

Densidad de fibras y densidad de conductos pilosos como criterios de selección para mejorar la calidad y el peso de vellones de alpacas

Fibre density and density of hair ducts as selection criteria to improve the quality and weight of alpaca fleece

Edgar Carlos Quispe Peña^{1,2*}, Rolando Rivera Quinto³, Marco Espinoza Castillo³, Verónica Flores Alca³, Max Quispe Bonilla⁴, Joaquín Pablo Mueller⁵

RESUMEN

Mejoras en el peso de vellón de sucio (PVe) y diámetro medio de la fibra (DMF) favorece los ingresos de los productores de alpacas; sin embargo, estas variables están relacionadas directamente, complicando el mejoramiento simultáneo de ambas características. Por tanto, se requiere buscar nuevos criterios de selección para la mejora simultánea de ambas características. El propósito del estudio fue caracterizar la densidad de fibras (DenFib), densidad de conductos pilosos (DenCond) y la relación N.º de fibras/conductos (R_Fib/Cond) como posibles criterios de selección. Asimismo, determinar el tipo de relación entre ellas y con el PVe y DMF, y construir y evaluar índices de selección formales bajo escenarios con diferentes mediciones disponibles, considerando en todos los casos PVe y DMF debidamente ponderados por sus pesos económicos, como objetivos de selección. Para ello, se tomaron muestras de fibras, imágenes de piel y se registraron el PVe de alpacas de cuatro rebaños criadas en Huancavelica y Caylloma-Arequipa (Perú) entre 2018 y 2020. Las características de densidad fueron obtenidas mediante el procedimiento denominado Fiber Den, mientras que el DMF se evaluó mediante el FIBER

¹ Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Natural Fiber's Tech SAC, La Molina, Lima, Perú

² Departamento de Producción Animal, Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

³ Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú.

⁴ Maxcorp Technologies SAC., Santa Anita, Lima, Perú

⁵ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Bariloche, Argentina

* E-mail: edgarquispe62@gmail.com

Recibido: 13 de agosto de 2022

Aceptado para publicación: 18 de febrero de 2023

Publicado: 28 de abril 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

EC, y el PVe se registró con una balanza. En la construcción de los índices de selección para PVe y DMF se aplicó la teoría de índices de selección de Hazel, considerando los parámetros indicados en la bibliografía y en el presente trabajo. La DenFib, DenCon y R_Fib/Cond varía entre 8.8 a 60 fib/mm², 3.8 a 21.2 cond/mm² y 2.0 a 4.3 fib/cond, respectivamente. Se encontraron conductos pilosos de hasta 8 fibras, siendo los más frecuentes los conductos con 1, 2 o 3 fibras. Se concluye que la DenFib y DenCond tienen relación lineal y directa con el PVe e inversa con el DMF, y que la inclusión de la DenFib y DenCond como criterios de selección dentro de un índice de selección mejorarían su exactitud de 0.53 a 0.63, pudiéndose obtener mayores progresos genéticos entre 15 y 18%, con mayores beneficios económicos, que cuando solo se utiliza el PVe y DMF.

Palabras clave: densidad de fibras, diámetro de fibras, camélidos sudamericanos, mejoramiento genético animal, fibras especiales, peso de vellón

ABSTRACT

Improvements in greasy fleece weight (GFW) and mean fibre diameter (MED) can increase the income of alpaca producers; however, these variables are directly related, complicating the simultaneous improvement of both characteristics. Therefore, it is necessary to find new selection criteria for the simultaneous improvement of both characteristics. The purpose of the study was to characterize the fibre density (FibDen), the density of hair ducts (DenDucts), the fibre/duct ratio and the No. of fibres/ducts (Fib/Duct_R) as possible selection criteria. Likewise, determine the type of relationship between them and with GFW and MFD, and construct and evaluate formal selection indices under scenarios with different available measurements, considering in all cases GFW and MFD duly weighted by their economic weights, as selection objectives. For this, fibre samples and skin images were taken, and the GFW of alpacas from four herds raised in Huancavelica and Caylloma, Arequipa, Perú, between 2018 and 2020 were recorded. The density characteristics were obtained through the procedure called Fiber Den, while the MFD was assessed using the FIBER EC, and GFW was recorded using a scale. In the construction of the selection indices for GFW and MFD Hazel's theory of selection indices was applied, considering parameters indicated in the bibliography and in the present study. The FibDen, DenDucts and Fib/Ducts_R ranged from 8.8 to 60 fib/mm², 3.8 to 21.2 ducts/mm² and 2.0 to 4.3 fib/ducts, respectively. There are hair ducts with up to 8 fibres, the most frequent being ducts with 1, 2 or 3 fibres. It is concluded that FibDen and DenDucts have a linear and direct relationship with the GFW and inversely with the MFD, and that the inclusion of the FibDen and DenDucts as selection criteria within a selection index would improve the accuracy from 0.53 to 0.63, being able to obtain further progress genetic between 15 and 18%, with greater economic benefits than when only GFW and MFD are used.

Key words: animal breeding, fibre density, fibre diameter, fleece weight, South American Camelids, luxury fibres

INTRODUCCIÓN

La producción de fibra de alpaca juega un papel importante en la economía de los pobladores de las zonas altoandinas, donde viven princi-

palmente familias pobres y muy pobres (Quispe *et al.*, 2009). El productor alpaquero recibirá mejores ingresos cuando obtenga fibras en mayor cantidad y calidad. La cantidad se evalúa mediante el

peso de vellón sucio (PVe), mientras que la calidad es un factor más complejo, en el cual el diámetro medio de las fibras (DMF), sus variaciones (desviación estándar o coeficiente de variación) e incidencia de fibras fuertemente meduladas influyen marcadamente en ella (McGregor, 2006). Bajo esas consideraciones, se han venido realizando esfuerzos en torno al mejoramiento genético de la fibra de las alpacas (Mueller, 2008; Quispe, 2010), incluyendo como criterio de selección, entre otros el PVe y DMF (León-Velarde y Guerrero, 2001; Quispe, 2010; Quispe *et al.*, 2011; Candío y Gutiérrez, 2021). Asimismo, se viene considerando que la incidencia de fibras fuertemente meduladas debiera ser incluida a fin de eliminar el problema de la picazón que tienen las prendas de alpaca (Cruz *et al.*, 2019).

La relación directa entre el PVe y DMF (Wuliji *et al.*, 2000; Quispe *et al.*, 2009; Gutiérrez *et al.*, 2009; Wuliji, 2017) dificulta la mejora de ambas características a la vez. Existen programas de selección de alpacas por PVe y DMF que lograron buena finura, pero a costa de una fuerte disminución del peso de vellón (Wuliji, 2017). Para evitar esto se pueden usar índices de selección restringidos (Kempthorne y Nordskog, 1959). En general, se pueden usar índices de selección formales (Hazel, 1943) que ponderen las mediciones de PVe y DMF para maximizar la respuesta económica.

Un enfoque diferente ofrece la selección indirecta por características correlacionadas con PVe y DMF. Se ha planteado la densidad folicular y caracteres asociados como un buen criterio de selección para mejorar la calidad y cantidad de lana en ovinos (Asadi *et al.*, 2007) y en alpacas (Oruna, 2016), por su relación directa con el peso de vellón e inversa con el DMF (Crossley *et al.*, 2014); pero su determinación es laboriosa, requiere personal altamente especializado, es invasivo y costoso (Maddocks *et al.*, 1988), razones por la que no resultaría práctico para trabajos de mejoramiento genético.

La densidad de fibras (DenFib), definida como el número total de fibras y pelos que crecen en una unidad definida de área de piel (Matthews, 1951), podría ser una alternativa como criterio de selección en el mejoramiento genético de alpacas, asumiendo que por cada fibra existe un folículo (Nagorcka *et al.*, 1995) y considerando que en ovinos tiene relación directa con el PVe (McFadden y Neale, 1954; D'arcy, 1990) e inversa con DMF (Madsen *et al.*, 1941; Hardy y Wolf, 1946), permitiendo una respuesta correlacionada favorable para PVe y DMF. Sin embargo, no se dispone de referencia alguna sobre dichas relaciones para la alpaca.

Otro aspecto importante para que una característica sea considerada como criterio de selección es la facilidad de su medición en forma objetiva. En ese sentido, recientemente fue inventado un método y dispositivo que permite medir la densidad de fibras, densidad de conductos pilosos (DenCond), y relación N.º de fibras/conductos ($R_{\text{Fib/Cond}}$), entre otras características, en animales vivos, de modo sencillo, económico, no invasivo y práctico (Quispe y Quispe-Bonilla, 2019). A la fecha, utilizando dicha metodología se han realizado varios trabajos de caracterización en alpacas (Ccalta, 2020; Centeno, 2020; Flores, 2021; Canaza-Cayo *et al.*, 2021; Quina, 2022), quedando aún por determinar el tipo de relación que tendría la densidad de fibras y de conductos pilosos con respecto al PVe y DMF.

De otro lado, se conoce en ovinos que de un conducto piloso pueden emerger desde una a varias fibras. En ovinos Merino de lana fina, haces de 3 o 4 fibras son más frecuentemente observadas en comparación a ovinos de Merino de lana intermedia (Nagorcka *et al.*, 1995). Por su parte, Sinclair y Jolliffe (2013) indican que, en la mayoría de los mamíferos, se encuentran 2 a 5 pelos que salen de un único conducto piloso, mientras que en el visón se han logrado identificar que alrededor de 20 fibras salen de un solo conducto piloso (Kondo *et al.*, 2001). En alpacas, existe muy poca información al respecto.

Bajo estas consideraciones se llevó a cabo el presente trabajo con el objetivo de caracterizar la DenFib [expresado en N.º de fibras/mm² (fib/mm²)], la DenCond [expresado en N.º de conductos pilosos/mm² (cond/mm²)], R_Fib/Cond [expresado en DenFib/DenCond (fib/cond)] y el porcentaje del tipo de conducto piloso de acuerdo con la cantidad de fibras que emergen de ella. Así mismo, determinar el tipo de relación existente entre la densidad de fibras (DenFib), densidad de conductos pilosos (DenCond) y la relación N.º de fibras/conductos (R_Fib/Cond) con el PVe y DMF, y también construir y evaluar índices de selección formales bajo escenarios con diferentes mediciones disponibles, considerando en todos los casos PVe y DMF como objetivos de selección.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y Animales

Se realizaron cuatro ensayos en alpacas Huacaya machos y hembras, con edades desde 8 hasta los 2 años. Animales del ensayo 1, 2 y 3 fueron del Centro de Investigación y Producción de Camélidos Sudamericanos – Lachocc (CIPS-Lachocc) de la Universidad Nacional de Huancavelica ubicado a 30 km al sur de Huancavelica, a una altitud de 4490 msnm. Los animales del ensayo 4 fueron del Centro de Desarrollo Alpaquero Tocra de DESCO (CEDAT-DESCO), ubicado en el distrito de Yanque, provincia de Caylloma de la región Arequipa, Perú, a una altitud de 4372 msnm. Los análisis de densidad y características de las fibras se llevaron a cabo en el Laboratorio de Fibras Textiles de Natural Fiber's Tech SAC, ubicado en Lima, Perú.

Ensayos

Ensayo 1

Se realizó en noviembre de 2020 y consistió en la captura de cinco imágenes de piel rasurada y fibra teñida, mediante el dispositi-



Figura 1. Zonas corporales de muestreo en 12 alpacas, para la obtención de la densidad de fibras y media de diámetro de fibra entre otras variables asociadas

vo y procedimiento denominado Fiber Den (Quispe y Quispe-Bonilla, 2019) de ocho regiones corporales (cabeza, cuello, barriga, costillar medio, nalga, paleta, muslo y encuentro) (Figura 1) de 12 alpacas tuis menor y mayor, machos, que habían sido seleccionados como futuros reproductores del CIPS-Lachocc. Adicionalmente, de cada zona corporal se tomaron muestras de fibras de aproximadamente 2 g que fueron guardadas en bolsas de papel y trasladadas al laboratorio.

Ensayos 2 y 3

El segundo ensayo se realizó en octubre de 2019 con 31 alpacas Huacaya machos y hembras de 1 y 2 años, mientras que el tercer ensayo se realizó en noviembre de 2018 con 58 alpacas Huacaya machos y hembras de 1, 2 y 3 años de edad. Se utilizó el dispositivo y procedimiento Fiber Den (indicado en el ensayo 1). Se capturaron cinco imágenes de piel y fibras en cada animal a nivel del costillar medio. Además, se tomaron muestras de fibras de dicha zona y fueron llevadas al laboratorio. Posteriormente se realizó la esquila mecánica, y los vellones y los animales fueron pesados en una balanza

electrónica digital de mesa (escala de graduación 10 g) y de plataforma (escala de graduación 100 g), respectivamente.

Ensayo 4

El ensayo se realizó en noviembre y diciembre de 2018. Se tomaron muestras de imágenes de piel y fibras de 41 alpacas Huacaya (31 hembras y 10 machos) nacidas entre enero y marzo de 2017 y 2018, utilizando el procedimiento y dispositivo denominado Fiber Den. El muestreo de las imágenes y de fibras, fue realizado en cada animal en la zona del costillar medio.

Densidad y Diámetro de Fibras

Las imágenes de piel y fibras teñidas fueron utilizadas para el cálculo de la DenFib, DenCond, R_Fib/Cond y porcentaje de conductos pilosos por donde emergen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 fibras (Cond1Fib, Cond2Fib, Cond3Fib, Cond4Fib, Cond5Fib, Cond6Fib, Cond7Fib y Cond8Fib, respectivamente). Los cálculos se realizaron según Quispe y Quispe-Bonilla (2019) considerando el procedimiento del Fiber Den. De este modo, se obtuvieron los promedios de cinco imágenes por zona corporal de cada alpaca. Adicionalmente, la evaluación del DMF, desviación estándar del DMF (DEDMF) y porcentaje de fibras menores a 30 micras (Fib<30mic) fueron realizados mediante el dispositivo denominado FIBER EC de acuerdo con el procedimiento indicado por Quispe-Bonilla *et al.* (2017).

Análisis Estadístico

Los datos correspondientes al Ensayo 1 de DenFib, DenCond, R_Fib/Cond, Cond1Fib, Cond2Fib, Cond3Fib, Cond4Fib, Cond5Fib, Cond6Fib, Cond7Fib y Cond8Fib, DMF, DEDMF y Fib<30mic de cada zona corporal fueron ponderados para obtener los valores promedio de cada animal. Se utilizó estadística descriptiva (promedio, error estándar, mínimo y máximo). Asimismo, se hizo el análisis de correlación de Pearson

entre las variables en estudio, se elaboró un gráfico de puntos y se calculó la ecuación de regresión entre las relaciones de variables que resultaron significativas.

Se aplicó estadística descriptiva a los datos de los ensayos 2 y 3. Además, los datos se sometieron a análisis de correlación de Pearson y de regresión lineal simple, obteniéndose los coeficientes de correlación (r) y de regresión (β_{yx}), con sus respectivas significancias. En forma similar, se elaboraron gráficos de puntos y se obtuvieron las ecuaciones de regresiones por edad de los animales de la DenFib, DenCond y R_Fib/Cond con el PVe, Pvivo, DMF y Fib<30mic.

Los datos del Ensayo 4 fueron analizados mediante análisis de correlación de Pearson y se obtuvieron los coeficientes de correlación y ecuaciones de regresión entre DenFib y DenCond con la media de diámetro de fibra.

Cálculo de Índices de Selección

Se consideró una función objetivo de mejoramiento genético $H = \sum_{i=1}^m Y_i \times a_i$ donde las «Y» son las «m» características de interés y las «a» su importancia económica. Para el presente caso se asume

$$H = 24.35 \frac{\text{US\$}}{\text{kg}} \times \text{PVe} - 4.00 \frac{\text{US\$}}{\text{mic}} \times \text{DMF}$$

según Quispe (2019).

También se consideraron índices de selección $I = \sum_{i=1}^n X_i \times b_i$ donde las «X» son las «n» características medidas y las «b» son las ponderaciones que maximizan la correlación de I con H. Aplicando teoría de índices de selección (Hazel, 1943; Cunningham, 1969) y notación matricial (en negrita) las ponderaciones se obtuvieron como $\mathbf{b} = \mathbf{P}^{-1} \mathbf{G} \mathbf{a}$, donde \mathbf{P} es la matriz de covarianzas fenotípicas entre las X, y \mathbf{G} es la matriz de covarianzas genéticas entre las X y las Y y \mathbf{a} en el vector de ponderaciones económicas. Los parámetros utilizados para construir esas

matrices se presentan en el Cuadro 1. Se tuvo en cuenta que las columnas de $P'G$ son las ponderaciones para los subíndices que permiten calcular el progreso genético en las respectivas Y . Además, la varianza del objetivo es $a'Qa$ (siendo Q la matriz de covarianzas entre las Y) y la varianza del índice es $b'Pb$, mientras que la exactitud del índice es $r_{HI} = \sqrt{a'Qa/b'Pb}$ observando que, en la selección directa: $X = Y$ por lo que la exactitud en ese caso es el conocido valor $h_x = \sqrt{h^2_x}$

Las fórmulas se aplicaron para la construcción y evaluación de cinco índices o escenarios de mediciones disponibles: Escenario 1: PVe y DMF, las mediciones directas de las características en la función objetivo; Escenario 2: DenFib y DMF, cuando hay dificultad para pesar los vellones; Escenario 3: DenFib y DenCond, cuando hay dificultad para pesar los vellones y obtener mediciones de finura; Escenario 4: PVe, DenFib y DenCond, se cuenta con el peso de vellón y el análisis de densidades completo; Escenario 5: DMF, DenFib y DenCond, cuando se cuenta con los análisis de finura y densidades.

Para facilitar la interpretación de los resultados esperados de la selección por los cinco índices se calculó el progreso genético acumulado y beneficio económico acumulado en 10 años en un hato de 100 alpacas que tienen en promedio cuatro partos efectivos en su vida útil, seleccionado con intensidad promedio de 1.5 y con edades promedio al nacimiento de progenie de tres años, tal que el progreso genético en 10 años es el elemento para cada característica de interés (PVe y DMF) (Mueller *et al.*, 2021) del vector $b'G \times \sqrt{b'Pb} \times 10 \times 4 \times 1.5/3$

RESULTADOS

Ensayo 1

El Cuadro 2 muestra los estadísticos de las características evaluadas en este ensayo. Las DenFib, DenCond y R_Fib/Cond encontradas fueron de 27.8 ± 1.5 fib/mm², 13.9 ± 1.2 cond/mm² y 2.1 ± 0.1 , respectivamente. Cond1Fib presentó la mayor presencia ($47.3 \pm 4.0\%$), mientras que Cond6Fib tuvo la menor presencia ($1.0 \pm 0.3\%$). Asimismo, la

Cuadro 1 Parámetros genéticos y fenotípicos del peso de vellón (PVe), diámetro medio de fibra (DMF), densidad de fibras (DenFib) y densidad de conductos (DenCond), asumidos para análisis de a través índices de selección. Correlaciones fenotípicas sobre la diagonal, correlaciones genéticas debajo de la diagonal (en cursiva) y heredabilidades en la diagonal (en negrita)

Variables	Desviación Estándar	PVe	DMF	DenFib	DenCond
PVe (kg)	0.39	0.32	0.25	0.49	0.28
DMF (µm)	1.65	<i>0.39</i>	0.41	-0.50	-0.35
DenFib (N.º fibras/mm ²)	4.69	<i>0.49</i>	<i>-0.50</i>	0.48	0.81
DenCond (N.º conductos pilosos/mm ²)	2.08	<i>0.28</i>	<i>-0.35</i>	<i>0.81</i>	0.53

Desviaciones estándar y correlaciones fenotípicas: obtenidos en el presente trabajo

Heredabilidades de PVe y DMF: Promedio de Cruz *et al.* (2019) y More *et al.* (2018)

Heredabilidades de DenFib y DenCond: Flores (2021)

Correlación genética entre PVe y DMF: Promedio de Gutiérrez *et al.* (2009) y More *et al.* (2018)

Correlaciones genéticas entre DenFib y DenCond con PVe y DMF: No existe información al respecto y se asumieron valores de las respectivas correlaciones fenotípicas

Cuadro 2. Medias \pm error estándar (EE), mínimo (Mín) y máximo /Máx) de variables asociadas a la piel y caracteres productivos de tres ensayos en alpacas Huacaya, criados en Huancavelica (n=número de animales)

Variables	Ensayo 1 n=12		Ensayo 2 n=31		Ensayo 3 n=58	
	Media \pm EE	Mín/Máx	Media \pm EE	Mín/Máx	Media \pm EE	Mín/Máx
Denfib (fib/mm ²)	27.8 \pm 1.5	18.4/60.0	20.1 \pm 1.0	8.8/33.8	20.6 \pm 0.5	13.8/28.8
DenCond (cond/mm ²)	13.9 \pm 1.2	7.6/21.2	6.9 \pm 0.2	3.8/9.6	8.3 \pm 0.2	5.4/11.8
R_Fib/Cond	2.1 \pm 0.1	1.6/2.6	2.9 \pm 0.1	2.2/4.3	2.5 \pm 0.1	2.0/3.2
Conducto con 1 Fib (%)	47.3 \pm 4.0	32.7/66.0	28.6 \pm 1.3	12.1/42.2	27.3 \pm 1.1	10.3/44.0
Conducto con 2 Fib (%)	21.1 \pm 0.9	16.2/27.3	13.0 \pm 1.2	2.9/29.0	16.3 \pm 1.0	2.8/37.5
Conducto con 3 Fib (%)	16.5 \pm 1.7	9.5/29.1	20.2 \pm 1.9	2.7/44.1	38.3 \pm 1.1	17.2/58.6
Conducto con 4 Fib (%)	9.7 \pm 1.5	3.0/16.9	22.8 \pm 1.2	7.5/36.1	16.2 \pm 1.2	2.0/41.7
Conducto con 5 Fib (%)	4.3 \pm 1.0	0.0/10.8	9.8 \pm 1.5	0.0/24.3	1.9 \pm 0.3	0.0/10.5
Conducto con 6 Fib (%)	1.0 \pm 0.3	0.0/3.6	4.7 \pm 1.3	0.0/28.2	0.1 \pm 0.3	0.0/2.3
Conducto con 7 Fib (%)	NE	NE	1.0 \pm 0.4	0.0/6.9	NE	NE
Conducto con 8 Fib (%)	NE	NE	0.1 \pm 0.1	0.0/2.5	NE	NE
DMF (μ m)	22.7 \pm 0.6	20.1/27.8	21.2 \pm 0.4	17.5/26.8	27.2 \pm 0.3	22.0/33.3
Fib<30mic (%)	82.7 \pm 1.7	65.9/88.4	92.3 \pm 1.1	73.5/99.0	71.0 \pm 1.8	30.8/93.5
Peso de vellón (kg)			3.1 \pm 0.1	1.8/4.2	3.5 \pm 0.1	2.0/5.4
Peso vivo (kg)			54.4 \pm 1.6	34.8/73.5	61.6 \pm 1.1	50.4/78.9

NE: No encontrado; R_Fib/Cond: Relación N.º de fibras/conductos; DMF: Diámetro medio de fibra; Fib<30mic: Porcentaje de fibras menores a 30 μ m

presencia de 1, 2 y 3 fibras por conducto piloso (Con1Fib, Cond2Fib y Cond3Fib) representaron cerca del 85%.

DenFib tuvo una relación directa y significativa con DenCond ($r=0.80$), y Fib<30mic (0.66), pero inversa con DMF (-0.66), mientras que la DenCond tiene relación inversa significativa con R_Fib/Cond (-0.77). Otras correlaciones donde se encuentran involucradas DenFib, DenCond y R_Fib/Cond no resultaron significativas (Cuadro 3). Gráficos de la relación entre DenFib con DMF y Fib<30mic se muestran en la Figura 2.

Ensayo 2

Los valores para DenFib, DenCond y R_Fib/Cond fueron de 20.1 \pm 1.0 fib/mm², 6.9 \pm 0.2 cond/mm² y 2.9 \pm 0.10, respectivamente. Asimismo, se encontraron conductos pilosos por donde emigran hasta 8 fibras (1.0 \pm 0.4%), siendo el más abundante Con1Fib (28.6 \pm 1.3%). Sin embargo, Cond1Fib, Cond2Fib, Cond3Fib y Cond4Fib en conjunto ocupan más del 85%, siendo notorio la presencia de Cond4Fib que alcanzan casi la cuarta parte del total de los diferentes tipos de conductos pilosos (Cuadro 2).

Cuadro 3. Coeficientes de correlación de Pearson y p-valores entre características de fibras y piel de alpacas Huacaya, obtenidos en tres ensayos (n=cantidad de animales)

	DenCond	R_Fib/Cond	DMF	DEDMF	Fib<30mic	PVe	Pvivo
Ensayo 1: n=12 alpacas de 1 y 2 años							
DenFib	0.80 <i>0.001</i>	-0.26 <i>0.205</i>	-0.66 <i>0.010</i>	-0.37 <i>0.113</i>	0.66 <i>0.010</i>	--	--
DenCond		-0.77 <i>0.002</i>	-0.34 <i>0.140</i>	-0.34 <i>0.136</i>	0.29 <i>0.173</i>	--	--
R_Fib/Cond			-0.16 <i>0.307</i>	0.12 <i>0.639</i>	0.203 <i>0.264</i>	--	--
DMF				0.43 <i>0.079</i>	-0.977 <i><0.001</i>	--	--
DE_DMF					-0.349 <i>0.133</i>	--	--
Ensayo 2: n=31 alpacas de 1 y 2 años							
DenFib	0.77 <i><0.001</i>	0.78 <i>0.036</i>	-0.59 <i><0.001</i>	-0.26 <i>0.078</i>	0.48 <i>0.003</i>	0.36 <i>0.024</i>	-0.08 <i>0.326</i>
DenCond		0.21 <i>0.874</i>	-0.42 <i>0.019</i>	-0.01 <i>0.479</i>	0.27 <i>0.069</i>	0.12 <i>0.264</i>	-0.08 <i>0.334</i>
R_Fib/Cond			-0.52 <i>0.001</i>	-0.35 <i>0.027</i>	0.48 <i>0.003</i>	0.48 <i>0.003</i>	-0.04 <i>0.426</i>
DMF				0.42 <i>0.009</i>	-0.88 <i><0.001</i>	-0.23 <i>0.895</i>	-0.06 <i>0.626</i>
DE_DMF					-0.75 <i><0.001</i>	-0.13 <i>0.497</i>	-0.04 <i>0.837</i>
Fib<30mic						0.19 <i>0.300</i>	0.04 <i>0.790</i>
PVe							0.49 <i>0.003</i>
Ensayo 3: n=58 alpacas de 1 a 3							
DenFib	0.84 <i><0.001</i>	0.20 <i>0.065</i>	-0.17 <i>0.102</i>	-0.11 <i>0.204</i>	0.12 <i>0.184</i>	0.55 <i><0.001</i>	-0.19 <i>0.078</i>
DenCond		-0.36 <i>0.003</i>	-0.15 <i>0.131</i>	0.05 <i>0.342</i>	0.10 <i>0.220</i>	0.44 <i><0.001</i>	-0.25 <i>0.028</i>
R_Fib/Cond			-0.01 <i>0.481</i>	-0.26 <i>0.027</i>	-0.01 <i>0.490</i>	0.15 <i>0.124</i>	0.17 <i>0.104</i>
DMF				0.34 <i>0.005</i>	-0.97 <i><0.001</i>	0.15 <i>0.130</i>	0.15 <i>0.138</i>
DEDMF					-0.33 <i>0.006</i>	0.02 <i>0.431</i>	0.13 <i>0.160</i>
Fib<30mic						-0.17 <i>0.108</i>	-0.15 <i>0.123</i>
PVe							0.01 <i>0.458</i>

En cada celda: Coeficiente de correlación de Pearson (en la parte superior), y p-valor (en *cursiva* y en la parte inferior). Se resaltan en negrita los coeficientes de correlación significativos estadísticamente

DenFib: Densidad de fibras; DenCond: Densidad de conductos de fibra; R_Fib/Cond: Relación N° de fibras/conductos; Fib<30mic: Porcentaje de fibras menores a 30 µm; DMF: Diámetro medio de fibra; DEDMF: Desviación estándar del DMF; PVe: Peso de vellón sucio

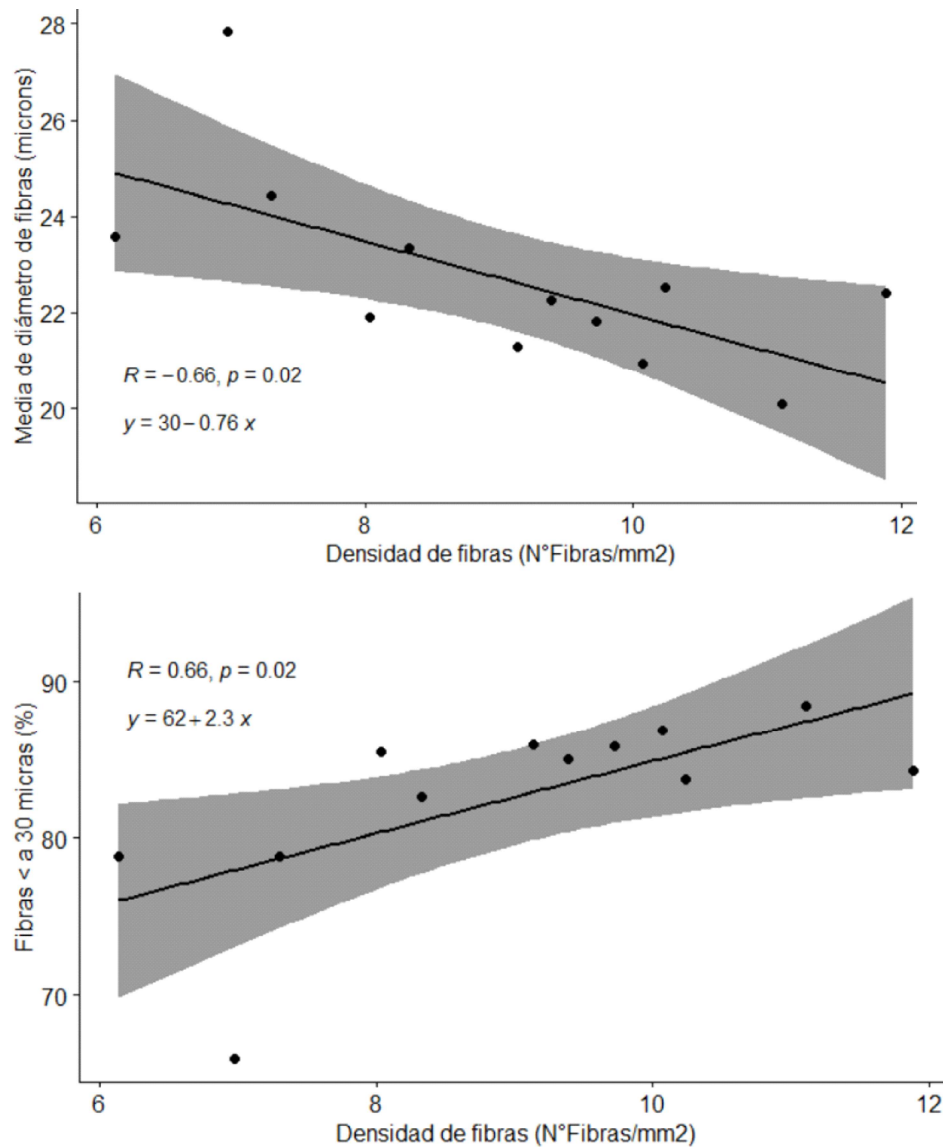


Figura 2. Gráfico de puntos de la densidad de fibras con la media de diámetro de fibra (arriba) y el porcentaje de fibras menores a 30 μm (abajo), obtenidos en el Ensayo 1 (n= 12 alpacas Huacaya) ($r^2= 0.432$ y 0.433 , respectivamente)

Se hallaron relaciones directas y significativas de la DenFib con la DenCon, R_Fib/Cond, Fib<30mic y PVe ($r = 0.77, 0.78, 0.48$ y 0.36 , respectivamente). Asimismo, entre la DenFib con DMF se encontró un r negativo y altamente significativo (-0.59), que indica una relación inversa (Cuadro 3), similar a lo encontrado en el Ensayo 1. En el análisis de regresión de la DenFib, DenCon y R_Fib/

Cond con DMF se obtuvieron $\hat{\alpha}_{yx}$ negativos ($-0.24, -0.75$ y $-2.40 \mu\text{m}$, respectivamente) y altamente significativos, mientras que entre DenFib y Fib<30mic β_{yx} es positiva y significativa (0.54%). Similarmente, al análisis de regresión entre DenFib y R_Fib/Cond con PVe también se obtuvieron β_{yx} positivos (0.04 y 0.59 kg) y significativos ($p\text{-valor} = 0.049$ y 0.006 , respectivamente), aunque entre

Cuadro 4 Coeficientes de regresión, determinación y p-valor, de regresiones lineales simples utilizados entre la densidad de fibras (DenFib), densidad de conductos pilosos (DenCond) y relación N.º de fibras/conductos (R_Fib/Cond), con DMF, Fib<30mic, PVe y peso vivo de alpacas Huacaya en los Ensayos 2 y 3

Relación entre:	Coeficiente de regresión		p-valor		Coeficiente de determinación	
	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 2	Ensayo 3
Densidad de fibras con:						
DMF	-0.24	-0.12	<0.001	0.204	0.25	0.03
Fib<30 µm	0.54	0.45	0.006	0.368	0.23	0.01
Peso vellón	0.04	0.11	0.049	<0.001	0.13	0.30
Peso vivo	-0.14	-0.41	0.65	0.157	0.01	0.03
Densidad de conductos						
DMF	-0.75	-0.25	0.020	0.262	0.17	0.02
Peso vellón	0.06	0.22	0.528	<0.001	0.01	0.20
Relación N.º fibras/conductos						
DMF	-2.40	-0.07	0.003	0.960	0.27	0.01
Peso vellón	0.59	0.46	0.006	0.250	0.23	0.02
DMF y PVe	-0.06	0.04	0.209	0.260	0.05	0.02

Fib<30mic: Porcentaje de fibras menores a 30 µm; DMF: Diámetro medio de fibra

DenCond y PVe el β_{yx} no fue significativo ($p=0.528$, Cuadro 4).

Los resultados del análisis de regresión y correlación, en forma gráfica, de la DenFib con DMF, Fib<30mic, PVe y Pvivo por edades se muestran en la Figura 3. Se observa que en animales de 1 y 2 años, los r y β_{yx} de las relaciones entre DenFib con DMF y Fib<30mic son similares para ambas edades. Sin embargo, al evaluar la correlación entre DenFib y PVe se obtuvo una relación directa y significativa solo para animales de un año ($r=0.59$, $p=0.028$), mientras que entre la DenFib con el Pvivo no existiría una relación lineal en animales de 1 o 2 años, pues los r y β_{yx} no mostraron diferencias significativas.

En la Figura 4 se presenta el gráfico de puntos, los r , su significancia y las ecuaciones de regresión entre la DenCon y R_Fib/Cond con el DMF y PVe. En todos los casos, r y β_{yx} son ligeramente más altos en animales de 1 año, a excepción de la relación de la R_Fib/

Cond con el PVe, ($r=0.65$ y 0.60 , respectivamente), pero en ambos casos resultan significativos ($p=0.005$ y $p=0.023$, respectivamente). Los β_{yx} entre DenCond y R_Fib/Cond con DMF son negativos, indicando una relación inversa (aunque sin significancia estadística de r y β_{yx} para la relación DenCond y DMF en las dos edades). Contrariamente, al analizar la relación DenCon y R_Fib/Cond con PVe, los r y β_{yx} son positivos, indicando una relación directa, a excepción de r y β_{yx} donde la relación entre DenCond y PVe en animales de 2 años no se encontró una relación lineal ($\beta_{yx}=-0.08$ kg, $p=0.107$).

Ensayo 3

Los promedios, valores mínimos y máximos de DenFib y DenCond, R_Fib/Cond, DMF y el PVe son ligeramente más altos a los obtenidos en el Ensayo 2, exceptuando los valores de R_Fib/Cond que fueron más

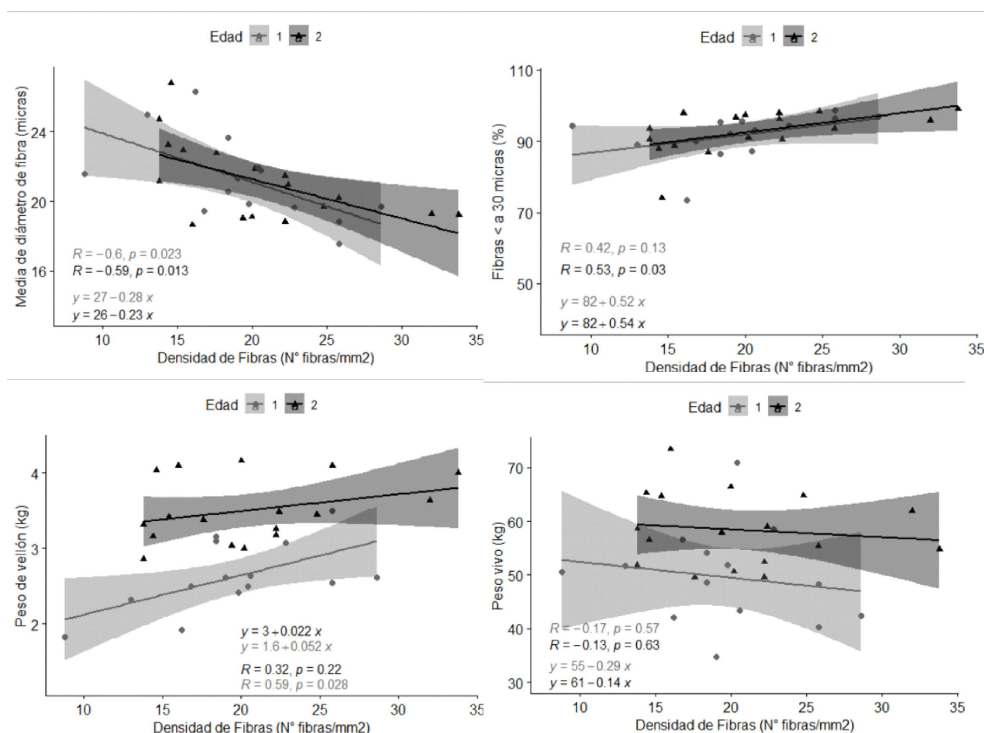


Figura 3. Gráfico de puntos por edad (1 y 2 años) mostrando las relaciones entre la densidad de fibras con la media de diámetro de fibra, fibras <30 μm , peso de vellón y peso vivo del Ensayo 2 (n= 31 alpacas Huacaya). También se muestran los coeficientes de correlación de Pearson y su significancia, así como las ecuaciones de regresión simple

bajos. Asimismo, la máxima cantidad de fibras que emigran de un conducto piloso fue de 6 fibras, encontrándose que los conductos pilosos con 3, 1 y 2 fibras son los que predominan (38.3, 27.3 y 16.3%, respectivamente), que en conjunto involucran a más del 80% de los conductos pilosos. Por otro lado, aquellos de donde emigran 6 y 5 fibras son los más escasos (0.1 y 1.9%, respectivamente).

Se encontraron relaciones directas entre la DenFib con DenCond y PVe ($r=0.84$ y $r=0.55$, respectivamente), mientras que no existiría relación lineal entre la DenFib con las demás variables, pues, aunque los r son negativos (con el DMF, DEDMF y PVe) o positivos (con R_Fib/Cond y Fib<30mic), no revelan significancia estadística. De otro lado, existe una relación inversa entre la DenCond con el R_Fib/Cond y Pvivo, con r negativos y

significativos, mientras que relación entre la DenCond con PVe es directa, con un r positivo y significativo. Por otro lado, no hay una relación lineal entre la DenCond con las demás variables (r bajos y no significativos). Otras r significativas se encontraron entre DMF con DEDMF y Fib<30mic ($r=0.34$ y -0.97), R_Fib/Cond con DEDMF ($r=-0.26$), y DEDMF con Fib<30mic ($r=-0.33$) (Cuadro 3).

Los análisis de regresión de la DenFib y DenCon con el PVe complementan la existencia de relación directa entre ellos ($\beta_{yx} = 0.11$ y 0.22 kg); sin embargo, con el DMF, aunque se encontraron β_{yx} negativos ($\beta_{yx} = -0.12$ y -0.25 μm . respectivamente), no resultaron significativos ($p = 0.204$ y 0.262 , respectivamente). Tampoco se encontró una relación lineal entre el R_Fib/Cond con el DMF y PVe (Cuadro 4).

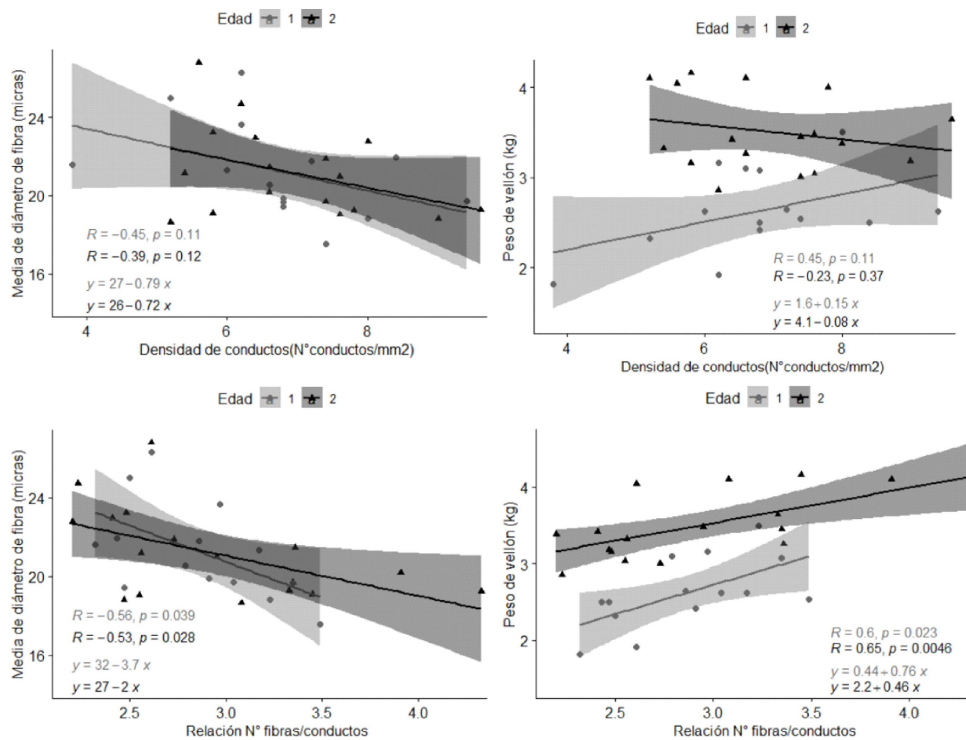


Figura 4. Gráfico de puntos por edad (1 y 2 años) mostrando las relaciones entre la Densidad de conductos y relación N.º de fibras/conductos con la media de diámetro de fibra y peso de vellón del Ensayo 2 (n= 31 alpacas Huacaya). También se muestran los coeficientes de correlación de Pearson y su significancia, así como las ecuaciones de regresión simple

En la Figura 5 se muestran los gráficos de puntos de las relaciones entre DenFib y DenCon con el DMF y PVcon sus respectivos r y β_{yx} . En los animales de 1, 2 y 3 años no existe una relación lineal significativa entre la DenFib y DenCond con el DMF ($p > 0.05$). Sin embargo, las relaciones entre DenFib y DenCond con el PVe fueron directas y significativas en animales de 1 año ($r = 0.97$ y $r = 0.99$, respectivamente), disminuyendo la fuerza de dichas relaciones en animales de 2 años ($r = 0.65$ y $r = 0.51$, respectivamente), pero mostrando también ser significativas. No obstante, en animales de 3 años no hubo relación lineal significativa entre estas variables.

Ensayo 4

En la Figura 6 se muestran gráficos de puntos, r y las ecuaciones de regresión entre la DenFib, DenCon y R_Fib/Cond con el DMF. Se observa una fuerte relación inversa entre la DenFib y DenCon con el DMF ($r = -0.6$ y $r = -0.5$; $\beta_{yx} = -0.21$ y $-0.57 \mu\text{m}$, respectivamente). No hubo una relación significativa entre R_Fib/Cond y DMF. De otro lado, los r y β_{yx} resultaron ser muy bajos y no significativos entre DenFib, DenCon y R_Fib/Cond con el PVe.

Densidad de fibras y conductos pilosos como criterios de selección

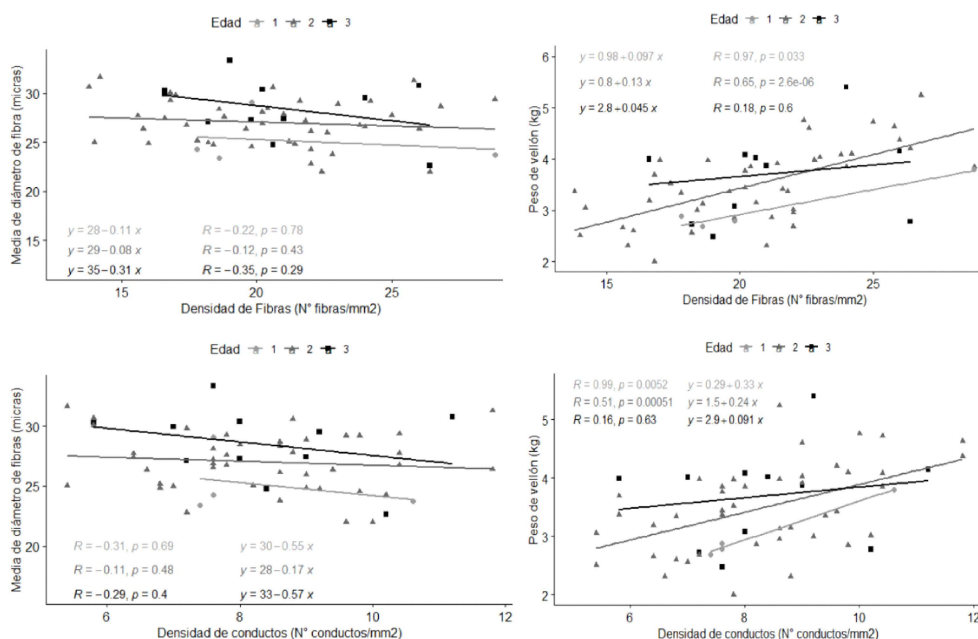


Figura 5. Gráfico de puntos por edad (1, 2 y 3 años) mostrando las relaciones entre la Densidad de fibras y conductos con la media de diámetro de fibra y peso de vellón del Ensayo 3 (n= 58 alpacas Huacaya). También se muestran los coeficientes de correlación de Pearson y su significancia, así como las ecuaciones de regresión simple.

Cuadro 5. Evaluación de índices de selección bajo cuatro escenarios de uso de densidades de fibra (DenFib) y densidades de conductos pilosos (DenCon) como alternativa al índice de selección directa por peso de vellón (PVe) y diámetro medio de fibra (DMF) en alpacas Huacaya

Escenario	Índice de selección	Exactitud	Progreso genético ⁽¹⁾		Cambio genético en 10 años ⁽²⁾		Beneficio económico ⁽³⁾	Beneficio relativo ⁽⁴⁾
			PVe	DMF	PVe	DMF		
1	6.71 x PVe -1.23 x DMF	0.53	0.08	-0.27	0.38	-1.33	36.10	1.00
2	0.74 x DenFib +0.22 x DMF	0.61	0.08	-0.31	0.42	-1.56	41.37	1.15
3	0.94 x DenFib -0.65 x DensCon	0.63	0.08	-0.37	0.39	-1.85	42.38	1.17
4	1.29 x PVe + 0.86 x DensFib -0.57 x DensCon	0.63	0.09	-0.30	0.45	-1.52	42.72	1.18
5	0.28 x DMF + 1.0 x DensFib - 0.69 x DensCon	0.63	0.09	-0.30	0.46	-1.50	42.68	1.18

⁽¹⁾ Progreso genético por generación y unidad de desvío estándar del índice

⁽²⁾ Cambio genético acumulado en cada alpaca al cabo de 10 años de selección con intensidad de 1.5 y un intervalo generacional de 3 años

⁽³⁾ Beneficio económico adicional en un hato de 100 alpacas

⁽⁴⁾ Beneficio económico relativo al escenario 1

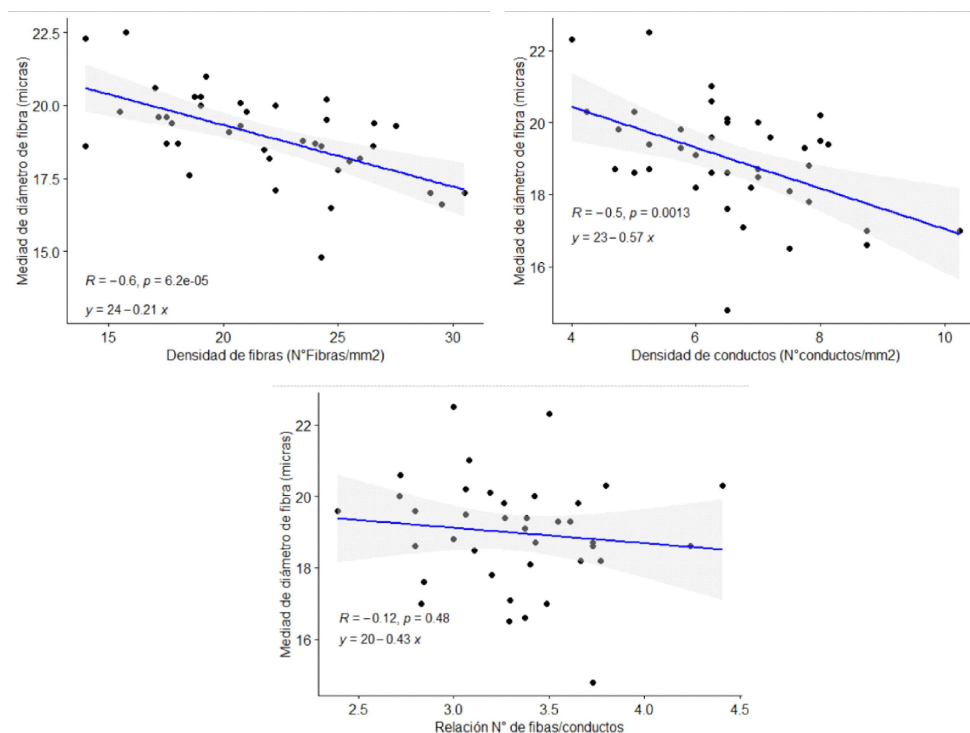


Figura 6. Gráfico de puntos mostrando las relaciones entre la densidad de fibras, de conductos y relación N.º de fibras/conductos con la media de diámetro de fibra, del Ensayo 4 (n=41 alpacas). También se muestran los coeficientes de correlación de Pearson y su significancia, así como las ecuaciones de regresión simple

Índices de Selección, Exactitud y Progreso Genético

Los índices de selección que incluyen DenFib y DenCond (Escenario 2), con o sin PVe o DMF (Escenarios 3, 4 y 5) como criterios de selección, tienen mayor exactitud (r_{HI}) y por consiguiente generan mayores progresos genéticos y mayores beneficios económicos que la selección por el índice con las mediciones directas de PVe y DMF (Escenario 1). Las ventajas en unidades monetarias son del 15 al 18% (Cuadro 5). Asimismo, considerando un hato de 100 alpacas y un periodo de evaluación de 10 años, en el Escenario 1, el DMF se lograría disminuir apenas en 1.33 μm y el PVe aumentaría 0.38 kg. Sin embargo, en los demás escenarios, se lo-

gra disminuir el DMF (-1.85 μm en el escenario 3) y aumentar el PVe aún más (0.46 kg, en el escenario 5).

DISCUSIÓN

Los promedios de DenFib, DenCond y $R_{\text{Fib/Cond}}$ de los cuatro ensayos, son similares o muy cercanos a los valores reportados por Quispe y Quispe-Bonilla (2019), Centeno (2020), Ccalta (2020), Flores (2021), Canaza-Cayo *et al.* (2021) y Quina (2022), para DenFib, DenCond y $R_{\text{Fib/Cond}}$ de 19.4 y 29.5 fib/mm², 8.2 y 10.0 cond/mm², y 2.4 y 3.0 fib/cond. Asimismo, se encontraría cerca al rango encontrado por Moore *et al.* (2011), quienes obtuvieron densidades entre 21.0 y

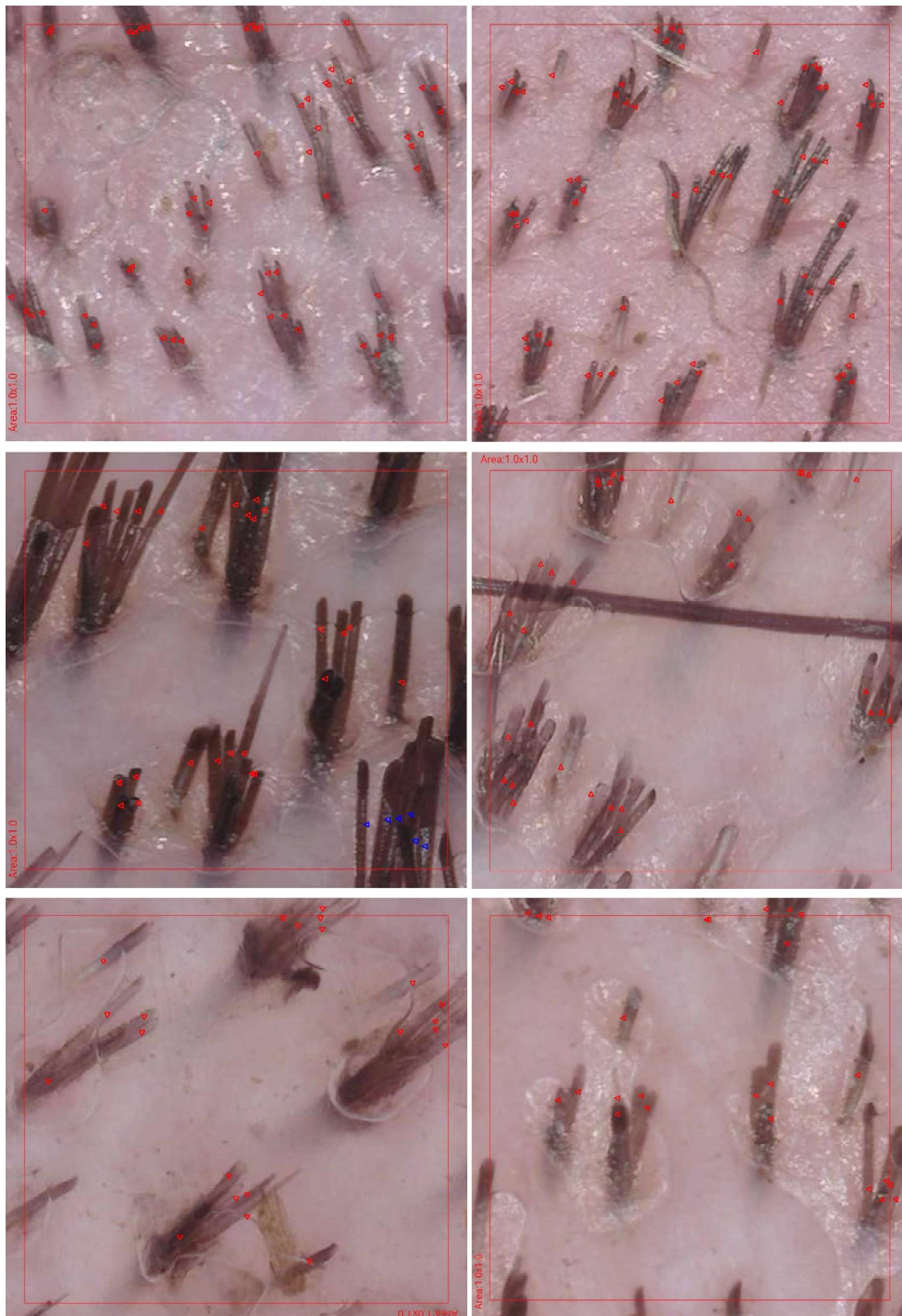


Figura 7. Vistas fotográficas de fibras emergiendo a través de los conductos pilosos en piel de alpacas. Arriba se observa alta densidad de fibras (entre 57 y 60 fibras/mm²), en el medio densidades medias (entre 31 y 32 fibras/mm²) y abajo, bajas densidades (entre 21 y 22 fibras/mm²)

62.0 fib/mm² al evaluar pieles de alpacas sacrificadas.

Tal como se puede ver en la Figura 7, es notoria la existencia de alpacas con alta DenFib y DenCond (60.0 fib/mm² y 21.2 cond/mm²), pero también con baja DenFib (8.8 fib/mm² y 3.8 cond/mm²), lo que indica la enorme variabilidad en torno a este variable. Esto lo hace un buen indicador para poder encontrar altas ganacias genéticas ante una posible selección por estas características, pues la varianza tiene relación directa con el progreso genético (Bourdon, 2000). De otro lado, el alto porcentaje de Cond1Fib, Cond2Fib y Cond3Fib encontrado fue similar al hallado por Quispe y Quispe-Bonilla (2019), quienes reportan que estos tres tipos de conductos alcanzan cerca del 85% del total de tipos de conductos pilosos. Sin embargo, el hallazgo de Con8Fib es novedoso, pues Quispe y Quispe-Bonilla (2019) solo lograron encontrar fibras hasta Cond6Fib.

Los r y β_{yx} negativos y significativos ($p < 0.05$) entre DenFib con DMF en los cuatro ensayos (r no fue significativo en el ensayo 3) confirma que entre ambas variables existe una relación inversa, indicando que al seleccionar animales por alta DenFib indirectamente se estaría mejorando la finura de la fibra de las alpacas. De este modo, con base al β_{yx} , se puede deducir que por cada incremento en una unidad de la DenFib se estaría disminuyendo el DMF entre 0.24 y 0.12 μm . Similares relaciones encontradas entre la DenCond y R_Den/Cond con el DMF posibilitan también que estas variables tengan una influencia en la mejora de la finura de la fibra.

El haber encontrado r y β_{yx} positivos y significativos entre la DenFib con el PVe en los ensayos 2 y 3, confirma una relación directa entre estas variables, indicando que al seleccionar por alta DenFib, también se incrementaría el PVe de las alpacas. Así, según el β_{yx} , se puede deducir que al incrementarse la DenFib en una unidad se estaría

incrementando el PVe entre 40 y 110 g en una generación. Similares relaciones encontradas entre la DenCond y R_Den/Cond con el PVe posibilitan también a estas variables tener una influencia en la mejora del PVe. Asimismo, ante el hallazgo de una posible relación directa entre la DenFib, DenCon con el Fib<30mic, así como una relación inversa con la DEDMF, la selección de alpacas por mayor DenFib permitiría incrementar el Fib<30mic y a la vez disminuir la DEDMF, con lo cual el uso de la DenFib y DenCon como criterio de selección permitiría mejorar la calidad de la fibra de alpacas.

Entre DenFib, DenCon y R_Fib/Cond, la primera característica es la que mejor se relaciona en forma inversa con el DMF, según se demuestra en los cuatro ensayos (excepto en el ensayo 3). De otro lado, en animales de 1 año se encuentran las correlaciones negativas más altas entre DenFib y DMF, seguida por la de 2 años (a excepción del ensayo 3). Asimismo, en los ensayos que se registró el PVe se encontró que la DenFib fue la que tuvo una mejor relación directa (r y β_{yx} positivos y altamente significativos) en animales de todas las edades. En ovinos Merino de la Patagonia se encontró que por cada micra de incremento del DMF se disminuye 140 g en el vellón (Mueller, 2001); mientras que Wuliji (2017), trabajando con alpacas en Missouri, EEUU, encontró que, por cada micra de disminución en el DFM, el PVe disminuyó en 520 g por vellón.

La DenCond, después de la DenFib, también puede ser considerada como novedoso criterio de selección para mejorar la finura y peso de los vellones en alpacas. En todos los ensayos se obtuvieron r y β_{yx} negativas entre la DenCond con el DMF, mientras que con el PVe fueron positivas (aunque no significativo en el ensayo 2) en todas las edades. No obstante, las correlaciones son menores a las relaciones entre DenFib con PVe. Por otro lado, considerar a R_Fib/Cond como criterio de selección sería inseguro, pues, la correlación negativa con el DMF solo

fue significativa en el ensayo 2. Incluso, solo en el ensayo 2 resultó significativo cuando se relaciona con el PVe, y peor aún en el ensayo 4 tuvo una relación negativa.

El mejor momento para seleccionar a los animales por DenFib, DenCond y R_Fib/Cond sería al año, dado que las relaciones con el DMF y PVe son más fuertes y de comportamiento muy similar al de ovinos (Madsen *et al.*, 1941; Hardy y Wolf, 1946; McFadden y Neale, 1954; D'arcy, 1990). Estas relaciones pueden alterarse a mayor edad debido que con el crecimiento del animal existe también un incremento de superficie de la piel (Salehi *et al.*, 2014), lo cual afecta a la densidad folicular en cabras (Carro *et al.*, 2010; McGregor *et al.*, 2012) y llamas (Curasma y Rodríguez, 2016), de allí que si se considera que de cada folículo emigra una fibra (Nagorecka *et al.*, 1995), también afectaría la DenFib, DenCond y R_Fib/Cond. En alpacas también se ha encontrado que la densidad de los folículos pilosos disminuye con el incremento del área de la piel, producto del crecimiento de los animales (Antonini *et al.*, 2004).

Las correlaciones entre las densidades (DensFib y DensCon) y las características de interés comercial (PVe y DMF) como las regresiones de esas densidades sobre esas características del presente estudio son fenotípicas. Sin embargo, en los programas de selección se requiere identificar animales que transmiten su mérito a la descendencia por lo que los parámetros de interés son las correlaciones y regresiones genéticas, aquellas que se observan entre padres y progenie, pues con ellas es posible calcular los cambios esperados en la progenie de los animales seleccionados. Para estimar esos parámetros genéticos con precisión se necesitan bases de datos y genealogía que para DenFib y DenCond en alpacas todavía no se disponen, a excepción del trabajo de Flores (2021).

Los resultados obtenidos en torno al análisis de índices de selección, el uso de la DenFib y DenCond como criterios de selección, indican ser mejores en exactitud, progreso genético y retorno económico comparado con índices basados en PVe y DMF; sin embargo, utilizando adicionalmente a las densidades, el PVe o DMF, los indicadores de exactitud, progreso genético y retorno económico mejoran aún más. En todo caso, se requiere confirmar las correlaciones genéticas y heredabilidades de la DenFib y DenCond asumidas en estos cálculos.

Actualmente, el DMF es una característica que puede ser evaluada fácilmente, pues se cuentan con numerosos equipos de medición en diferentes centros de producción y los precios de evaluación son asequibles, y también es uno de los factores de gran importancia en la determinación de la calidad de la fibra; por lo tanto, constituye un buen criterio de selección. Sin embargo, el PVe, no resulta tan fácil de registrar en forma uniforme para efectos de comparación, pues en la gran mayoría de las unidades productivas, las alpacas son esquiladas en dos momentos del año; asimismo, en muchos lugares desestiman los pedazos de los vellones, utilizan diferentes métodos de esquila (mecánica, con tijera), y el vellón sucio está sujeto al efecto de la forma y lugar de crianza de los animales, por lo que no constituiría un buen criterio de selección. Bajo estas consideraciones, el escenario donde se considera el DMF, DenFib y DenCond, sería el mejor debido a su buena exactitud y progreso genético, entre otros.

CONCLUSIONES

- La DenFib, DenCond y R_Fib/Cond podrían ser considerados como criterios de selección dentro de un programa de mejoramiento genético de alpacas que tengan como objetivo mejorar la calidad y cantidad de fibras.

- La DenFib, DenCond y R_Fib/Cond tienen relación inversa con el PVe y directa con el DMF, de modo que podría producir respuestas correlacionadas para ambas variables.
- La inclusión de la DenFib y DenCond como criterios de selección dentro de un índice de selección, mejorarían la exactitud y por tanto se obtendrían mayores progresos genéticos con mejores beneficios económicos, que cuando se utilizan el PVe y DMF, solamente.

LITERATURA CITADA

1. **Antonini M, Gonzales M, Valbonesi A. 2004.** Relationship between age and postnatal skin follicular development in three types of South American domestic camelids. *Livest Prod Sci* 90: 241-246. doi: 10.1016/j.livprodsci.2004.06.001
2. **Asadi F, Van der Werf JH, Swan A. 2007.** Inclusion of skin follicle traits in selection indices in breeding programs improves genetic gain in Australian fine-wool Merinos. *Aust J Agr Res* 58: 921-927. doi: 10.1071/AR06347
3. **Bourdon R. 2000.** Understanding animal breeding. 2nd ed. New Jersey, USA: Prentice-Hall. 538 p.
4. **Canaza-Cayo A, Málaga-Apaza J, Rodríguez-Huanca F, Centeno-Soncco A. 2021.** Assessment of fiber and duct densities in colored huacaya alpacas from Peru. *Ann Rom Soc Cell Biol* 25: 21056-21061.
5. **Candío J, Gutiérrez G. 2021.** Objetivos de selección para la crianza de alpacas Huacaya bajo dos escenarios económicos en la Sierra Central del Perú. *Ecol Apl* 20: 113-125.
6. **Carro N, Debenedetty S, Taddeo H. 2010.** Efecto de la edad sobre la población de folículos pilos y su relación con características de mohair en caprinos de Angro. *InVet* 12: 161-172.
7. **Ccalta A. 2020.** Determinación del índice folicular y densidad de fibra de alpacas Huacaya del Centro de Investigación de Camélidos Sudamericanos - La Raya. Cusco, Perú: Tesis de Ingeniero Zootecnista. Cusco, Perú: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. 92 p.
8. **Centeno A. 2020.** Evaluación de densidad de fibra, densidad de conductos pilosos en alpacas Huacaya de color del Centro Experimental La Raya - UNA - Puno. Puno, Perú: Tesis de Médico Veterinario y Zootecnista. Puno, Perú: Univ. Nacional del Altiplano. 57 p.
9. **Crossley J, Borroni C, Raggi A. 2014.** Correlation between mean fibre diameter and total follicle density in alpacas of differing age and colour in the Parinacota province of the Chilean high plain. *J Appl Anim Res* 42: 27-31. doi: 10.1080/09712119.2013.795899
10. **Cruz A, Morante R, Gutiérrez J, Torres R, Burgos A, Cervantes I. 2019.** Genetic parameters for medullated fiber and its relationship with other productive traits in alpacas. *Anim* 13: 1358-1364. doi: 10.1017/S1751731118003282
11. **Cunningham E. 1969.** The relative efficiencies of selection indexes. *Acta Agr Scand* 19: 45-48. doi: 10.1080/00015126909433180
12. **Curasma J, Rodríguez J. 2016.** Efecto de la edad sobre la densidad folicular en llamas del Centro de Investigación y Desarrollo de Camélidos Sudamericanos - Lachocc. Huancavelica, Perú: Tesis de Ingeniero Zootecnista. Huancavelica, Perú: Univ. Nacional de Huancavelica. 61 p.
13. **D'arcy J. 1990.** Sheep management and wool technology. New South Wales, Australia: New South Wales University Press. 352 p.
14. **Flores V. 2021.** Estimación de heredabilidad y correlación genética para densidad de fibra y conductos pilosos en alpacas del Centro de Desarrollo alpa-

- quero Tocra CEDAT - DESCO del departamento de Arequipa. Puno, Perú: Tesis de Maestría. Puno, Perú: Univ. Nacional del Altiplano. 76 p.
15. **Gutiérrez J, Goyache F, Burgos A, Cervantes I. 2009.** Genetic analysis of six production traits in Peruvian alpacas. *Livest Sci* 123: 193-197. doi: 10.1016/j.livsci.2008.11.006
 16. **Hardy J, Wolf H. 1946.** A comparison of the wira type density caliper with the electric density clipper. *J Anim Sci* 5: 378-381.
 17. **Hazel L. 1943.** The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics* 28: 476-490. doi: 10.1093/genetics/28.6.476
 18. **Kemphorne O, Nordskog A. 1959.** Restricted selection indices. *Biometrics* 15: 10-19. doi: 10.2307/2527598
 19. **Kondo K, Vanek M, Rasmussen P, Blomstedt L. 2001.** The beauty of mink pelage observed with SEM. *J Grad Sch Agric Hokkaido Univ* 70: 1-8.
 20. **León-Velarde C, Guerrero J. 2001.** Improving quantity and quality of alpaca fiber: using a simulation model for breeding strategies. In: Proc SAAD-III Third International Symposium on Systems Approaches for Agricultural Development. Lima, Perú.
 21. **Maddocks I, Jackson N, Nay T. 1988.** Structural studies of sheep, cattle and goat. Blacktown, NSW, Australia: CSIRO Division of Animal Production. 76 p.
 22. **Madsen M, Philips R, Christensen J, Henrie R. 1941.** Comparison of two methods of determining wool density. *UAES Bulletins*, Paper 257.
 23. **Matthews D. 1951.** An evaluation of wool density sampling procedures when using the wira fleece caliper. Utha, USA: MSci Thesis. USA: Utah State Agricultural College. 43 p.
 24. **McFadden W, Neale P. 1954.** A meter for studying quantitative wool differences among sheep. *J Anim Sci* 13: 229-233. doi: 10.2527/jas1954.131229x
 25. **McGregor B. 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
 26. **McGregor B, Butler K, Ferguson M. 2012.** The allometric relationship between mean fibre diameter of mohair and the fleece-free live weight of Angora goats over their lifetime. *Anim Prod Sci* 52: 35-43. doi: 10.1071/AN11086
 27. **Moore K, Blache D, Maloney S. 2011.** Fibre diameter and insulation in alpacas: the biophysical implications. *Small Ruminant Res* 96: 165-172. doi: 10.1016/j.smallrumres.2011.01.012
 28. **More M, Ponce D, Vivanco W, Gutiérrez G. 2018.** Genetic parameters for fleece weight and fibre characteristics in Huacaya alpacas. In: Proc World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. Auckland, New Zealand.
 29. **Mueller J. 2001.** Relación fenotípica del diámetro de fibras de lana con pesos corporales y con caracteres de la lana en ovino Merino de la Patagonia. *Comunicación Técnica INTA Bariloche* 393. 9 p.
 30. **Mueller J. 2008.** Estrategias para el mejoramiento de camélidos sudamericanos. En Quispe E (ed). *Actualidades sobre adaptación, producción, reproducción y mejora genética en camélidos*. Huancayo, Perú: Edición Gráfica Industrial. p 113-124.
 31. **Mueller J, Getachew T, Rischkowsky B, Haile A. 2021.** Guideline to define breeding objective functions, construct selection indexes and deal with uncertain sires in sheep and goat breeding programmes. Addis Ababa, Ethiopia: ICARDA. [Internet]. Available in: <https://repo-mel.cgiar.org/handle/20.500.11766/66419>
 32. **Nagorcka B, Dollin AH, Beaton AE. 1995.** A technique to quantify and characterize the density of fibres and follicles in the skin of sheep. *Aust J Agric Res*, 46: 1525-1534.

33. **Oruna E. 2016.** Caracterización histológica de la piel en crias de alpaca (*Vicugna pacos*) del Centro de Investigación y Desarrollo de camélidos sudamericano - Lachocc. Tesis de Ingeniero Zootecnias. Trujillo, Perú: Univ. Nacional de Trujillo.
34. **Quina Y. 2022.** Evaluación de densidad de fibra y densidad de conductos pilosos en alpacas del Centro de Desarrollo Alpaquero Toccra, Yanque, Caylloma - Arequipa. Puno, Perú: Tesis de Maestría. Puno, Perú: Univ. Nacional del Altiplano. 45 p.
35. **Quispe E. 2010.** Estimación del progreso genético bajo un esquema de selección planteado en alpacas (*Vicugna pacos*) Huacaya en la región altoandina de Huancavelica. Lima, Perú: Tesis Doctoral. Lima, Perú: Univ. Nacional Agraria La Molina. 159 p.
36. **Quispe E, Quispe-Bonilla M. 2019.** Método no invasivo para determinar densidad y haces de fibras en piel de animales vivos. Arch Zootec 68: 74-81. doi: 10.21071/az.v68i261.3942
37. **Quispe E, 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. doi: 10.4321/S0004-05922009000400008
38. **Quispe E, Paúcar R, Poma A, Flores A, Alfonso L. 2011.** Comparison of different breeding strategies to improve alpaca fibre production in a low-input production system. En: Perez-Cabal M, Gutiérrez J, Cervantes I, Alcalde M (eds). Fibre production in South American camelids and other fibre animals. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Academic Publishers. p 111-121.
39. **Quispe-Bonilla M, Benavidez G, Sauri R, Bengoechea J, Quispe E. 2017.** Development and preliminary validation of an automatic digital analysis system for animal fibre analysis. S Afr J Anim Sci 47: 822-833. doi: 10.4314/sajas.v47i6.10
40. **Salehi M, Kadim I, Mahgoub O, Neganhdari S, Eshragui Naeeni R. 2014.** Effects of type, sex and age on goat skin and leather characteristics. Anim Prod Sci 7: 638-644. doi: 10.1071/AN13032
41. **Sinclair R, Jolliffe V. 2013.** Fast facts: disorders of the hair and scalp. Health Press Ltd. 2nd ed. Oxford, UK. 136 p. In: <https://www.karger.com/Book/Home/277584>
42. **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.
43. **Wuliji T, Davis G, Doods K, Turner P, Andrews R, Bruce G 2000.** Production performance, repeatability and heritability estimates for live weight, fleece weight and fiber characteristics of alpacas in New Zealand. Small Ruminant Res 189-201. doi: 10.1016/s0921-4488(00)00127-9