

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA DE ALPACAS (*Vicugna pacos* Linnaeus, 1758), CRIADAS EN TRES LOCALIDADES GEOGRÁFICAS DE CHILE

PRELIMINARY EVALUATION OF THE FIBER CHARACTERISTICS OF ALPACAS (*Vicugna pacos* Linnaeus, 1758) RAISED IN THREE GEOGRAPHICAL LOCATIONS IN CHILE

Giorgio Castellaro^{1*}, Benito González², Daniel Cartes³, María H. De La Garza⁴, Natalia Pavez⁵ y Luis Alberto Raggi⁵

¹ Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile
<https://orcid.org/0000-0003-0106-560X>

² Departamento Gestión Forestal y su Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Forestales y de Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile
<https://orcid.org/0000-0002-0039-5722>

³ Departamento Ciencias Clínicas, Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, Universidad de Chile
<http://orcid.org/0000-0002-5527-993X>

⁴ Quintessence Alpacas, Llay-Llay, Valparaíso, Chile
<https://www.quintessencealpacas.com>

⁵ Departamento de Ciencias Biológicas Animales, Laboratorio de Lanimetría, Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, Universidad de Chile
<https://orcid.org/0000-0001-5908-8543>

* Autor para correspondencia gicastel@uchile.cl

RESUMEN

La fibra de alpaca es altamente valorada por su finura, suavidad y capacidad aislante, características que pueden variar según el entorno de crianza. El objetivo del estudio fue comparar las características de la fibra de alpaca en tres localidades de Chile: Guallatire y Visviri, en el altiplano del extremo norte, y Llay-Llay, en la zona central. Se analizaron muestras de fibra de 283 alpacas mediante el Optical Fibre Diameter Analyzer (OFDA 2000), para evaluar el diámetro medio de la fibra (DMF, μm), el coeficiente de variación del diámetro (CVD, %) y el factor de confort (FC, %). Estas variables fueron sometidas a un análisis de varianza, el cual fue resuelto mediante un modelo lineal generalizado, utilizando el software Statgraphics Centurión XVI®. Los resultados observados muestran que el DMF fue influenciado por la procedencia, categoría etaria y color; las fibras obtenidas en la zona central del país, provenientes de crías de color blanco, tuvieron un menor diámetro. El CVD fue influenciado por el color; las fibras de colores, especialmente del altiplano, tuvieron una mayor dispersión. El FC fue influenciado por la procedencia y la categoría etaria; las fibras de las crías de la zona central tuvieron un mayor y significativo porcentaje de fibras con un diámetro de 30 μm o menos. Estos hallazgos resaltan la importancia del entorno y el manejo en las características de la fibra de alpaca en tres ambientes contrastantes de Chile.

Palabras clave: Alpaca, características lanimétricas, fibras animales, altiplano.

ABSTRACT

Alpaca fiber is highly valued for its fineness, softness, and insulating capacity, which can vary depending on the breeding environment. This study aimed to compare the characteristics of alpaca fiber in three locations in Chile: Guallatire and Visviri, in the far northern highlands (Altiplano), and Llay-Llay, in the central zone. Fiber samples from 283 alpacas were analyzed using the Optical Fiber Diameter Analyzer (OFDA 2000) to evaluate the mean fiber diameter (DMF, μm), the coefficient of variation of diameter (CVD, %), and the comfort factor (FC, %). These variables were subjected to an analysis of variance (ANOVA), which was solved by a generalized linear model, using the Statgraphics Centurion XVI® software. Results show that the DMF was affected by origin, age category, and color; the fibers obtained in the central zone from white offsprings had a smaller diameter. CVD was influenced by color; color fibers, especially those obtained in the highlands, had a greater dispersion. The FC was influenced by origin and age category; fibers from offsprings in the central zone had a higher and significant percentage of fibers with a diameter of 30 μm or less. These findings highlight the importance of environment and management on alpaca fiber characteristics in three contrasting environments in Chile.

Keywords: Alpaca, fiber characteristics, animal fibers, Chilean altiplano.

INTRODUCCIÓN

La fibra de alpaca es altamente valorada en la industria textil debido a su excepcional suavidad, resistencia y propiedades térmicas, lo que la posiciona como una alternativa sostenible y de alta calidad frente a otras fibras animales (Gandarillas et al., 2022). Su demanda ha impulsado numerosas investigaciones sobre los factores que determinan su calidad, entre los cuales destacan la genética, la edad, el sexo y el color de la fibra (Simbaina y Raggi, 2019; Anello et al., 2022), y también el efecto de las condiciones ambientales en las que se desarrolla el animal (Pinares et al., 2023; Pinares y Quispe, 2024).

A nivel individual, la genética juega un papel fundamental en el diámetro, el factor de confort, el coeficiente de variación del diámetro, uniformidad y longitud del vellón, características determinantes en la calidad textil (Anello et al., 2022). Asimismo, la edad influye en la estructura de la fibra, ya que las alpacas jóvenes producen fibras más finas y homogéneas, mientras que, en animales de mayor edad, el diámetro de la fibra aumenta, reduciendo su valor comercial (Crossley et al., 2014; Simbaina y Raggi, 2019). El color del vellón influye sobre el diámetro de la fibra, ya que animales de colores más claros muestran fibras más finas y fáciles de teñir que fibras de color oscuro (Lupton et al., 2006; Machaca et al., 2017; Radzik-Rant y Wiercińska, 2021). Pese a esto, una mayor demanda de los consumidores de productos naturales y ecológicos, han vuelto más atractiva a las fibras de colores naturales (Pinares et al., 2023).

En el caso del sexo de los animales, esta variable parece no afectar las características de la fibra de las alpacas (Lupton et al., 2006; Quispe

et al., 2021; Simbaina y Raggi, 2019), tal como se ha reportado en el caso de los machos ovinos (Nazari-Zenouz et al., 2018). Las condiciones ambientales son igualmente determinantes en la calidad de la fibra. Diferencias en el diámetro y tasa de crecimiento anual de la fibra se han visto influenciadas indirectamente por las precipitaciones y la disponibilidad de pastizales (Quispe et al., 2021; Olarte, 2022). Bajo pastoreo en pastizales de mayor disponibilidad y calidad nutricional, se ha observado un incremento en la condición corporal, observándose fibras más largas, mayor diámetro y finura de hilado, mientras que un menor puntaje de condición corporal se asoció con un mayor factor de confort y curvatura de la fibra (Pacheco et al., 2024).

En Chile, la producción de fibra de alpaca se desarrolla en zonas agroclimáticas diversas. En el extremo norte del país se concentra la mayor parte de la población de alpacas, con un 62,5%, en la región de Arica y Parinacota y un 16,5 % en la región de Tarapacá (INE, 2021). En estas regiones la crianza de las alpacas se lleva a cabo en el altiplano, con pastoreo extensivo en pastizales naturales de baja calidad nutricional, las que se componen principalmente de los denominados "pajonales" que crecen en suelos de escaso desarrollo, y los pastizales hídricos que se desarrollan comúnmente sobre suelos orgánicos hidromórficos ("bofedales"), ubicados en depresiones (USDA, 2006). Asimismo, la crianza de alpacas en estas zonas es compartida fuertemente con la crianza de llamas e híbridos entre ambas especies "huarizos" (INE, 2021); ello repercute en una mayor variabilidad en las características de la fibra. Por otra parte, en la zona central de Chile, la cual se caracteriza por tener condiciones más favorables para la ganadería,

existe un 14,1% de la población (INE, 2021). En esta zona la crianza de estos animales se desarrolla en un ambiente caracterizado por una baja altitud y un clima templado mediterráneo, sin grandes fluctuaciones de temperatura (AGRIMED, 2017). Asimismo, en esta misma zona el manejo de los animales es mayoritariamente intensivo y la alimentación se realiza bajo estabulación en base a heno de alfalfa y concentrados, adicionando vitaminas y minerales.

Conocer las variaciones de las características físicas de la fibra y estudiar alternativas de producción en ambientes diferentes al altiplano resulta de alto interés productivo, considerando su posible adaptación a diferentes condiciones ambientales y climáticas. En este sentido, se plantea la hipótesis que las características de la fibra de alpaca se encuentran influenciadas principalmente por la procedencia de esta, así como por las características intrínsecas de los animales. Por esta razón, el presente estudio tuvo como objetivo, comparar la calidad de muestras de fibra de alpacas criadas en su entorno natural con un manejo tradicional, propio de la ganadería indígena ancestral, versus muestras provenientes de alpacas criadas en un ambiente controlado en la zona central de Chile.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en tres regiones contrastantes de Chile; dos sectores altiplánicos, ubicados en la Región de Arica y Parinacota y otro sector localizado en la Región de Valparaíso, zona central de Chile, en la localidad de Llay-Llay. En las localidades altiplánicas, Visviri ($17^{\circ}36'$ Lat. S; $69^{\circ} 29'$ Long. O; 4068 msnm) y Guallatire ($18^{\circ} 30'$; $69^{\circ}36'$; 4225 msnm), el clima corresponde a una Tundra Fría o Puna seca (ET) (Köeppen, 1948). Segundo los registros termo-pluviométricos disponibles en las estaciones de la Red Agrometeorológica del Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Chile (INIA, 2025) durante el periodo comprendido entre los años 2013 y 2023, la localidad de Visviri promedia 279,5 mm anuales de precipitación, mientras que en Guallatire dicho monto es de 184 mm. Esta precipitación se concentra en los meses estivales (diciembre - marzo). En Visviri la temperatura máxima media anual promedia los $16,8^{\circ}\text{C}$ y en Guallatire este promedio es de $13,2^{\circ}\text{C}$. Las temperaturas promedio mínimas anuales son $-3,6$ y $-5,2^{\circ}\text{C}$, en Visviri y Guallatire, respectivamente. En esta zona los pastizales de mayor extensión corresponden a los denominados "pajonales" (praderas de secano) que crecen en suelos de escaso desarrollo (Inceptisoles, Cryochrepts)

(USDA, 2006). No obstante, existen pastizales hídricos, comúnmente conocidos como "bofedales", que crecen sobre suelos orgánicos hidromórficos en posición de depresiones (Histosoles, Cryofibrist) (USDA, 2006). En esta zona los animales pertenecen a rebaños de pequeños productores aymaras manejados en forma extensiva a través del pastoreo, recibiendo ocasionalmente suplementación en base a heno de alfalfa en los meses de invierno.

El sector seleccionado en la Región de Valparaíso se ubica en la localidad de Llay-Llay ($32^{\circ} 30'$; $70^{\circ} 35'$; 385 msnm), posee un clima de tipo mediterráneo, con un promedio anual de precipitaciones de 176,6 mm (periodo 2019-2024), concentradas entre los meses de abril y septiembre. Las temperaturas máximas y mínimas anuales, para el mismo periodo, son de $24,7$ y $8,4^{\circ}\text{C}$, respectivamente (Red Agrometeorológica del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), 2025). En los pastizales naturales dominan especies terófitas de crecimiento invernal, cuyo crecimiento es dependiente, en alto grado, de las precipitaciones que ocurren en el invierno (Castellaro y Squella, 2006). El manejo de los animales es intensivo y la alimentación se realiza bajo estabulación en base a heno de alfalfa, concentrados, vitaminas y minerales acorde con los requerimientos nutricionales de los animales.

Número de animales muestreados y método de obtención de muestras de fibra

El estudio se realizó con muestras obtenidas durante la esquila de la temporada octubre – noviembre 2022 en el altiplano y la realizada en la temporada octubre – marzo 2023 en la zona central. Todos los procedimientos con animales fueron aprobados por el Comité Institucional de Cuidado y Uso de Animales de la Universidad de Chile (Protocolo 14-2024; Cert. N° 24785-VET-UCH).

En la localidad de Llay-Llay se seleccionaron 122 ejemplares, mientras que en Visviri y Guallatire, este número fue de 100 y 61 ejemplares, respectivamente. Todos los animales fueron de raza Huacaya y provienen de un solo rebaño por localidad. Dentro de cada grupo, los animales fueron clasificados por sexo (Hembras y Machos), categoría etaria (Crías menores de un año; Juveniles, entre 1-2 años; Adultas, con más de 2 años) y color de la fibra (Blancas; de Color). De cada individuo se obtuvo una muestra de fibra desde la zona del costillar, la que corresponde a línea media del flanco, detrás de la última costilla (~ 10 g por animal), por ser esta la más representativa del vellón (McGregor et al., 2012). Cada muestra tuvo un diámetro de aproximadamente 1 cm y se extrajo mediante un

corte a ras de piel utilizando una tijera de punta redondeada. Una vez tomadas las muestras, estas fueron depositadas en bolsas de plástico de cierre hermético e identificadas, según fecha de muestreo, sexo, edad y categoría etaria a la que pertenece el animal, hasta su posterior evaluación en el laboratorio.

Análisis de la fibra

Las muestras “sucias” fueron analizadas utilizando el instrumental “Optical Fibre Diameter Analyzer” OFDA® 2000 (Cottle y Baxter, 2015), del laboratorio de lanimetría en el Departamento de Ciencias Biológicas Animales de la Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile. Con este instrumento se determinó Diámetro Medio de las fibras (DMF, μm), Coeficiente de variación del diámetro (CVD, %) y Factor de confort (FC, %). El largo de mecha no fue analizado, debido a la incertezza en cuanto a los lapsos entre esquillas en las muestras de los animales provenientes del altiplano. Antes de proceder a la lectura de las muestras se confirmó la calibración del equipo, utilizando el patrón ODEA que consiste en una grilla de poliéster estándar, con una finura de 18,5 μm , libre de polvo y humedad que se verifica al iniciar el procesamiento de cada grupo de muestras (IWTO-47, 2007).

Diseño y Análisis estadístico

El estudio fue de tipo observacional (Manterola y Otzen, 2014), por lo cual no se realizó un diseño experimental “*a priori*”. No obstante, las variables estudiadas fueron sometidas a un análisis de varianza (ANDEVA) que responde a un diseño completamente aleatorizado con estructura factorial. Las principales fuentes de variación fueron los factores fijos Procedencia, Sexo, Categoría etaria, Color y sus respectivas interacciones de primer orden:

$$Y_{ijklm} = \mu + P_i + S_j + E_k + C_l + INT + e_{ijklm}$$

Donde:

Y_{ijklm} = valor del Diámetro medio de fibra, Coeficiente variación del diámetro, Coeficiente de confort, medidos en fibras sucias.

μ = Media poblacional.

P_i = Efecto fijo de la i -ésima procedencia ($i =$ Visviri; Guallatire; Llay-Llay).

S_j = Efecto fijo del j -ésimo sexo del animal ($j =$ Macho; Hembra).

E_k = Efecto fijo de la k -ésima categoría etaria del animal ($k =$ Crías; Juveniles; Adultos).

C_l = Efecto fijo del l -ésimo color de la fibra del animal ($l =$ Blanca; de Color).

INT = Interacciones de primer orden entre los factores fijos.

e_{ijklm} = Error experimental.

El modelo anterior se resolvió a través del procedimiento Modelos Lineales Generalizados (GLM), el cual permite modelar variables de respuesta que no siguen necesariamente una distribución normal (Müller, 2012). Para detectar diferencias entre los factores que resultaron significativos, se utilizó la prueba Tukey al 95% de confianza (Kaps y Lamberson, 2004). Todos los análisis anteriores se realizaron utilizando el software Statgraphics Centurión XVI® (Statgraphics Technologies, Inc., Virginia, VA, EE. UU.), versión 16.1.03.

RESULTADOS

Diámetro medio de la fibra

El DMF estuvo entre 13,1 y 32,8 μm con un promedio bruto (\pm error estándar) de $19,85 \pm 0,24 \mu\text{m}$, siendo influenciado por la procedencia, categoría etaria y color (Tabla 1). Los promedios mínimo-cuadrados (\pm error estándar) muestran a las fibras de alpacas procedentes de Guallatire como las de mayor DMF ($22,96 \pm 0,82 \mu\text{m}$), seguidas por las de Visviri ($20,44 \pm 0,45 \mu\text{m}$), mientras que las de Llay-Llay presentaron el menor valor ($18,30 \pm 0,42 \mu\text{m}$), existiendo diferencias significativas entre los tres lugares (Fig. 1A). Respecto a la categoría etaria, el DMF de las crías fue de $18,98 \pm 0,79 \mu\text{m}$, siendo menor al de las adultas y juveniles ($21,79 \pm 0,46 \mu\text{m}$), existiendo diferencias significativas solamente entre las crías y juveniles (Fig. 1C). El color de la fibra fue otra de las variables importantes, donde aquellas alpacas de tonalidad blanca presentaron un menor DMF ($20,04 \pm 0,48 \mu\text{m}$) en comparación con las de colores más oscuros ($21,09 \pm 0,36 \mu\text{m}$) (Fig. 1D). En contraste, no se encontraron diferencias significativas en el DMF entre machos ($20,50 \pm 0,43 \mu\text{m}$) y hembras ($20,63 \pm 0,43 \mu\text{m}$) (Fig. 1B). Las interacciones de primer orden entre los factores analizados no fueron estadísticamente significativas (Tabla 1).

Coeficiente de variación del diámetro

El CVD estuvo entre 16,1 y 28,5%, con un promedio bruto (\pm error estándar) de $21,70 \pm 0,13 \%$. El CVD no presentó diferencias significativas entre machos ($21,67 \pm 0,30 \%$) y hembras ($21,64 \pm 0,30 \%$) (Fig. 2A), ni entre crías ($21,68 \pm 0,55 \%$), juveniles ($21,65 \pm 0,32 \%$) y adultos ($21,63 \pm 0,30 \%$) (Fig. 2B). Sin embargo, existió una interacción significativa entre la localidad con el color de la fibra (Fig. 3), en donde el CVD de las fibras blancas fue más bajo en las localidades altiplánicas,

Tabla 1. Análisis de varianza para el diámetro medio de las fibras de alpacas (DMF, μm). Principales fuentes de variación, grados de libertad (gl), interacciones de primer orden y significancia estadística (Valor P).

Table 1. Analysis of variance for the mean diameter of alpaca fibers (DMF, μm). Main sources of variation, degrees of freedom (df) first-order interactions, and statistical significances (P-value)

Fuente de variación	gl	Valor-P
Efectos principales		
Procedencia (P)	2	0,0000
Sexo (S)	1	0,7987
Categoría etaria (E)	2	0,0059
Color de la fibra (C)	1	0,0382
Interacciones		
P x S	2	0,3128
P x E	4	0,1822
P x C	2	0,6406
S x E	2	0,0725
S x C	1	0,6921
E x C	2	0,1488

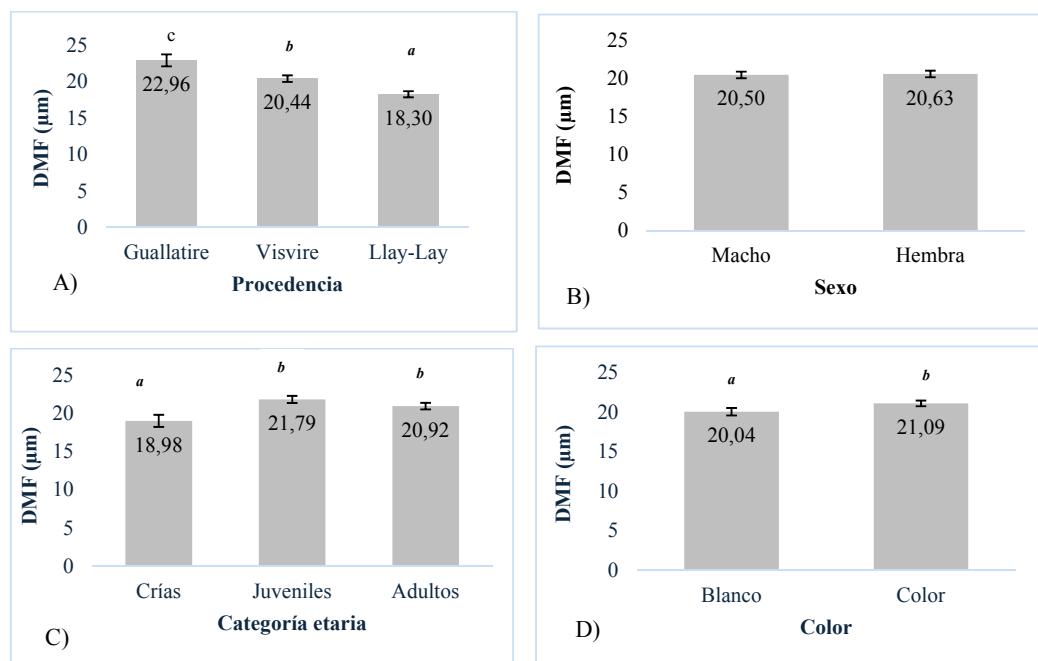


Fig. 1. Promedio mínimos cuadrados obtenidos para el diámetro medio de fibras (DMF, $\mu\text{m} \pm \text{EE}$) de alpacas según (A) procedencia, (B) sexo, (C) categoría etaria y (D) color de la fibra (D). Letras sobre las barras indican diferencia significativa según prueba de Tukey ($P < 0,05$).

Fig. 1. Least squares mean obtained for the mean fiber diameter (DMF, $\mu\text{m} \pm \text{SE}$) of alpacas according to (A) origin, (B) sex, (C) age category and (D) fiber color. Letters above the bars indicate significant differences according to Tukey's test ($P < 0.05$)

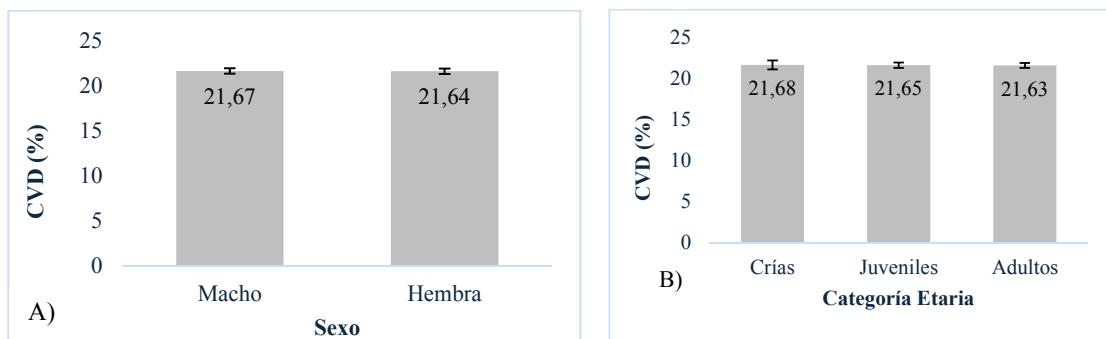


Fig. 2. Promedio mínimos cuadrados obtenidos para el coeficiente de variación del diámetro medio de Fibras (CVD % \pm EE) de alpacas según (A) sexo y (B) categoría etaria.

Fig. 2. Least squares mean obtained for the coefficient of variation of the mean fiber diameter (CVD% \pm SE) of alpacas according to (A) sex and (B) age category.

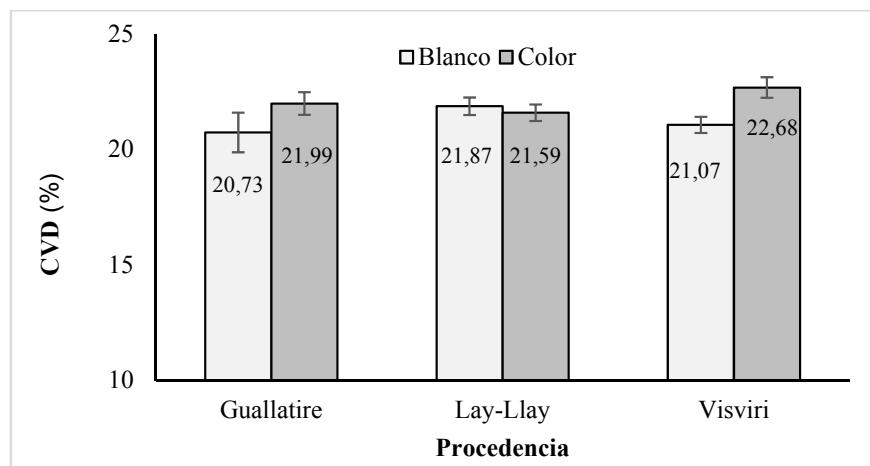


Fig. 3. Interacción entre el color y la procedencia de las fibras obtenida en el coeficiente de variación del diámetro medio de fibras de alpacas (CVD % \pm EE).

Fig. 3. Interaction between fiber color and fiber origin as obtained in the coefficient of variation of the average fiber diameter of alpacas (CVD% \pm SE).

especialmente en Visviri ($21,07 \pm 0,35$ v/s $22,68 \pm 0,45\%$), situación que no ocurrió en la Localidad de Llay-Llay, donde el CVD fue similar entre las fibras blancas y de color (Tabla 2).

Factor de confort

El FC estuvo entre 37,9 y 100% con un promedio bruto (\pm error estándar) de $94,00 \pm 0,65\%$. En esta variable, se observó un efecto de la procedencia y categoría etaria sobre el FC, mientras que, el sexo y el color de la fibra no

tuvieron un efecto significativo (Tabla 3). De acuerdo con los promedios mínimos-cuadrados (\pm error estándar), las fibras provenientes de Llay-Llay presentaron el mayor valor de FC con un $98,17 \pm 1,26\%$, siendo superior a los valores encontrados en Visviri ($93,51 \pm 1,34\%$) y Guallatire ($88,85 \pm 2,47\%$) (Fig. 4A). En la categoría etaria, las crías destacaron con un FC del $97,65 \pm 2,35\%$, superando a los valores de las categorías juveniles ($91,15 \pm 1,38\%$) y adultos ($91,73 \pm 1,30\%$) (Fig. 4C).

Tabla 2. Análisis de varianza para el coeficiente de variación del diámetro medio de las fibras de alpacas (CVD, %). Principales fuentes de variación, grados de libertad (gl), interacciones de primer orden y significancia estadística (Valor P).**Table 2. Analysis of variance for the coefficient of variation of the mean diameter of alpaca fibers (CVD, %). Main sources of variation, degrees of freedom (df), first-order interactions, and statistical significance (P-value).**

Fuente de variación	gl	Valor-P
Efectos principales		
Procedencia (P)	2	0,7273
Sexo (S)	1	0,9448
Categoría etaria (E)	2	0,9951
Color de la fibra (C)	1	0,0144
Interacciones		
P x S	2	0,1122
P x E	4	0,9454
P x C	2	0,0213
S x C	1	0,9978
E x C	2	0,3004

Tabla 3. Análisis de varianza para el factor de confort de las fibras de alpacas (FC, %). Principales fuentes de variación, grados de libertad (gl), interacciones de primer orden y significancia estadística (Valor P).**Table 3. Variance analysis for the comfort factor of alpaca fibers (FC, %). Main variation sources, freedom degrees (fg), first-order interactions, and statistical significance (P-value).**

Fuente de variación	gl	Valor-P
Efectos principales		
Procedencia (P)	2	0,0013
Sexo (S)	1	0,4509
Categoría etaria (E)	2	0,0392
Color de la fibra (C)	1	0,0876
Interacciones		
P x S	2	0,2628
P x E	4	0,1708
P x C	2	0,5188
S x E	2	0,6942
S x C	1	0,8474
E x C	2	0,7267

DISCUSIÓN

El presente estudio comparó diversas características de la fibra de alpacas criadas en dos zonas del altiplano, bajo crianza extensiva, y en la zona central de Chile, donde las alpacas fueron criadas bajo estabulación, encontrando una importante influencia de la procedencia, así como de otras variables intrínsecas de los animales.

Efecto de la procedencia (zona geográfica)

El diámetro comparativo de las fibras de alpaca, criadas en Llay-Llay, Visviri y Guallatire, permite categorizarlas como extrafinas ($\leq 23 \mu\text{m}$), según la normativa de clasificación de fibra descrita por Pacheco et al. (2024). Pese a esto, en el caso de animales criados de forma extensiva en el altiplano, es probable que la baja calidad de los pastizales y el mayor costo energético que tiene el pastoreo, sumando a lo anterior el

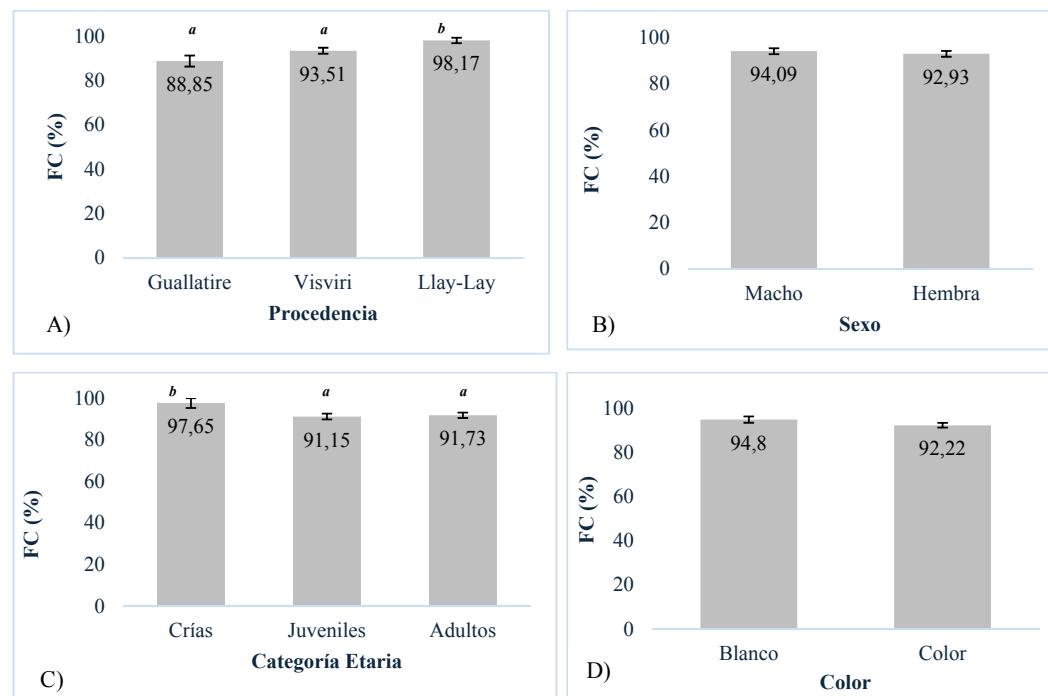


Fig. 4. Promedio mínimos cuadrados obtenidos para el factor de confort medio de fibras (FC % ± EE) de alpacas según (A) procedencia, (B) sexo, (C) categoría etaria y (D) color de la fibra. Letras sobre las barras indican diferencia significativa según prueba Tukey ($P < 0,05$).

Fig. 4. Least squares means obtained for the average fiber comfort factor (FC%±SE) of alpacas according to (A) origin, (B) sex, (C) age category and (D) fiber color. Letters above the bars indicate significant differences according to Tukey's test ($P < 0,05$).

gasto energético asociado a la termorregulación, produzca una menor disponibilidad de nutrientes a nivel de los folículos pilosos, generando fibras delgadas (Ferguson et al., 2011). Esta reducción en el DMF se relaciona con el fenómeno conocido como “finura de hambre”, que produce fibras frágiles y defectuosas para la industria textil (Cruz et al., 2017). Por ejemplo, McGregor (2002) reportó una reducción de 17 mm en la longitud y de 2,3 μm en el diámetro de la fibra de alpacas Huacaya, debido a una nutrición deficiente.

En la zona central de Chile, las fibras de las alpacas fueron caracterizadas, no solo por ser extrafinas, sino que además confortables, con un alto porcentaje de fibras bajo un 30 μm (98,17%). La presencia de fibras extrafinas en este ambiente, difícilmente pueden estar relacionados a los fenómenos de la finura por hambre, ya que en esta zona los animales se encuentran estabulados, con una alimentación alta en proteína (sobre 20%), y sin las demandas energéticas generadas por la termorregulación y/o el gasto asociado al pastoreo. Sin embargo, esto puede ser explicado

debido a que, bajo las condiciones controladas de la zona central, se realiza selección de machos y hembras en favor de fibras de alta calidad, lo que es favorecido con la moderada heredabilidad que pueden alcanzar características como el diámetro medio de la fibra (Frank et al., 2009; Aguilar et al., 2019).

Efecto del sexo

A pesar de que los resultados en el DMF, CVD y FC entre machos y hembras indican que el sexo no es un factor determinante en la calidad de la fibra, en otros estudios sobre los efectos de esta variable en las características de la fibra no son concluyentes. Lupton et al. (2006), así como Simbaina y Raggi, (2019) no observaron efectos del sexo sobre las características lanimétricas. Por el contrario, otros autores han encontrado influencia del sexo sobre las características lanimétricas. Pinares et al. (2023) reportaron que las hembras tienen un mayor FC (90,13%) que los machos (81,19%). Estas últimas observaciones van en la línea de lo reportado por Nazari-

Zenouz et al. (2018), quienes señalan que en ovinos los machos producen fibras más gruesas que las hembras, debido a niveles más altos de testosterona.

Efecto de la Categoría etaria

Los resultados del presente estudio confirman que la edad es un factor determinante en la calidad de la fibra. Las crías tuvieron un menor DMF y mayor FC, comparado con juveniles y adultos. Esto concuerda con investigaciones previas que muestran cambios en la calidad de la fibra en animales menores a un año versus grupos juveniles y adultos, pero no entre juveniles y adultos (Simbaina y Raggi, 2019). Lo anterior se debe a que las fibras de alpaca se vuelven más gruesas a medida que los animales aumentan su edad, sin embargo, el crecimiento del diámetro de la fibra no es lineal en función de la edad (Gutiérrez et al., 2011). Los datos de la presente investigación, en parte, confirman lo anteriormente expuesto, al observarse una relativa constancia y escasa diferencia entre el diámetro y el FC entre animales juveniles y adultos.

Efecto del color

El color de la fibra tuvo un impacto significativo en el DMF, con fibras más finas en alpacas blancas, en comparación con las de colores oscuros. Esto concuerda con la gran mayoría de los estudios previos en los que se ha encontrado que las fibras claras, especialmente blancas, son más finas y son más homogéneas que las oscuras (Pacheco et al., 2024). McGregor y Butler (2004), reportaron que la fibra de alpacas de pelaje oscuro fue 3,09 μm más gruesa que las blancas en Huacaya, y 5,93 μm en Suri. Asimismo, Radzik-Rant y Wiercińska (2021) en Polonia reportaron un mayor DMF (27,16 μm) para alpacas con fibra oscura versus alpacas de color claro (23,45 μm), lo que también se relacionó con un menor grado de medulación o fibras objetables en estas últimas. Las alpacas blancas han sido seleccionadas para producir fibras más finas, debido a la demanda histórica del mercado textil por productos fáciles de teñir (Anello et al., 2022). Como consecuencia de lo anterior es probable que en las localidades altiplánicas exista una menor variabilidad en el diámetro en las fibras blancas, situación que no ocurre en Llay Llay, donde la presión de selección es similar tanto en fibras coloreadas como en blancas. Pese a esto, actualmente existe una creciente demanda por productos naturales, favoreciendo la selección hacia fibras coloreadas finas (Pacheco et al., 2024).

CONCLUSIONES

La calidad de la fibra en alpacas está influenciada significativamente por la procedencia geográfica, la edad y el color del vellón. En la zona central de Chile, el menor diámetro de fibra estaría asociado a una combinación de factores que consideran una alimentación balanceada y selección genética, mantenida por generaciones, dirigida a la producción de fibras finas y confortables.

La edad de los animales mostró una clara asociación con el aumento del diámetro de la fibra, y el color del vellón evidenció un impacto en la homogeneidad y finura, siendo las fibras blancas las de mejor calidad. No se observaron diferencias atribuibles al sexo, lo que sugiere que esta variable no constituye un determinante relevante bajo las condiciones evaluadas. En conjunto, estos hallazgos permiten orientar estrategias de manejo y selección que optimicen la producción de fibra de alta calidad en distintos sistemas de crianza de alpacas.

AGRADECIMIENTOS

Al Proyecto “Encadenamiento productivo comercial en alpacas (*Vicugna pacos*) criadas en la zona central de Chile: un modelo productivo integral (DI-FAVET 01-2023)”, ejecutado por la Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile y la Empresa Quintessence Alpacas.

Colaboración de autores

Participación en la toma de muestras, análisis de la fibra: Luis Alberto Raggi María Herlinda de la Garza, Natalia Pavéz.

Participación en la elaboración de la metodología: Giorgio Castellaro, Daniel Cartes, Benito González, Natalia Pavéz y Luis Alberto Raggi.

Participación activa en la discusión de los resultados y Revisión y aprobación de la versión final del artículo: Giorgio Castellaro, Daniel Cartes, Luis Alberto Raggi.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, H., G. Gutiérrez y M. Wurzinger. 2019. Parámetros genéticos de caracteres asociados a la uniformidad del diámetro de fibra en alpacas Huacaya en Puno, Perú. Rev. Inv. Vet. Perú 30(3):1150-1157. <https://doi.org/10.15381/rivep.v30i3.15370>
- Anello, M., M.S. Daverio y F. Di Rocco. 2022. Genetics of coat color and fiber production properties in llamas and alpacas. Anim. Front. 12 (4): 78-86. <https://doi.org/10.1093/af/vfac050>.

- AGRIMED. 2017. Atlas Agroclimático de Chile. Estado Actual y Tendencias del Clima. Tomo II. Regiones de Atacama y Coquimbo. Centro AGRIMED. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Fundación para la Innovación Agrícola. Santiago, Chile. 178 p.
- Castellarro, G. y N. Squella. 2006. Modelo simple de simulación para la estimación del crecimiento y balance hídrico de praderas anuales de clima mediterráneo. *Agricultura Técnica (Chile)* 66(3):271-282. <https://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072006000300006>.
- Cottle, D. J. and B. P. Baxter. 2015. Wool metrology research and development to date. *Textile Progress* 47(3): 163-315. <https://doi.org/10.1080/00405167.2015.1108543>.
- Crossley, J.C., C. G. Borroni and L. A. Raggi. 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 (1): 27-31. <https://doi.org/10.1080/00405167.2015.1108543>.
- Cruz, A., R. Morante, I. Cervantes, A. Burgos and J. P. Gutiérrez. 2017. Effect of the gestation and lactation on fiber diameter and its variability in Peruvian alpacas. *Livestock Sci.* 198: 31-36. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.02.006>
- Ferguson, M., B. McGregor, and R. Behrendt. 2011. Relationships between skin follicle characteristics and fibre properties of Suri and Huacaya alpacas and Peppin Merino sheep. *Anim. Prod. Sci.* 52(7): 442-447. <https://doi.org/10.1071/AN11233>
- Frank, E.N., M.Y.H. Hick, M. Molina y L. Caruso. 2009. Heredabilidades, correlaciones fenotípicas, correlaciones genéticas y repetibilidades de variables productivas en llamas argentinas. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 17(3-4):103-107.
- Gandarillas, D., A. Quispe, A. Puma, E. Torres, R. Rios y J. Quispe. 2022. Características textiles de la fibra de alpacas huacaya en comunidades altoandinas de la región de Tacna, Perú. *Rev. Investig. Vet. Perú* 33(5): e23791. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v33i5.23791>
- Gutiérrez, J. P., L. Varona, A. Pun, R. Morante, A. Burgos, I. Cervantes and M. A. Pérez-Cabal. 2011. Genetic parameters for growth of fiber diameter in alpacas. *J. Anim. Sci.* 89(8): 2310-2315. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3746>
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 2025. Red Agrometeorológica INIA [En línea]. <https://agrometeorologia.cl/> (consulta: 22 - Agosto - 2025).
- Instituto Nacional de Estadística (INE). 2021. VIII Censo nacional agropecuario y forestal. [En línea]. <https://www.ine.gob.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca/censos-agropecuarios> (consulta: 06 -Febrero - 2025).
- Kaps, M. and W. Lamberson. 2004. *Estimation of Parameters; Biostatistics for Animal Science* Chap 5; CABI Publishing: Cambridge, MA, 814 USA; 439 p.
- Köeppen, W. 1948. *Climatología*. Fondo de Cultura Económica; Carretera Picacho-Ajusco: Ajusco, México, 1948; 478 p.
- Lupton, C., A. McColl and R. Stobart. 2006. Fiber characteristics of the huacaya alpaca. *Small Ruminant Res.* 64(3): 211-224. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.04.023>
- Machaca, V., A. V. Bustinza, F. A. Corredor, V. Paucara, E. C. Quispe y R. Machaca. 2017. Características de la fibra de alpaca huacaya de Cotaruse, Apurímac, Perú. *Rev. Investig. Vet. Perú* 28(4): 843-851. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v28i4.13889>
- Manterola, C. y T. Otzen. 2014. Estudios observacionales. Los diseños utilizados con mayor frecuencia en Investigación Clínica. *Int. J. Morphol.* 32 (2): 634-645. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022014000200042>.
- McGregor, B. 2002. Comparative productivity and grazing behaviour of Huacaya alpacas and Peppin Merino sheep grazed on annual pastures. *Small Ruminant Research* 44: 219-232. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(02\)00050-0](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(02)00050-0)
- McGregor, B. y Butler, K. 2004. Sources of variation in fibre diameter attributes of Australian alpacas and implications for fleece evaluation and animal selection. *Aust. J. Agric. Res.* 55: 433-442. <https://doi.org/10.1071/AR03073>
- McGregor, B., H. E. Ramos and E. C. Quispe-Peña. 2012. Variation of fibre characteristics among sampling sites for Huacaya alpaca fleeces from the High Andes. *Small Ruminant Research* 102 (2-3): 191-196. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.07.016>
- Müller, M. 2012. *Generalized Linear Models*. Cap. 24. In: J.E. Gentle et al. (eds.), *Handbook of Computational Statistics*, Springer Handbooks of Computational Statistics, © Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Nazari-Zenouz, F., G. Moghaddam, S. Rafat, Z. Abdi, K. E. Ghorghani and R. Nabayi. 2018. The effect of prepubertal castration on wool diameter and blood testosterone in Ghezel breed. *Iran J. Appl. Anim. Sci.* 8:635-639.

- Olarte, C. U. 2022. Efecto de la edad y estado fisiológico reproductivo en el perfil del diámetro de la fibra en alpacas huacaya. Rev. Investig. Vet. Perú 33 (4): e23336. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v33i4.23336>
- Pacheco, J., F. Bengtsson, J. Killander, F. Franco, N. Lundeheim, C. Varga, R. Báge, and J. Morell. 2024. Fiber quality and fertility in male alpacas in the Cusco region of Peru. Front. Vet. Sci. 11: 1421593. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1421593>
- Pinares, R., A. Meza, N. Crispin, F. Lozano and D. Pezo. 2023. Comparing fiber quality characteristics and staple length in Suri and Huacaya alpacas. Front. Anim. Sci. 4:1167113. <https://doi.org/10.3389/fanim.2023.1167113>
- Pinares, R. y E. Quispe. 2024. Características de las fibras meduladas en alpaca Huacaya y Suri de Perú. Chilean J. Agric. Anim. Sci. 40(2):332–340. <http://dx.doi.org/10.29393/chja40-28ccpq20028>
- Quispe, J. E., E. Apaza y C. U. Olarte. 2021. Características físicas y perfil de diámetro de fibra de alpacas huacaya del centro experimental la raya (Puno, Perú), según edad y sexo. Rev. Investigaciones Veterinarias del Perú 32 (2), e20004. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v32i2.20004>
- Radzik-Rant, A. and K. Wiercińska. 2021. Analysis of the wool thickness and medullation characteristics based on sex and color in a herd of alpacas in Poland. Arch. Anim. Breed. 64(1): 157–165. <https://doi.org/10.5194/aab-64-157-2021>
- Simbaina, J. C. and L. A. Raggi. 2019. Lanametric determination of the alpaca fiber (*Vicugna pacos*) in Tucayta, province of Cañar. J. Veterinary Sci. Med. 7 (1): 1–4. <https://dx.doi.org/10.13188/2325-4645.1000042>
- United States Department of Agriculture (USDA). 2006. Keys to Soil Taxonomy, 10th ed.; Department of Agriculture, Soil Survey Staff. Natural Resource Conservation Service: Washington, DC, USA; 333 p. <https://www.nrcs.usda.gov/resources/guides-and-instructions/keys-to-soil-taxonomy>

