

Determinación del diámetro medio y porcentaje de medulación de fibras representativos de vellones de alpaca

Determination of the average diameter and percentage of medullation of representative fibres of alpaca fleeces

Edgar Quispe Peña^{1,2*}, Jorge Aliaga Gutiérrez³, Jorge Gamarra Bojorquez³, Joaquín Mueller⁴, Diego Sacchero⁴, Freddy Marrero Saucedo⁵, Max David Quispe Bonilla^{1,6}

RESUMEN

La evaluación del diámetro medio de fibra (MDF) y la incidencia de medulación representativo de vellones de alpacas en muestras de 10 g de fibras de la zona del costillar medio se efectúa habitualmente para identificar animales finos en programas de mejoramiento genético. De cada muestra se suele tomar submuestras para determinar el MDF con algún tipo de instrumentos de medición; sin embargo, debido a la gran variabilidad del diámetro entre mechas, entre fibras y a lo largo de una misma fibra no hay consenso sobre el número de submuestras a usar para lograr un resultado representativo de la muestra. En el presente estudio se evaluaron resultados de un rango de submuestras en comparación con el resultado del total de submuestras para mediciones de MDF y para mediciones de las siguientes variables de interés adicional en vellones de alpacas: porcentaje total de fibras meduladas (PMedT), porcentaje de fibras con medulación fragmentada (PMedFrag), con medulación discontinua (PMedDisc), con medulación continua (PMedCont), fuertemente meduladas (PFuertMed), diámetro medio de fibras

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

² Escuela de Posgrado. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

³ Departamento de Producción Animal, Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

⁴ Instituto de Tecnología Agropecuaria, Bariloche, Argentina

⁵ Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica, Perú

⁶ Laboratorio de Innovaciones Tecnológicas, Maxcorp Technologies SAC, Santa Anita, Lima, Perú

* Autor de correspondencia: Edgar Quispe Peña; dgarquispe62@gmail.com

Recibido: 5 de abril de 2024

Aceptado para publicación: 19 de noviembre de 2024

Publicado: 20 de diciembre de 2024

©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

meduladas (MDFMed), diámetro medio de fibras con medulación fragmentada (MDFFrag), diámetro medio de fibras con medulación discontinua (MDFDisc), diámetro medio de fibras con medulación continua (MDFCont) y diámetro medio de fibras fuertemente meduladas (MDFFuertMed). Se extrajeron muestras de 10 g de la zona del costillar de 62 alpacas. De un grupo de 30 muestras se extrajeron 17 submuestras, permitiendo 510 evaluaciones; y del segundo grupo de 32 muestras se extrajeron 9 submuestras, permitiendo 288 evaluaciones. Las submuestras fueron analizadas con los instrumentos Fiber EC y Fiber Med y los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente usando correlaciones de Spearman y Pearson, pruebas de medias pareadas y se estimaron componentes de varianza estimados con un modelo lineal que incluye muestra y submuestra anidada en muestra. Se concluye que para lograr una correlación mayor a 0.990 se requiere al menos tres a cinco submuestras en la evaluación de MDF, dos o tres submuestras en la evaluación de PMedT, PMedFrag, PMedDisc y PMedCont con sus respectivos MDF y al menos cinco submuestras en la evaluación de PFuertMed y su MDF.

Palabras clave: camélidos sudamericanos, costillar medio, finura, submuestra

ABSTRACT

The evaluation of the mean fibre diameter (MFD) and the incidence of representative medullation of alpaca fleeces in 10 g samples of fibres from the mid-rib area is usually carried out to identify fine animals in genetic improvement programmes. Subsamples are usually taken from each sample to determine the MFD with some type of measuring instruments; however, due to the great variability of the diameter between staples, between fibres and along the same fibre, there is no consensus on the number of subsamples to use to achieve a representative result for the sample. In the present study, results from a range of subsamples were evaluated against the result of the total subsamples for MFD measurements and for measurements of the following additional variables of interest in alpaca fleeces: total percentage of medullated fibres (PMedT), percentage of fibres with fragmented medulation (PMedFrag), with discontinuous medulation (PMedDisc), with continuous medulation (PMedCont), strongly medullated (PFuertMed), mean diameter of medullated fibres (MDFMed), mean diameter of fibres with fragmented medulation (MDFFrag), mean diameter of fibres with discontinuous medulation (MDFDisc), mean diameter of fibres with continuous medulation (MDFCont) and mean diameter of strongly medullated fibres (MDFFuertMed). Samples of 10 g were taken from the mid-rib area of 62 alpacas. From a group of 30 samples, 17 subsamples were taken, allowing 510 evaluations; and from the second group of 32 samples, 9 subsamples were extracted, allowing 288 evaluations. The subsamples were analysed with the Fiber EC and Fiber Med instruments and the data obtained were statistically analysed using Spearman and Pearson correlations, paired mean tests and variance components estimated with a linear model that includes sample and subsample nested in sample. It is concluded that to achieve a correlation greater than 0.990, at least three to five subsamples are required in the evaluation of MFD, two or three subsamples in the evaluation of PMedT, PMedFrag, PMedDisc and PMedCont with their respective MDF and at least five subsamples in the evaluation of PFuertMed and its MDF.

Key words: South American camelids, mid-rib area, fineness, subsample

INTRODUCCIÓN

La evaluación objetiva de características de la calidad de fibra de vellones se realiza en forma rutinaria en ovinos, caprinos y camélidos productores de fibras textiles. Dicha información es utilizada para diferentes propósitos, tales como la identificación y selección de animales superiores con fines de mejoramiento genético, en las competencias de calidad de vellón, y en la clasificación de fibras para conformación de lotes de calidad homogénea (AWTA, 2000), entre otros. De otro lado, aunque existen variaciones de la media de diámetro de fibra (MDF), en la incidencia de medulación y de otras características en las diferentes partes del vellón de las alpacas (Aylan-Parker y McGregor, 2002; McGregor *et al.*, 2012; Radzik-Rant *et al.*, 2021), se ha establecido que el lugar más representativo para caracterizar el vellón de una alpaca es el costillar medio (Aylan-Parker y McGregor, 2002; McGregor *et al.*, 2012; Radzik-Rant *et al.*, 2021).

En la medición de la MDF del vellón de los ovinos se recomienda tomar una muestra no menor de 10 g del costillar medio (AS/NZS, 2000; IWTO, 2017), habiendo acatado esta recomendación por muchos investigadores (Botha y Hunter, 2010); por tanto, estas recomendaciones también podrían extenderse para los vellones de la alpaca. Por otro lado, aunque los laboratorios de la Autoridad de Evaluación de Lanas Australianas (AWTA, 2000) exigen tomar muestras de 20 g de fibra para la evaluación de la MDF, para el caso de la alpaca, debido a su alto rendimiento al lavado de sus fibras en comparación con la lana, incluso entre 7 y 8 g de fibra serían suficientes para la evaluación de la MDF y características como la incidencia de medulación.

Para la evaluación de la MDF, las fibras son lavadas, minicoreadas y luego se obtiene fragmentos de fibra debidamente preparadas en el porta muestras. El proceso del mini coreado permite obtener una submuestra

representativa de la muestra de 10 g, compuesta por fragmentos de fibras de 1.8 a 2 mm de longitud, los cuales pueden ser evaluados con instrumentos tales como el Sirolan Laserscan, OFDA (Botha y Hunter, 2010; Cottle y Baxter, 2015), Fiber EC (Quispe *et al.*, 2017), y microscopio de proyección, entre otros. Opciones importantes son el Fiber EC y OFDA2000, equipos que son ampliamente utilizados en Perú y muchos otros países, que permiten evaluar la MDF en mechales, lo cual requiere una submuestra de alrededor de 10 a 15 mg; sin embargo, esta cantidad no sería una submuestra representativa de la muestra de 10 g (que es alrededor de la milésima parte de la muestra) y, por tanto, tampoco sería una submuestra representativa de todo el vellón. Similares errores se podrían cometer cuando se trata de evaluar la incidencia de medulación bajo el procedimiento del Fiber Med, ya que dicho instrumento también requiere de muestras pequeñas (entre 150 y 300 mg); es decir, unas 1000 fibras/ muestra (Bonilla *et al.*, 2022; Quispe *et al.*, 2022).

Por los motivos expuestos, se llevó a cabo el presente trabajo con el objetivo de determinar la cantidad de submuestras que deben ser evaluadas de una muestra de 10 g con el fin de lograr un valor representativo de la MDF y de la incidencia de medulación (expresada en porcentaje) en vellones individuales de alpacas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar del Estudio

El presente trabajo se realizó de noviembre de 2022 a enero de 2023. Las muestras de fibras de aproximadamente 10 g se obtuvieron de 62 alpacas de diversa edad, criadas en el Centro de Investigación y Producción de Camélidos Sudamericanos Lachocc (CIPCS – Lachocc), perteneciente a la Universidad Nacional de Huancavelica. El CIPCS – Lachocc se encuentra a una altitud



Figura 1. Extracción de submuestras en forma equidistante de una muestra de fibra de alpaca de aproximadamente 10 g

de 4280 msnm, con temperaturas que varían desde -5 a 0°C por las noches y durante el día entre 14 a 18°C , y con una precipitación pluvial que alcanza los 752 mm/año . Los análisis de las fibras se realizaron en el Laboratorio de Fibras Textiles del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico Natural Fiber's Tech SAC, ubicado en Lima, Perú.

Muestras

Cada muestra de aproximadamente 10 g de fibra fue tomada del costillar medio de cada alpaca de color blanco, de acuerdo a las recomendaciones de Aylan-Parker y McGregor (2002). Las fibras fueron cortadas a nivel de la piel de los animales y se guardaron en bolsas de papel debidamente etiquetadas. La MDF de las muestras varió de 20.2 a $32.8\text{ }\mu\text{m}$, mientras que el porcentaje de medulación varió de 5.7 a 93.6% .

Todas las muestras de fibras fueron lavadas, secadas y acondicionadas al menos 4 h antes de las evaluaciones. Luego, fueron separadas en dos grupos de 30 y 32 muestras, respectivamente. Las muestras del primer grupo fueron expandidas en una mesa, y se tomaron 17 submuestras por muestra de $8.5 \pm 0.31\text{ mg}$ (promedio \pm error estándar), de lugares equidistantes. Dicha operación fue

realizada con la finalidad de determinar la cantidad de submuestras necesarias para caracterizar la muestra de 10 g . Cada submuestra fue evaluada con el Fiber EC siguiendo las recomendaciones de Quispe *et al.* (2017), realizándose 510 mediciones. Del segundo grupo de muestras (32 muestras) se tomaron 9 submuestras por muestra en forma equidistante (evaluándose 288 submuestras), tal como se indica en la Figura 1, realizándose también la evaluación de la MDF y su respectiva desviación estándar (DEMDF) con el Fiber EC.

Adicionalmente, del primer grupo de muestras de fibras, también debidamente disgregadas en una longitud de 50 cm , se tomaron 9 submuestras de $227.0 \pm 27.3\text{ mg}$ de lugares equidistantes. Dichas submuestras se utilizaron para determinar el porcentaje total de fibras meduladas (PMedT), porcentaje de fibras con medulación fragmentada (PMed-Frag), con medulación discontinua (PMed-Disc), con medulación continua (PMedCont) y fuertemente meduladas (PFuertMed) mediante el equipo denominado Fiber Med, siguiendo las recomendaciones de Quispe *et al.* (2022). Adicionalmente, el equipo Fiber Med también reportó el diámetro medio de fibras meduladas (MDFMed), diámetro medio de fibras con medulación fragmentada

(MDFFrag), diámetro medio de fibras con medulación discontinua (MDFDisc), diámetro medio de fibras con medulación continua (MDFCont) y diámetro medio de fibras fuertemente meduladas (MDFFuertMed).

Análisis Estadísticos

Se determinaron los valores máximos y mínimos de las submuestras/muestra con respecto a cada variable en estudio: MDF, DEMDF, PMedT, PMedFrag, PMedDisc, PMedCont, PFuertMed, MDFMed, MDFFrag, MDFDisc, MDFCont y MDFFuertMed, luego se encontró la diferencia entre ellos por cada muestra, y finalmente se obtuvo el promedio respectivo.

Previo a los análisis de correlación y prueba de medias, se realizó un análisis exploratorio para evaluar la distribución normal y homogeneidad de varianza de los datos. En caso de cumplimiento se realizó el análisis de correlación de Pearson y la Prueba de «t» pareada; mientras que, al no cumplirse los supuestos exigidos por la estadística inferencial, se utilizó el análisis de correlación de Spearman y como prueba de medias se utilizó la prueba de suma de rangos de Wilcoxon. Las variables PMedCon y PFuert no tenían distribución normal ni homogeneidad de varianza.

Para evaluar el grado de asociación entre las mediciones de las submuestras con el promedio general de las submuestras se realizaron análisis de correlación (Pearson o Spearman). Además, se realizaron análisis de correlación entre los promedios de dos submuestras (en posiciones 1 y 3), de tres submuestras (en posiciones 1, 2 y 3), de cinco submuestras (en posiciones 1, 2, 3, 4 y 5) con el promedio de las 9 o 17 submuestras/muestra. Complementariamente se realizaron pruebas de medias («t» pareada o Wilcoxon), entre resultados y promedios parciales de las submuestras con el promedio de todas las submuestras, considerándose a estas últimas como el promedio representativo de cada muestra. En estos análisis se utilizó el software libre R (R Core Team, 2022).

La determinación de los componentes de varianza entre muestras y submuestras para cada una de las 12 variables en estudio se realizó mediante un modelo anidado o jerárquico: $Y_{ijk} = \mu + M_i + S_j(M_i) + e_{ijk}$, donde Y_{ijk} : es la i-ésima, j-ésima y k-ésima observación de cada una de las características en estudio; μ es la media poblacional; M_i : es la i-ésima muestra, considerada como aleatoria; $S_j(M_i)$: es el j-ésima submuestra dentro de su respectiva muestra; y e_{ijk} : es el error experimental. Para estos cálculos se utilizó el software VCE v.5.0 (Neumaier y Groeneveld, 1998). Finalmente, para evaluar si las diferencias entre submuestras tienen relación con los promedios totales de las muestras, se realizó el ploteo de datos entre los mismos, incluyendo los coeficientes de Pearson o de Spearman con su respectivo p-valor.

RESULTADOS

Diferencias entre submuestras

Los promedios de valores máximos, mínimos y diferencias máximas de las mediciones de submuestras/muestra de las 12 características en estudio se reportan en el Cuadro 1. Para la MDF se encontró entre submuestras dentro de una muestra que existe una diferencia máxima cercana a las 3 μm , que constituye cerca del 11% de la finura media, mientras que para la DEMDF la diferencia constituye cerca del 25% del promedio de la DEMDF. Asimismo, las diferencias de MDF de las fibras por tipo de medulación oscilan entre el 5 y 6% para MDFMed, MDFFrag, MDFDisc y MDFCont, los cuales son menores a la MDF total; sin embargo, para MDFFuertMed la diferencia alcanza el 34% del promedio respectivo, constituyéndose esta característica la más variable dentro de la evaluación de la MDF.

Estas diferencias entre submuestras se hacen más altas cuando se evalúan los porcentajes de tipos de fibra de acuerdo con su medulación, obteniéndose para este grupo una

Cuadro 1. Promedios de valores máximos, mínimos y diferencias máximas de las mediciones (en μm) de submuestras/muestra con respecto a características relacionadas con el diámetro medio y el porcentaje de fibras de acuerdo con el tipo de medulación (9 submuestras/muestra)

Variabes	Muestras (n)	Valores máximos (promedio)	Valores mínimos (promedio)	Medias de diferencias máximas
MDF	62	27.17 \pm 0.39	24.30 \pm 0.35	2.88 \pm 0.11
DEMDF	62	5.98 \pm 0.11	4.64 \pm 0.11	1.35 \pm 0.11
PMedT	30	61.64 \pm 3.85	48.65 \pm 3.87	13.00 \pm 1.23
PMedFrag	30	25.65 \pm 1.43	19.53 \pm 1.29	6.12 \pm 0.43
PMedDisc	30	14.11 \pm 1.32	9.04 \pm 1.08	5.06 \pm 0.45
PMedCont	30	25.08 \pm 2.44	17.06 \pm 2.00	8.04 \pm 0.71
PFuertMed	30	0.78 \pm 0.13	0.19 \pm 0.41	0.60 \pm 0.08
MDFMed	30	28.68 \pm 0.41	26.96 \pm 0.33	1.73 \pm 0.13
MDFFrag	30	25.56 \pm 0.38	24.22 \pm 0.31	1.34 \pm 0.13
MDFDisc	30	27.98 \pm 0.44	26.55 \pm 0.32	1.43 \pm 0.16
MDFCont	30	32.38 \pm 0.50	30.27 \pm 0.39	2.11 \pm 0.20
MDFFuertMed	30	54.24 \pm 0.96	38.33 \pm 1.00	15.92 \pm 1.00

MDF: media de diámetro de fibra, DEMDF: desviación estándar de la MDF; PMedT: porcentaje total de fibras meduladas; PMedFrag: porcentaje de fibras con medulación fragmentada; PMedDisc: porcentaje de fibras con medulación discontinua; PMedCont: porcentaje de fibras con medulación continua; PFuertMed: porcentaje de fibras fuertemente meduladas; MDFMed: Diámetro medio de fibras meduladas; MDFFrag: Diámetro medio de fibras con medulación fragmentada; MDFDisc: Diámetro medio de fibras con medulación discontinua; MDFCont: Diámetro medio de fibras con medulación continua; MDFFuertMed: Diámetro medio de fibras fuertemente meduladas

menor diferencia en PMedT (23%), y llegando a una diferencia hasta del 123% con respecto al promedio del PFuertMed, indicando que la mayor diferencia entre submuestras dentro de una muestra se encontraría cuando se evalúa la incidencia o porcentaje de fibras fuertemente meduladas u objetables.

Al evaluar la relación entre una submuestra/muestra con el promedio general de 17 submuestras/muestra en torno a la MDF (medida con el Fiber EC) se encontró un coeficiente de correlación de Pearson ($\langle r \rangle$) mínimo de 0.898 (Cuadro 2) y de 0.950 cuando se consideraron solamente 9 submuestras/muestra (Cuadro 3), aunque también se encontraron $\langle r \rangle$ máximos de 0.982 y 0.962, tal como se observan en los Cuadros 2 y 3, respectivamente; sin embargo, los coeficientes de correlación incrementaron hasta 0.990 cuando se relacionaron promedios de al me-

nos 3 submuestras con el promedio general de 9 submuestras/muestra. Adicionalmente, cuando se realizaron las pruebas de «t» pareadas para comparar medias entre una submuestra por muestra con el promedio general de 9 y 17 submuestras/muestras, no se encontraron diferencias significativas, con excepción de uno, cuando se comparó una muestra/muestra con el promedio de 9 submuestras/muestra ($p\text{-valor}=0.050$) correspondiente a una diferencia de 0.21 μm .

Los resultados de los análisis de correlación y prueba de medias del porcentaje de los tipos de fibras de alpaca de acuerdo con su medulación, entre submuestras/muestra con el promedio general para cada caso ($n=9$ submuestras/muestra), se reportan en el Cuadro 4. Se observan las correlaciones mínimas entre una submuestra/muestra con el

Cuadro 2. Análisis de correlación y prueba de “t” pareada del diámetro medio (MDF) de la fibra de alpaca, entre diferentes submuestras/muestra (n=17 submuestras/muestra; N=30 muestras)

Variable	Análisis de la correlación de Pearson (r)			Prueba de “t” pareada	
	r	Intervalo de confianza de r	p-valor	Diferencia de medias (μ)	p-valor
Mínima entre 1 medición y media de 17 mediciones	0.898	0.702 0.968	1.294×10^{-5}	0.001	0.997
Máxima entre 1 medición y media de 17 mediciones	0.982	0.943 0.995	4.27×10^{-10}	0.351	0.203
Entre media de 1_3 y media de 17 mediciones	0.981	0.939 0.994	6.981×10^{-10}	0.119	0.404
Entre media de 1_5 y media de 17 mediciones	0.985	0.952 0.995	1.544×10^{-10}	0.087	0.466
Entre media de 1_9 y media de 17 mediciones	0.995	0.984 0.999	1.754×10^{-13}	0.069	0.320

Cuadro 3. Análisis de correlación y prueba de “t” pareada del diámetro medio MDF de la fibra de alpaca, entre diferentes submuestras/muestra (n=9 submuestras/muestra; N=62 muestras)

Variable	Análisis de la correlación de Pearson (r)			Prueba de “t” pareada	
	r	Intervalo de confianza de r	p-valor	Diferencia de medias (μ)	p-valor
Mínima entre 1 medición y media de 9 mediciones	0.950	0.918 0.970	2.2×10^{-16}	0.004	0.973
Máxima entre 1 medición y media de 9 mediciones	0.962	0.937 0.977	2.2×10^{-16}	0.212	0.050
Entre media de 1 y 3 y media de 9 mediciones	0.975	0.959 0.985	2.2×10^{-16}	0.013	0.881
Entre media de 1, 2, 3 y media de 9 mediciones	0.990	0.984 0.994	2.2×10^{-16}	0.001	0.978
Entre media de 1, 2, 3, 4, 5 y media de 9 mediciones	0.997	0.995 0.998	2.2×10^{-16}	0.013	0.639

promedio general, que para el caso de PMedT se ubica alrededor de 0.965; sin embargo, para el caso del PFuertMed el coeficiente de correlación es 0.786. Asimismo, las correlaciones máximas entre una submuestra/muestra con el promedio general en todos los casos fluctúa en el rango de 0.883 a 0.989, siendo

el valor más frecuente 0.980 y para el caso del PFuertMed alcanza solo 0.883. Sin embargo, cuando se correlacionan promedio de 3 y 5 submuestras/muestra con el promedio general, las correlaciones se incrementan hasta 0.99, mientras que para el caso del PFuertMed se eleva a 0.978.

Cuadro 4. Análisis de correlación y prueba de medias del porcentaje de tipos de fibras de alpaca de acuerdo con su medulación, entre submuestras/muestra (n=9 submuestras/muestra; N=30 muestras)

	PMedT	PMedFrag	PMedDisc	PMedCont*	PFuertMed*
Submuestras correlacionadas	Análisis de correlación				
Mínima entre 1 medición y media de 9 mediciones	0.965 ***	0.946 ***	0.945 ***	0.946 ***	0.786 ***
Máxima entre 1 medición y media de 9 mediciones	0.989 ***	0.976 ***	0.983 ***	0.983 ***	0.883 ***
Entre media de 1 y 3 y media de 9 mediciones	0.992 ***	0.991 ***	0.989 ***	0.984 ***	0.842 ***
Entre media de 1, 2, 3 y media de 9 mediciones	0.998 ***	0.996 ***	0.996 ***	0.991 ***	0.941 ***
Entre media de 1, 2, 3, 4, 5 y media de 9 mediciones	0.998 ***	0.996 ***	0.999 ***	0.995 ***	0.978 ***
Variables contrastadas	Prueba de medias				
Mínima entre 1 medición y media de 9 mediciones	55.3 vs. 55.1 0.97	23.3 vs. 22.7 0.772	11.0 vs. 11.4 0.798	19.8 vs. 17.8 0.865	0.15 vs. 0.27 0.266
Máxima entre 1 medición y media de 9 mediciones	55.1 vs. 55.1 0.993	23.3 vs. 22.7 0.987	11.4 vs. 11.4 0.998	17.4 vs. 17.8 0.959	0.30 vs. 0.27 0.813
Entre media de 1 y 3 y media de 9 mediciones	54.9 vs. 55.1 0.974	22.7 vs. 22.7 0.982	11.3 vs. 11.4 0.940	18.9 vs. 17.8 0.936	0.28 vs. 0.27 0.865
Entre media de 1, 2, 3 y media de 9 mediciones	55.0 vs. 55.1 0.988	22.7 vs. 22.7 0.983	11.5 vs. 11.4 0.972	17.1 vs. 17.8 0.994	0.28 vs. 0.27 0.994
Entre media de 1, 2, 3, 4, 5 y media de 9 mediciones	55.2 vs. 55.1 0.975	22.7 vs. 22.7 0.994	11.6 vs. 11.4 0.935	17.6 vs. 17.8 0.988	0.26 vs. 0.27 0.964

PMedT: porcentaje total de fibras meduladas; PMedFrag: porcentaje de fibras con medulación fragmentada; PMedDisc: porcentaje de fibras con medulación discontinua; PMedCont: porcentaje de fibras con medulación continua; PFuertMed: porcentaje de fibras fuertemente meduladas

En las pruebas de correlación, en cada casilla se muestra el coeficiente de correlación de Pearson (arriba) y el grado de significancia (abajo). Para PMedCont* y PFuertMed* se utilizó correlación de Spearman. En torno a la prueba de comparación, en cada casilla se muestran los promedios (o medianas) comparados (arriba) y p-valor (abajo). Prueba de suma de rangos de Wilcoxon fue utilizada para PMedCont* y PFuertMed

De otro lado, cuando se realizan las comparaciones de medias entre una submuestra/muestra o promedios de dos (1 y 3), tres (1, 2 y 3) o cinco (1, 2, 3, 4 y 5) sub-

muestras/muestras con el promedio general, no se encontraron diferencias significativas, aunque las diferencias del porcentaje de medulación llegan a ser 1.1% para el caso del

Cuadro 5. Análisis de correlación y prueba de medias del diámetro medio de fibra (MDF) por tipo de medulación, entre submuestras/muestra (n=9 submuestras/muestra; N=30 muestras)

	MDF_Med	MDF_Frag	MDF_Disc	MDF_Cont	MDF_FuertMed
Submuestras	Análisis de correlación				
Mínima entre 1 medición y media de 9 mediciones	0.934 ***	0.945 ***	0.944 ***	0.932 ***	0.185 n.s.
Máxima entre 1 medición y media de 9 mediciones	0.994 ***	0.984 ***	0.987 ***	0.972 ***	0.761 *
Entre media de 1 y 3 y media de 9 mediciones	0.978 ***	0.989 ***	0.993 ***	0.971 ***	0.555 **
Entre media de 1,2, 3 y media de 9 mediciones	0.988 ***	0.991 ***	0.998 ***	0.981 ***	0.638 **
Entre media de 1, 2, 3, 4, 5 y media de 9 mediciones	0.995 ***	0.997 ***	0.998 ***	0.996 ***	0.888 ***
Variables contrastadas	Prueba de medias				
Mínima entre 1 medición y media de 9 mediciones	28.0 vs. 28.0 0.670	25.1 vs. 24.9 0.702	27.0 vs. 27.2 0.774	31.1 vs. 31.3 0.716	44.82 vs. 46.86 0.160
Máxima entre 1 medición y media de 9 mediciones	27.8 vs. 27.8 0.956	24.9 vs. 24.9 0.994	27.2 vs. 27.2 0.994	31.2 vs. 31.3 0.999	46.97 vs. 46.86 0.943
Entre media de 1 y 3 y media de 9 mediciones	27.8 vs. 27.8 0.926	24.9 vs. 24.9 0.922	27.2 vs. 27.2 0.971	31.5 vs. 31.3 0.776	46.06 vs. 46.86 0.468
Entre media de 1,2,3 y media de 9 mediciones	27.7 vs. 27.8 0.983	24.9 vs. 24.9 0.980	27.2 vs. 27.2 0.997	31.5 vs. 31.3 0.943	46.00 vs. 46.86 0.397
Entre media de 1, 2, 3, 4, 5 y media de 9 mediciones	27.8 vs. 27.8 0.987	24.9 vs. 24.9 0.994	27.2 vs. 27.2 0.990	31.3 vs. 31.3 0.996	47.24 vs. 46.86 0.707

MDFMed: Diámetro medio de fibras meduladas; MDFFrag: Diámetro medio de fibras con medulación fragmentada; MDFDisc: Diámetro medio de fibras con medulación discontinua; MDFCont: Diámetro medio de fibras con medulación continua; MDFFuertMed: Diámetro medio de fibras fuertemente meduladas
Sobre el análisis de correlación, en cada casilla se muestra el coeficiente de correlación de Pearson (arriba) y el grado de significancia (abajo). Sobre la prueba de comparación, en cada casilla se muestran los promedios comparados (arriba) y p-valor (abajo)

PMedCont. Sin embargo, las diferencias que se observan al comparar promedios de 3 y 5 submuestras/muestra con el promedio general apenas llegan a 0.1% o menos de medulación en la mayoría de los casos, aunque en una sola llegó a obtenerse una diferencia de 0.6%.

Los resultados de análisis de correlación y prueba de medias de la MDF por tipo de fibra de acuerdo con su medulación, entre diferentes submuestras/muestra con el promedio general para cada caso (n=9 submuestras/muestra), se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 6. Componentes de varianza entre muestras, submuestras y total (expresados en μm^2 y porcentaje con respecto a la varianza total) de características ligadas a la media de diámetro de fibras (MDF) e incidencia de medulación (N=62 muestras)

Caracteres	Varianzas \pm error estándar			Varianza porcentual respecto a la varianza total	
	Entre muestras	Entre submuestras	Total	Entre muestras	Entre submuestras
MDF (μm^2)	8.44 \pm 1.52	0.90 \pm 0.05	9.34 \pm 1.57	90.34	9.64
DEMDF (μm^2)	0.37 \pm 0.07	0.23 \pm 0.01	0.60 \pm 0.08	61.67	38.33
PMedT (%)	452.94 \pm 49.18	26.33 \pm 2.28	479.30 \pm 51.46	94.51	5.49
PMedFrag (%)	55.39 \pm 5.64	5.67 \pm 0.49	61.06 \pm 6.13	90.71	9.29
PMedDisc (%)	42.41 \pm 5.10	3.58 \pm 0.34	46.00 \pm 5.44	92.22	7.78
PMedCont (%)	147.93 \pm 11.50	8.69 \pm 0.77	156.63 \pm 12.27	94.45	5.55
PFuertMed (%)	0.26 \pm 0.04	0.06 \pm 0.01	0.33 \pm 0.05	81.25	18.75
MDF_Med (μm^2)	3.88 \pm 0.39	0.37 \pm 0.03	4.25 \pm 0.42	91.29	8.71
MDF_Frag (μm^2)	3.44 \pm 0.36	0.27 \pm 0.02	3.71 \pm 0.38	92.72	7.28
MDF_Disc (μm^2)	4.07 \pm 0.44	0.30 \pm 0.03	4.37 \pm 0.47	93.14	6.86
MDF_Cont (μm^2)	5.68 \pm 0.72	0.58 \pm 0.05	6.25 \pm 0.77	90.73	9.27
MDF_FuertMed (μm^2)	45.55 \pm 14.79	102.66 \pm 9.43	148.22 \pm 24.22	30.74	69.26

MDF: media de diámetro de fibra; DEMDF: desviación estándar de la MDF; PMedT: porcentaje total de fibras meduladas; PMedFrag: porcentaje de fibras con medulación fragmentada; PMedDisc: porcentaje de fibras con medulación discontinua; PMedCont: porcentaje de fibras con medulación continua; PFuertMed: porcentaje de fibras fuertemente meduladas; MDFMed: Diámetro medio de fibras meduladas; MDFFrag: Diámetro medio de fibras con medulación fragmentada; MDFDisc: Diámetro medio de fibras con medulación discontinua; MDFCont: Diámetro medio de fibras con medulación continua; MDFFuertMed: Diámetro medio de fibras fuertemente meduladas

En general, las correlaciones de una muestra y el promedio de 2, 3 o 5 submuestras/muestra son superiores a 0.90, con excepción para MDF_FuertMed, que en un caso presentó un bajo valor (0.185) no significativo; sin embargo, cuando se relaciona el promedio de 5 submuestras/muestra con el promedio general se alcanza un «r» alrededor de 0.90. Con respecto a la MDF de los otros tipos de fibras de acuerdo con su medulación, cuando se relacionan promedios de 3 y 5 submuestras se logran correlaciones mayores a 0.98.

Por otro lado, cuando se analizan las comparaciones de medias entre MDF de los diferentes tipos de fibras de acuerdo con su medulación entre una submuestra/muestra y

promedios de 2, 3 o 5 submuestras/muestras, no se encontraron diferencias significativas, debido a la similitud de los promedios.

En la descomposición de varianza entre muestras y submuestras de las características evaluadas (Cuadro 6), se encontró que la variación entre muestras en 9 de las 12 características evaluadas supera el 90%; mientras que entre submuestras/muestras es ligeramente menor al 10%. Las variaciones entre muestras resultan ser bajas para la MDF_FuertMed, DEMDF y PFuertMed (30.74, 61.67 y 81.25%, respectivamente), y contrariamente, las más altas variaciones entre muestras y las más bajas variación entre submuestras/muestras fueron para el

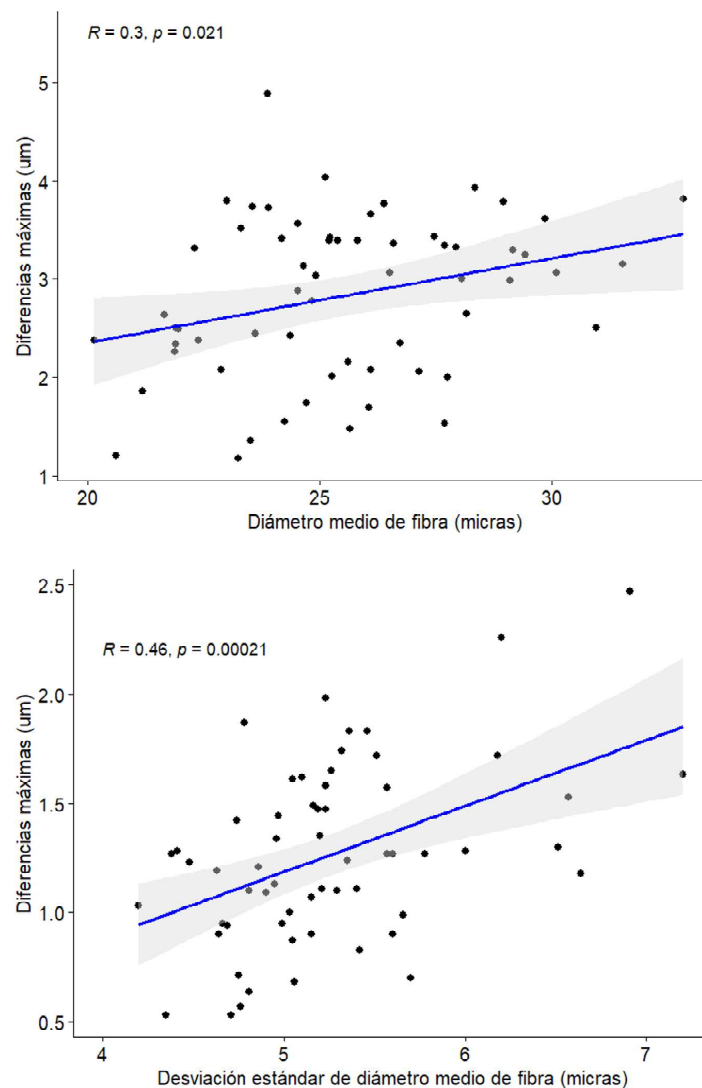


Figura 2. Ploteo de datos del diámetro medio de la fibra y la desviación estándar del diámetro medio de la fibra con las diferencias máximas entre mediciones de submuestras. Se muestra el coeficiente de correlación de Pearson (R) y su respectivo p-valor

PMedT, PMedCont y PMedDisc, con valores que oscilan entre 93 y 94%.

En la Figura 2 se observa que a medida que incrementan tanto la MDF y DEMDF de las fibras, también se incrementan las diferencias entre submuestras/muestras, obteniéndose correlaciones significativas que varían entre 0.3 y 0.5 (valor de «r es diferente de 0»). Esta tendencia resulta similar para las características de PMedFrag, MedPDisc,

PMedCont y PFuertMed; sin embargo, para el caso de PMedT, no existe tendencia alguna, lo que significa que las diferencias entre submuestras/muestra no incrementan ni disminuyen cuando el PMedT incrementa o disminuye (Figura 3). Asimismo, cuando se evalúan características relacionadas a la MDF por tipo de fibra de acuerdo con su medulación, las diferencias entre submuestras/muestra también se incrementan a medida que los valores de MDF_Med, MDF_Frag,

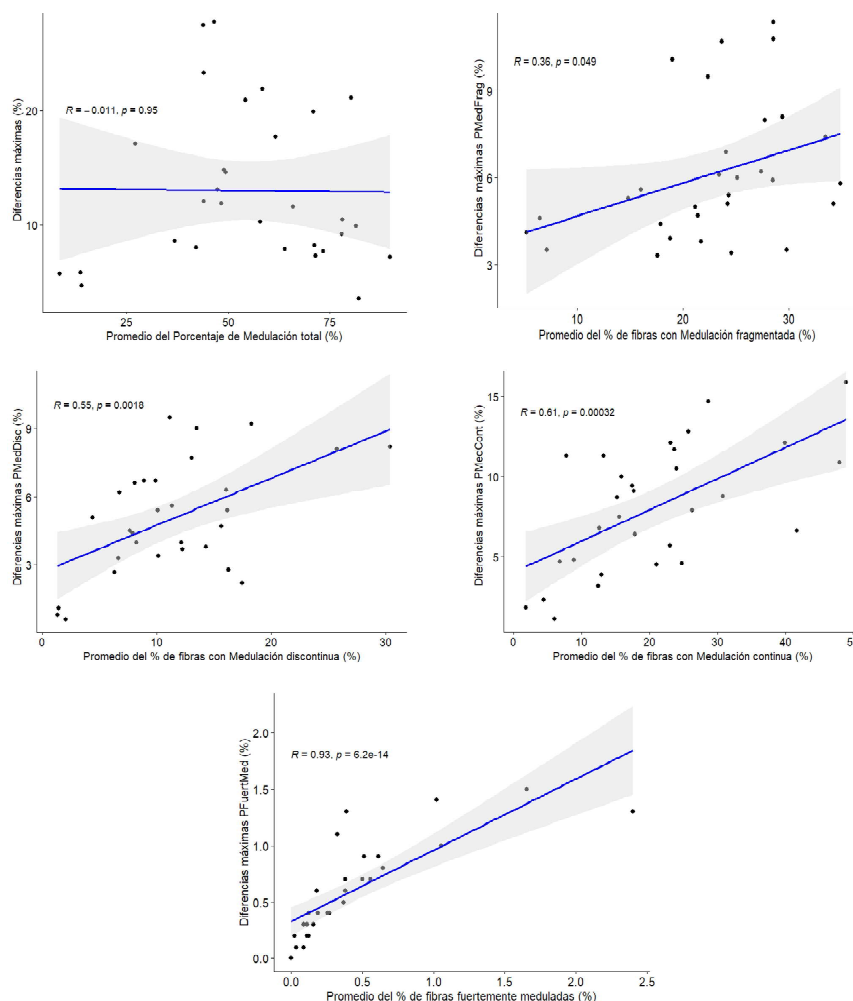


Figura 3. Ploteo de datos del porcentaje de medulación total (PMedT), porcentaje de fibras con medulación fragmentada (PMedFrag), con medulación discontinua (PMedDisc), con medulación continua (PMedCont) y fuertemente meduladas (PFuertMed) con sus correspondientes diferencias máximas de las mediciones de submuestras. Se muestra el coeficiente de correlación de Pearson (R) y su respectivo p-valor. Para PMedCont y PFuertMed se muestran los coeficientes de correlación de Spearman

MDFD_Disc y MDF_Cont; sin embargo, las diferencias entre submuestras/muestra no sufren variaciones significativas cuando la MDF_FuertMed se incrementan (Figura 4). Finalmente, la Figura 5 muestra que cuando se relacionan MDF_FuertMed de resultados de una submuestra/muestra con promedios de 9 submuestras/muestras, se encuentra una correlación baja y no significativa entre ellas ($r=0.18$), pero cuando se relacionan el promedio de 5 submuestras/muestra con el promedio general, si se encuentra una correlación alta ($r=0.89$).

DISCUSIÓN

Aunque se han realizado trabajos para determinar variaciones de la MDF a lo largo de la fibra, entre fibras/muestra, entre muestras/vellones y en vellones principalmente en lana de ovinos (Summer y Revfeim, 1973; Hansford, 1992; Scobie *et al.*, 2015), en fibras de cabras (Newman y Paterson, 1999) y en fibras de alpacas (Newman y Paterson, 1996; Aylan-Parker y McGregor, 2002; McGregor *et al.*, 2012); estudios

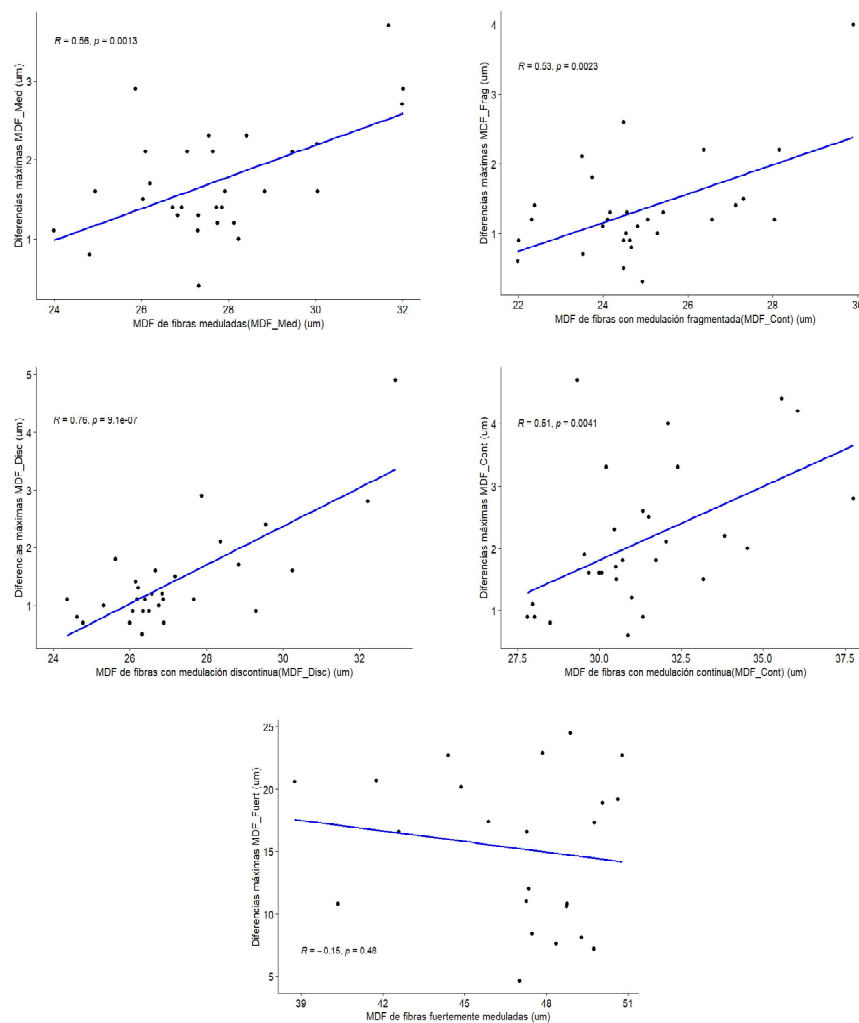


Figura 4. Ploteo de datos entre MDF de fibras meduladas (MDF_Med), con medulación fragmentada (MDF_Frag), medulación discontinua (MDF_Disc), medulación continua (MDF_Cont) y fuertemente meduladas (MDF_Fuert) con sus respectivas diferencias máximas de MDF_Med entre mediciones de submuestras. Se muestra el coeficiente de correlación de Pearson (R) y su respectivo p-valor

sobre la variación entre submuestras dentro de una muestra de fibras de alpaca son muy escasos, motivo por el cual, los hallazgos que se presentan en este trabajo son novedosos.

La variación encontrada de la MDF y la DEMDF entre submuestras/muestras indican que una submuestra pequeña al azar (por ejemplo, entre 8 a 15 mg) no constituye la representación de una muestra de 10 g, por tanto, tampoco sería un valor representativo del vellón de una alpaca, que en última

instancia es la que se necesita determinar. Al evaluar una pequeña submuestra de una muestra al azar, se corre el riesgo de tomar una submuestra muy fina o muy gruesa, con una variación muy baja o muy alta en cada muestra; de tal modo, que dichos valores no serían buenos indicadores fenotípicos para realizar un adecuado ranking de animales en torno a la finura y variación de sus fibras, lo que conllevaría a tener una baja exactitud de las mediciones que conducirían a un reducido progreso genético (Bourdon, 2014).

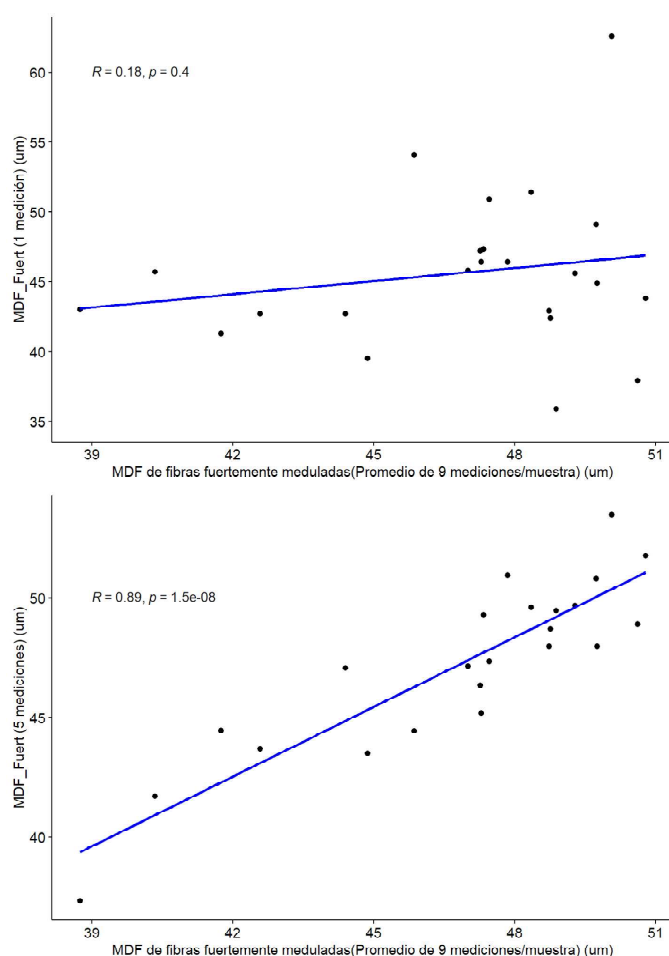


Figura 5. Ploteo de datos de MDF de fibras fuertemente meduladas (MDF_Fuert) considerando el promedio de 9 mediciones/muestra, con 1 y 5 mediciones/muestra (arriba y abajo, respectivamente). Se muestra el coeficiente de correlación de Pearson (R) y su correspondiente p-valor

En ese sentido, para tener un valor representativo de la MDF y DEMDF del vellón de las alpacas, mediante el procedimiento de equipos como el Fiber EC y OFDA, que utilizan submuestras de pesos reducidos (entre 8 a 15 mg), sería adecuado tomar entre 9 y 17 submuestras de diferentes lugares de la muestra que solamente una submuestra; sin embargo, para fines prácticos se requiere por lo menos evaluar entre 3 a 5 submuestras/muestra y luego obtener el promedio, pues con ella se logran correlaciones altas con el promedio general de la muestra de 10 g ($r = 0.99$).

De otro lado, para evaluar el PMedT, PMedFrag, PMedDisc y PMedCont, así como sus respectivos MDF mediante el procedimiento del Fiber Med (Bonilla *et al.*, 2022; Quispe *et al.*, 2022) de modo que este resultado sea representativo de una muestra de 10 g (AS/NZS, 2000), se requeriría obtener el promedio de la evaluación de 2 o 3 submuestras/muestra, pues con ellos se logra tener una alta correlación y con valores similares con el promedio general ($r = 0.99$). Sin embargo, para evaluar el PFuertMed y la MDF_FuertMed, el valor representativo se-

ría el promedio de la evaluación de un mínimo de 5 submuestras/muestra, tomadas en forma equidistante de la muestra de 10 g dispersada en una longitud alrededor de 50 cm. Esto se debería que, al tener una incidencia reducida, la diferencia de hallazgos de 1, 2 o 3 fibras dentro de las submuestras tienen un fuerte impacto en su incidencia expresado en porcentaje, demostrada por una alta variabilidad entre submuestras (Cuadro 6). Es así que se requeriría evaluar una mayor cantidad de fibras/submuestra para tener un valor representativo, debido a que el tamaño muestral tiene relación directa con la variabilidad (Kuehl, 2000).

La variancia entre muestras resultaría ser equivalente a la variación entre vellones, lo que representa también la variancia fenotípica de la MDF. La variancia de MDF encontrada ($8.44 \pm 1.52 \mu\text{m}^2$) resulta ser cercano a lo reportado por Gutiérrez *et al.* (2009) quienes trabajando en muestras de fibras de alpacas Huacaya y Suri encontraron una variancia para MDF de $9.60 \mu\text{m}^2$; sin embargo, Quispe y Quispe-Ramos (2016) encontraron una variancia para MDF de 4.82 que es inferior a lo encontrado en el presente trabajo. Asimismo, también en vicuñas, se ha reportado que la variancia de la MDF entre vellones constituye solo el 28.3% de la variación total, lo cual también es mucho menor al reportado en el presente trabajo (90.34%). Estas diferencias se deberían al efecto de la locación de los animales y a la especie.

CONCLUSIONES

- Con fines prácticos, para obtener un valor representativo de la MDF y DEMDF de una muestra de 10 g de un vellón de alpaca, utilizando el FIBER EC y otros equipos que utilizan similar procedimiento, se requieren por lo menos evaluar de 3 a 5 submuestras/muestra, logrando una alta correlación con el promedio general ($r = 0.99$).
- Para evaluar el PMedT, PMedFrag, PMedDisc y PMedCont con sus respec-

tivos MDF usando el Fiber Med, cuyos resultados sean representativos de una muestra de 10 g, se requeriría evaluar el promedio de 2 o 3 submuestras/muestra, logrando una alta correlación con el promedio general ($r = 0.99$).

- Para obtener resultados representativos de una muestra de 10 g en la evaluación del PFuertMed y la MDF_FuertMed se requeriría de al menos 5 submuestras/muestra, tomadas en forma equidistante en una longitud de 50 cm.

Agradecimientos

Los autores agradecen a PROINNOVATE, institución del Ministerio de la Producción, que financió el presente estudio a través del Contrato N.º 451-PIEC2-2023.

LITERATURA CITADA

1. **AS/NZS. 2000. AS/NZS 4492.4:2000** Wool-Fleece testing and measurement—Measurement of mean fibre diameter and determination of fibre diameter distribution using the SIROLAN-LASERSCAN measuring system. Joint Standards Australia/Standards New Zealand Committee Tx/12, 4492.4.
2. **AWTA. 2000.** Fleece measurement. Australian Wool Testing Authority. [Internet]. Available in: <https://www.awta-wooltesting.com.au/index.php/en/services/raw-wool-testing/fleece-measurement>
3. **Aylan-Parker J, McGregor BA. 2002.** Optimising sampling techniques and estimating sampling variance of fleece quality attributes in alpacas. Small Ruminant Res 44: 53-64. doi: 10.1016/S0921-4488(02)00038-X
4. **Bonilla MQ, Serrano-Arriazu L, Trigo JD, Bonilla CQ, Gutiérrez AP, Peña EQ. 2022.** Application of artificial intelligence and digital images analysis to automatically determine the percentage of fiber medullation in alpaca fleece samples. Small Ruminant Res 213:

106724. doi: 10.1016/j.smallrumres.-2022.106724
5. **Botha AF, Hunter L. 2010.** The measurement of wool fibre properties and their effect on worsted processing performance and product quality. Part 1: The objective measurement of wool fibre properties. *Textile Prog* 42: 227-339. doi: 10.1080/00405167.2010.486932
 6. **Bourdon RM. 2014.** Understanding animal breeding. 2nd ed. Pearson Education Limited. 538 p.
 7. **Cottle DJ, Baxter BP. 2015.** Wool metrology research and development to date. *Textile Prog* 47: 163-315. doi: 10.1080/00405167.2015.1108543
 8. **Gutiérrez JP, 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
 9. **Hansford K. 1992.** Fibre diameter distribution: Implications for wool production. *Wool Technol Sheep Breeding* 40: 2-30.
 10. **IWTO. 2017. IWTO-47-07** Measurement of the mean and distribution of fibre diameter of wool using an optical fibre diameter analyser (OFDA9. International Wool Textile Organization.
 11. **Kuehl RO. 2000.** Design of experiments: statistical principles of research design and analysis. 2nd ed. Thomson Learning. 666 p.
 12. **McGregor BA, Ramos HE, Quispe Peña EC. 2012.** Variation of fibre characteristics among sampling sites for Huacaya alpaca fleeces from the High Andes. *Small Ruminant Res* 102: 191-196. doi: 10.1016/j.smallrumres.2011.07.016
 13. **Neumaier A, Groeneveld E. 1998.** Restricted maximum likelihood estimation of covariances in sparse linear models. *Genet Sel Evol* 30: 3. doi:10.1186/1297-9686-30-1-3
 14. **Newman SAN, Paterson DJ. 1999.** Variation in fibre and fleece characteristics between and within South African, New Zealand, and South African x New Zealand Angora goat genotypes. *New Zeal J Agr Res* 42: 77-82. doi: 10.1080/00288233.1999.9513355
 15. **Newman SA, Paterson DJ. 1996.** Variation in fleece characteristics over the body of alpacas. *Proc New Zeal Soc An* 56: 338-341.
 16. **Quispe EC, Quispe-Ramos R. 2016.** Componentes de varianza y repetibilidad de características productivas y textiles de la fibra en alpacas (*Vicugna pacos*) Huacaya criadas a nivel comunal. *Arch Latinoam Prod Anim* 24:217-224.
 17. **Quispe E, Quispe M, Quispe C, Poma A, Paucar-Chanca R, Cruz A, McGregor BA. 2022.** Relationships between the incidence and degree of medullation with the diameter of alpaca fibers evaluated using a novel device based on artificial intelligence. *J Text I* 114: 1016-1031. doi: 10.1080/00405000.-2022.-2105110
 18. **Quispe MD, Benavidez G, Sauri RA, Bengoechea JJ, Quispe EC. 2017.** Development and preliminary validation of an automatic digital analysis system for animal fibre analysis. *S Afr J Anim Sci* 47: 822. doi: 10.4314/sajas.v47i6.10
 19. **R Core Team. 2022.** R: The R Project for Statistical Computing. [Internet]. Available in: <https://www.r-project.org/>
 20. **Radzik-Rant A, Wielechowska M, Rant W. 2021.** Variation in wool characteristics across the body in a herd of alpacas kept in Poland. *Animals* 11: 2939. doi: 10.3390/ani11102939
 21. **Scobie DR, Grosvenor AJ, Bray AR, Tandon SK, Meade WJ, Cooper AMB. 2015.** A review of wool fibre variation across the body of sheep and the effects on wool processing. *Small Ruminant Res* 133: 43-53. doi: 10.1016/j.smallrumres.-2015.10.025
 22. **Summer RM, Revfeim KJA. 1973.** Sources of variation and design criteria for wool fibre diameter measurements for New Zealand Romney sheep. *New Zeal J Agr Res* 16: 169-176. doi: 10.1080/00288233.1973.10421131