	0.49 <sup>a</sup>	0.81 <sup>a</sup>	2.16 <sup>b</sup>	5.02 <sup>b</sup>	3.60	94.98 <sup>b</sup>	14.86 <sup>a</sup>	1.01
Toma* (Puno)	19	0.62 <sup>a</sup>	0.30 <sup>a</sup>	0.45 <sup>a</sup>	0.28 <sup>a</sup>	1.65 <sup>a</sup>	1.32	98.34 <sup>a</sup>	13.86 <sup>b</sup>	0.54
Taraccasa (Apurímac)	18	0.57 <sup>a</sup>	0.20 <sup>a</sup>	0.38 <sup>a</sup>	0.65 <sup>a</sup>	1.80 <sup>a</sup>	1.79	98.09 <sup>a</sup>	13.67 <sup>b</sup>	0.63
Pilluni (Apurímac)	20	0.70 <sup>a</sup>	0.41 <sup>a</sup>	0.49 <sup>a</sup>	0.34 <sup>a</sup>	1.94 <sup>a</sup>	1.73	98.05 <sup>a</sup>	13.99 <sup>b</sup>	0.43

Toma: vicuñas con caspa (19) y sin caspa (23). Las vicuñas de Taraccasa y Pilluni no tenían caspa. MF: médula fragmentada; MD: médula discontinua; MC: médula continua; FM: fuertemente medulada; MT: medulación total o fibras meduladas (sumatoria de fibras con médula); DE\*: desviación estándar para MT; DMF: diámetro medio de fibra; DE: desviación estándar de DMF

Por otro lado, se ha reportado que la presencia de fibras con médula continua (MC) y fibras fuertemente meduladas (FM) influyen sobre la variabilidad del diámetro medio de fibra en alpacas (Pinares *et al.*, 2019; Berolatti *et al.*, 2021; Radzik-Rant y Wiercińska, 2021; Quispe *et al.*, 2022b) y en mohair (McGregor *et al.*, 2013; Hunter y Botha, 2022), donde a mayor grosor de la fibra hay mayor presencia de fibras con MC y FM.

El diámetro medio de fibra en vicuñas de Toma (Puno) fue más gruesa respecto al de Pilluni y Taraccasa (Apurímac). En esta línea, Pinares y Machaca (2022) reportaron  $13.36 \pm 1.01 \mu\text{m}$  en vicuñas de Taraccasa y  $13.88 \pm 1.41 \mu\text{m}$  en vicuñas de Iscahuaca (Apurímac).

## CONCLUSIONES

- No se evidencian diferencias significativas en la intensidad de los espectros infrarrojos de transformada de Fourier (FTIR) en fibra de vicuñas provenientes de Puno y Apurímac debido a la superposición de las bandas.
- Existe variabilidad en los parámetros colorimétricos (luminosidad y tonalidad) y el parámetro K/S en la fibra de vicuñas provenientes de Puno y Apurímac.
- Existe una variación significativa en los porcentajes de fibras meduladas de vicuña (medulación fragmentada, fuertemente medulada y medulación total).

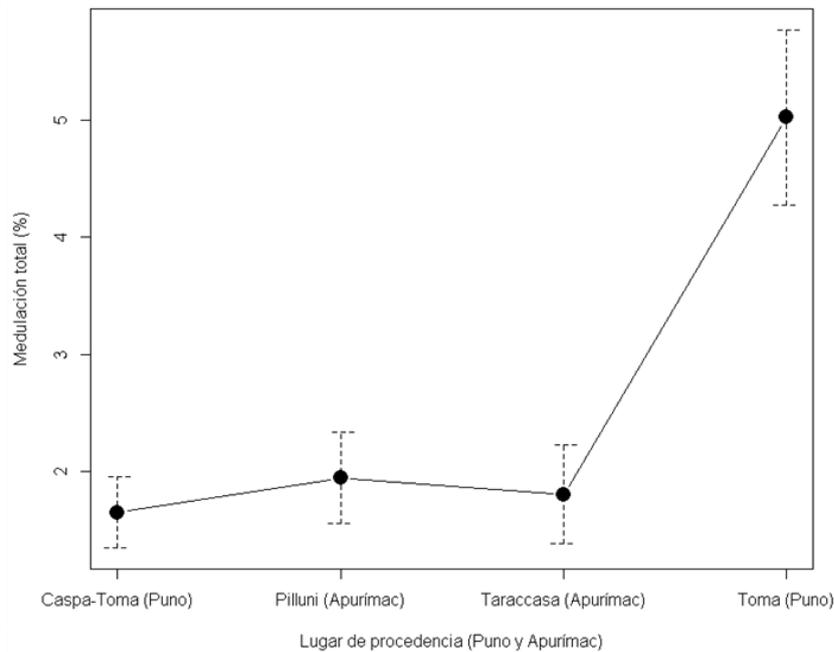


Figura 2. Diferencias del porcentaje de medulación total en fibra de vicuñas de Puno y Apurímac

#### LITERATURA CITADA

- 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
- Carpio M, Santana P. 1982.** Estudio preliminar de la longitud y análisis cuticular en la fibra de vicuña. En: Carpio M (ed). *Informes de trabajos de investigación en vicuñas*. Vol I. Serie: Ciencia y Práctica Zootécnica, Universidad Nacional Agraria La Molina. p 3-53.
- Carpio M, Solari Z. 1982.** Diámetro de la fibra en el vellón de la vicuña. En: Carpio M (ed). *Informe de trabajos de investigación en vicuñas*. Vol I. Serie: Ciencia y Práctica Zootécnica, Universidad Nacional Agraria La Molina. p 54-102.
- Cruz A, Yucra A, Gutiérrez GA, Burgos A, Morante R, Gutiérrez JP, Cervantes I, Wurzinger M. 2021.** Colorimetry analysis of coat color and its relationship with fiber traits in alpacas. *Animal* 15: 100219. doi: 10.1016/j.animal.2021.100219
- Džimbeg-malèica V, Barbariæ-mikoèevia Ž, Itriac K. 2011.** Kubelka - munk theory in describing optical properties of paper (I). *Teh Vjesn* 18: 117-124.
- Druml T, Grilz-Segeer 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
- Hunter L. 2020.** Mohair, cashmere and other animal hair fibres. In: Kozłowski RM, 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 Series in Textiles. p 279-383.

8. **Hunter L, Botha AF. 2022.** The relationship between medullated fibres and angora goat age and fibre diameter distribution in commercial mohair sale lots. *J Nat Fibers* 19: 14131-14145. doi: 10.1080/15440478.2022.2116624
9. **Loro Piana Marketing Communication, Piazza A, Morlacchi G, Milan S, Vanzella E, Di Lallo E, Carruthers A, Rotunno B. 2013.** Vicuña the Queen of the Andes. Italy: Skira Editions. 180 p.
10. **McGregor BA, Liu X, Wang XG. 2018.** Comparisons of the Fourier Transform Infrared Spectra of cashmere, guard hair, wool and other animal fibres. *J Text I* 109: 813-822. doi: 10.1080/00405000.-2017.1372057
11. **McGregor BA, Butler KL, Ferguson MB. 2013.** The relationship of the incidence of medullated fibres to the dimensional properties of Mohair over the lifetime of Angora goats. *Small Ruminant Res* 115: 40-50. doi: 10.1016/j.smallrumres.2013.08.010
12. **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
13. **Pinares R, Cruz A, Daverio M, Gutiérrez JP, Ponce de León FA, 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
14. **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
15. **Quispe M, Serrano L, Trigo JD, Quispe C, Poma A, Quispe EC. 2022a.** 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
16. **Quispe E, Quispe M, Quispe C, Poma A, Paucar R, Cruz A, McGregor BA. 2022b.** Relationships between the incidence and degree of medullation with the diameter of alpaca fibers evaluated using a novel device based on artificial intelligence. *J Tex I* 2022: 1-16. doi: 10.1080/00405000.2022.2105110
17. **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
18. **Ramaiah GB, Ari AP. 2019.** Evaluation of color strength (K/S) values of cotton fabrics dyed with reactive dye and treated with silver nanoparticles. *Proc International Conference on Advanced Materials* 2162: 02011. doi:10.1063/1.5130321
19. **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/>
20. **Rebuffi G. 1999.** Caracterización de la producción de fibra de vicuña en el altiplano argentino. Tesis Doctoral. España: Univ. de Córdoba. 365 p.
21. **Sacchero DM, Mueller JP. 2005.** Determinación de calidad de vellones de doble cobertura tomando al vellón de vicuña (*Vicugna vicugna*) como ejemplo. *Rev Invest Agropecu* 34: 143-159.
22. **Wakamatsu K, Munyard K, Oddie C, Ito S. 2021.** Photobleached oxidative degradation of melanins: Chemical characterization of melanins present in alpaca fiber. *Photochem Photobiol* 97: 1493-1497. doi: 10.1111/php.13511
23. **Yardman Frank JM, Fisher DE. 2020.** Skin pigmentation and its control: From ultraviolet radiation to stem cells. *Exp Dermatol* 30: 560-571. doi: 10.1111/exd.1426