



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



HEREDABILIDAD DEL DIÁMETRO Y MÉDULACIÓN DE FIBRA EN ALPACAS (*Vicugna pacos* L.) BLANCAS SURI - ANEXO QUIMSACHATA, INIA ILLPA – PUNO

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. VILK MODESTO CHECALLA MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

A mis queridos padres Elisban C. Checalla Ponce y María J. Mamani Chiccalla, por haberme forjado como persona; los logros obtenidos se los debo a ellos; por su paciencia, amor y sus consejos que fueron pilares para mi formación profesional; por el gran ejemplo.

A mis queridos hermanos Ademir, Erardo, Mario, Joaquin y a mi hermana querida Meliza, por el apoyo y afecto incondicional, por sus consejos en todo momento.

Con amor a Fodi Beatriz por la motivación, dedicación, paciencia por el apoyo y afecto incondicional.

Vilk Checalla



AGRADECIMIENTOS

Mi eterna gratitud a Dios, por ser el guía y guardian a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Al Instituto nacional de innovación agraria INIA- Illpa – Puno, por facilitarme los equipo para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A la Universidad Nacional del Altiplano, por haberme dado la oportunidad de formarme en sus aulas. A la Facultad de Ciencias Agrarias; Escuela profesional de Ingeniería Agronómica, a sus autoridades docentes y personal administrativo, por haber compartido su enseñanza, orientación académica y moral durante el largo camino de mi formación profesional.

Al D. Sc. Javier Mamani Paredes; director del presente trabajo de investigación, por su valiosa dirección, asesoría y aportes ofrecida durante el proceso de ejecución de tesis a quien doy mi más sincero agradecimiento.

A los jurados dictaminadores: Ing° M. Sc. Luis Amílcar Bueno Macedo, D. Sc. Ali William Canaza Cayo e Ing° M. Sc. Jesús Sánchez Mendoza, por posibilitar la ejecución de la tesis contribuyendo al desarrollo de la misma.

Al MVZ. M.S(c). Ruben Herberht Mamani Cato por sus valiosas enseñanzas, asesoramiento y dedicación dada mi persona y al proyecto de investigación.

Vilk Checalla



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN	13
ABSTRACT.....	14
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. OBJETIVO GENERAL	16
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. LA ALPACA	17
2.1.1. Origen	18
2.1.2. Población de alpacas en el Perú.....	19
2.1.3. Población de alpacas en el departamento de Puno	20
2.2. ESTRUCTURA DE LA PIEL DE ALPACA	21



2.2.1. Epidermis	21
2.2.2. Dermis.....	23
2.3. FOLÍCULOS PILOSOS.....	24
2.4. ESTRUCTURA DE LA FIBRA	25
2.4.1. Capa cuticular	25
2.4.2. Capa cortical	26
2.4.3. Capa medular	27
2.5. CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS DE LA ALPACA.....	28
2.5.1. Peso del vellón	28
2.5.2. Longitud de mecha.....	29
2.5.3. Longitud de la fibra.....	29
2.6. CARACTERÍSTICAS TEXTILES DE LA FIBRA DE ALPACA	30
2.6.1. Promedio del diámetro de la fibra.....	30
2.6.2. Médula de la fibra	31
2.6.3. Características físicas de las fibras meduladas	32
2.6.3.1. Clasificación de las fibras meduladas	33
2.6.4. Coeficiente de variabilidad del diámetro de la fibra.....	34
2.6.5. Factor de confort	34
2.6.6. Factor de picazón	35
2.6.7. Finura al hilado	36
2.6.8. Índice de curvatura.....	37
2.7. Estimación de parámetros genéticos.....	38



2.7.1. Caracteres cualitativos y cuantitativos.....	39
2.7.2. Heredabilidad.....	40
2.7.3. Correlaciones genéticas	41
2.7.4. Repetibilidad.....	43

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN.....	44
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS.....	44
3.2.1. Equipos	44
3.2.2. Insumos	45
3.2.3. Materiales de trabajo.....	45
3.3. MATERIAL EXPERIMENTAL.....	46
3.3.1. Alpacas.....	46
3.3.2. Registros	46
3.3.2.1. Registro de empadre controlado:	46
3.3.2.2. Registro de parición:	46
3.3.2.3. Creación del Registro de genealógico.....	46
3.3.3. Muestra de fibra.....	47
3.3.3.1. Lavado de la muestra de fibra	47
3.4. MEDICIONES	47
3.4.1. Observación del tipo de médula.....	48
3.4.2. Medición del diámetro de médula	49



3.5. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS	50
3.5.1. Modelo animal	51
3.5.2. Heredabilidad.....	53
3.5.3. Correlación genética	53

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. HEREDABILIDAD Y CORRELACIONES GENÉTICAS PARA CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE LA FIBRA.....	54
4.2. HEREDABILIDAD Y CORRELACIÓN GENÉTICA PARA LA MEDULACIÓN Y DIÁMETRO DE LA FIBRA.....	56
4.2.1. Heredabilidad.....	56
4.2.2. Correlación genética entre el diámetro de la fibra individual y la medulación de la fibra.....	57
4.3. RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DE FIBRAS EN MICROSCOPIO DE PROYECCIÓN	59
4.3.1. Características tecnológicas de la fibra.....	59
4.3.1.1. Promedio del diámetro de fibra.....	61
4.3.1.2. Coeficiente de variación del Promedio del diámetro de fibra	62
4.3.1.3. Factor de confort	62
4.3.1.4. Finura al hilado	63
4.3.1.5. Diámetro de médula	64
4.3.1.6. Porcentaje de medulación	65



4.3.2. Correlación y regresión.....	66
V CONCLUSIONES.....	69
VI RECOMENDACIONES	70
VII REFERENCIAS.....	71
ANEXOS.....	81

Área: Producción Animal.

Tema: Mejoramiento genético animal.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 19 de marzo 2021.



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de la sección longitudinal de la estructura de la piel adaptada de Hardy y Lyne (1955).	24
Figura 2. Diagrama de la sección transversal de la estructura de la piel, adaptada de Hardy y Lyne (1955).	25
Figura 3. Estructura de la fibra, adaptado de Powell y Rogers (1997).	28
Figura 4. Tipos de médula en la fibra de alpaca (Pinares <i>et al.</i> , 2018).	34
Figura 5. Expresión del factor de picazón, sobre la piel (Naylor, 2017).	36
Figura 6. Forma de medición de la curvatura de la fibra (Fish et al., 1999).	37
Figura 7. Carácter de la mecha de fibra, frecuencia y amplitud.	38
Figura 8. Forma de recorrido en la lectura de fibras individuales con el microscopio de proyección.	48
Figura 9. Esquema de visualización de una fibra de alpaca en forma individual en el microscopio de proyección.	49
Figura 10. Medición del diámetro de la médula y el diámetro de la fibra.	50
Figura 11. Promedio del diámetro de fibra según la edad y sexo.	61
Figura 12. Coeficiente de variación del Promedio del diámetro de fibra según edad y sexo.	62
Figura 13. Factor de confort según la edad y sexo.	63
Figura 14. Finura al hilado según la edad y sexo.	64
Figura 15. Diámetro de la médula según la edad y sexo.	65
Figura 16. Porcentaje de medulación de fibras según la edad y sexo.	66
Figura 17. Correlación y regresión ente el diámetro de fibra y el diámetro de médula.	68



Figura 18. Correlación y regresión ente el diámetro de fibra y el porcentaje de medulación.	68
Figura 19. A1. Muestreo de fibra de Alpaca de la raza Suri.	82
Figura 20 A2. Longitud muestra de la fibra de alpaca de la raza Suri.	82
Figura 21. A3. Lavado de la muestra de fibra de alpaca de la raza Suri.	82
Figura 22. A4. Muestra de fibra de alpaca picada.	82
Figura 23 A5. Medición del diámetro de médula, diámetro dela fibra y observación del tipo de médula.	82
Figura 24 A6. Medición del diámetro de la fibra.	82



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Población de alpacas en el Perú en el año 2017.	20
Tabla 2. Población de alpacas en el departamento de Puno en el año 2019.	21
Tabla 3. Parámetros Genéticos para caracteres de la fibra.	55
Tabla 4. Heredabilidad y correlación genética para la medulación y el diámetro de la fibra.	56
Tabla 5. Análisis de varianza para características textiles de la fibra.....	60
Tabla 6. Comparación de medias de Tukey para características textiles de la fibra según edad y sexo.	60
Tabla 7. Coeficientes de correlación de Pearson de características textiles de la fibra.	67



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

PDF	= promedio del diámetro de fibra
CVPDF	= Coeficiente de variabilidad del promedio del diámetro de fibra
IC	= índice de curvatura
RML	= máxima verosimilitud restringida
FC	= Factor de confort
FP	= Factor de picazón
FH	= finura al hilado
CVE	= software para estimación de parámetros genéticos
CSA	= camélidos sudamericanos
INIA	= instituto nacional de innovación agraria
MED	= medulación
DF	= diámetro de fibra
DM	= diámetro de la médula
h^2	= Heredabilidad



RESUMEN

La investigación se realizó en el Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA – Illpa anexo Quimsachata Puno, con el objetivo de estimar la heredabilidad, y correlación genética de la medulación y el diámetro individual de la fibra en Alpacas de vellón blanco de la raza Suri, se muestrearon fibras de la zona del costillar medio (Mid side) lado derecho, estas fueron sometidos a un lavado térmico con detergente no enzimático. Para la cuantificación del diámetro de la fibra individual, diámetro de la médula y la medulación se utilizó un microscopio de proyección, el número de lecturas fue de 600 fibras individuales según la normativa IWTO-8. La estimación de los componentes de varianza fue mediante el modelo animal (modelo mixto) multivariado, las agrupaciones de los tipos de médula fueron en 3 formas, se utilizó la inferencia bayesiana con el programa TM. El resultado obtenido fue una heredabilidad para la medulación de la fibra individual de 0.11 a 0.19, heredabilidad para el diámetro de fibra individual fue 0.25 a 0.27, la correlación genética de la medulación con el diámetro de la fibra resulto 0.40 a 0.62 se concluye que existe una heredabilidad de proporción baja y que esta correlacionada con el diámetro individual de la fibra de la fibra.

Palabras Clave: Heredabilidad, medulación, fibra, Alpaca Suri.



ABSTRACT

The research work was carried out at the “Instituto Nacional de Innovación Agraria” INIA - Illpa anexo Quimsachata Puno. With the objective of estimating the heritability, and genetic correlation of the medulation and the individual diameter of the fiber in Alpacas of white fleece of the race Suri. For the present research work, we worked with the entire population of white fleece Alpacas of the Suri race, the selection criteria of animals was due to their condition within the population, the sampling of the fibers was carried out from the area of the middle rib (Mid side) right side, these were subjected to a thermal wash with non-enzymatic detergent. A projection microscope was used to quantify the diameter of the individual fiber and the diameter of the medulla and medulation, the number of readings was 600 individual fibers according to the IWTO-8 standard. The estimation of the variance components was in the multivariate animal model (mixed model), the groupings of the marrow types were in 3 ways, and Bayesian inference was used with the TM program. Resulting in heritability for individual fiber medulation from 0.11 to 0.19, heritability for individual fiber diameter was 0.25 to 0.27, the genetic correlation of the medulation with the fiber diameter resulted from 0.40 to 0.62, it is concluded that there is a proportion heritability low and that is correlated with the individual fiber diameter of the fiber.

Keywords: Heritability, medulation, fiber, Alpaca Suri



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La alpaca (*Vicugna pacos* L.) es una de las cuatro especies de los camélidos sudamericanos (CSA), En la actualidad los CSA domésticos y silvestres continúan siendo un elemento central en las comunidades campesinas a lo largo de los Andes Pinto, Martín, y Cyd (2010), estos animales habitan los andes de Sudamérica desde la prehistoria, en el Perú la población de alpacas es de 3 685 516 animales, el departamento de Puno la población es de 2 035 280 animales (DRAP, 2019), su fin principal de explotación es la de producción de fibra, está por estar considerado con un artículo de lujo (Wang *et al.*, 2003). La producción de fibra de alpaca en el Perú alcanzo los 4 314 toneladas y el departamento de mayor producción es Puno con 2 642 toneladas (MINAGRI, 2018a).

La alpaca cuenta con dos razas las cuales son Huacaya y Suri (Pinto *et al.*, 2010), en la actualidad la crianza de alpacas de la raza Suri es mínima, su población nacional apenas alcanza los 442 013 animales que representa el 11 % (CENAGRO, 2012), esto a pesar que su fibra es más pagada a comparación de la raza Huacaya, En el año 2017 se exportó 127 millones de dólares en textiles y confecciones de alpaca a 64 países del mundo; asimismo la exportación de tops como fibra fina cardada de alpaca durante el 2017 alcanzó los 75,3 millones de dólares y hasta el mes de octubre del año 2018 se exportaron 80,5 millones de dólares (31 % más de lo que se exportaron en el mismo periodo del 2017) China es el mayor comprador con 62 %, seguidamente de Italia con 29 % respectivamente (DGPA, 2018). La fibra tiene cualidades y características muy buenas para la industria textil, teniendo un promedio del diámetro de fibra desde 23.4 a 30 μm (Quispe *et al.*, 2013), también se le aprecia por su suavidad, esto debe por la



estructura de la fibra (disposición de las escamas cuticulares) y demás características textiles.

La fibra de alpaca presenta médula, esta vendría a ser un espacio hueco dentro de la fibra (Gallegos, 2012) y está presente en toda la longitud de la fibra, en la confección de prendas de vestir las fibras meduladas tienden a atrapar la temperatura, pero la presencia de la médula representa un problema para la industria textil, porque fibras meduladas tienden a refractar la luz y cuando se le somete al teñido de los hilos, estas fibras no toman la misma tonalidad como las fibras ameduladas, se podría decir que la médula representa un aspecto negativo en la fibra de Alpaca, muchos investigadores tratan de explicar el comportamiento de la presencia de médula en la fibra, entre las cuales se ha llegado a proponer el porcentaje de medulación de las fibras como criterio de selección (Gutiérrez, 2018), investigaciones sobre genética de poblaciones en la presencia de la médula en la fibras textiles de han realizado en todo el mundo. Por estas razones se planteó el presente trabajo de investigación, en la cual se trata de evaluar y cuantificar presencia de la médula en alpacas de vellón blanco de la raza Suri.

1.1. OBJETIVO GENERAL

Estimar la heredabilidad y correlación genética del diámetro y medulación de fibras en alpacas blancas Suri en el Anexo experimental Quimsachata INIA – Illpa.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimar la heredabilidad y correlación genética para la medulación y diámetro de la fibra de alpacas blancas Suri.
- Analizar las características del diámetro de fibra y la medulación en alpacas blancas Suri.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. LA ALPACA

La alpaca (*Vicugna pacos* L.) es uno de los camélidos domésticos que habitan la zona alto andina de América del Sur (Mamani, 2012; Valbonesi *et al.*, 2010) su crianza se debe comercialmente por su fibra, este animal es el productor de fibra más importante de la familia de los camélidos sudamericanos (Lupton y McColl, 2011; Lupton *et al.*, 2006; Wuliji *et al.*, 2000) su fibra es materia prima para la industria textil nacional y mundial.

Según los análisis genéticos a nivel molecular (ADN) determinaron posibles evidencias, de que la alpaca fue el resultado de la domesticación de la vicuña que ha ocurrido en los andes centrales del Perú hace 7000 años (Gentry *et al.*, 2004; Kadwell *et al.*, 2001; Wheeler, 2012). En la taxonomía la alpaca (Wheeler, 2012) queda clasificada como:

Clase: Mamalia

Orden: Artiodáctyla

Sub orden: Tylópoda

Familia: Camelidae

Sub familia Camelinae

Tribu: Lamini

Género: *Vicugna*

Especie: *Vicugna pacos* L.

Existen diferencias muy claras entre el vellones de alpaca Huacaya y alpaca Suri en; frecuencia de la escala cuticular, densidad folicular y la relación de los folículos secundarios/primarios (Antonini, 2010; Antonini *et al.*, 2004). Asimismo las características microscópicas de la estructura interna de la fibra son diferentes (Wang *et*



al., 2005). El vellón de alpaca Suri posee buenas características físicas importantes en la industria textil las cuales son; buena resistencia (tres veces mayor a la lana de ovino), elasticidad, suavidad que solo es superado por la fibra de vicuña (esto se debe por la constitución y estructura de las células cuticulares que tiene los bordes bien pegados), lustre muy similar a la fibra del caprino Mohair (Gallegos, 2012). Se caracteriza por poseer un vellón largo que puede alcanzar los 40cm de largo, crece en rulos pegados a su cuerpo (Sanga, 2019).

2.1.1. Origen

Los primeros Camélidos aparecieron en Norte América hace 45 millones de años aproximadamente a partir de un pequeño antecesor de 30cm de talla (*Protylopus petersoni*) (Stanley *et al.*, 1994). La tribu de los *Lamini*, representada por fósiles del género *Pliachaenia*, se originó entre 9 y 11 millones de años atrás en las praderas del oeste de Norte América (Harrison, 1985). A partir de este antecesor apareció el género *Hemiauchenia* hace aproximadamente 10 millones de años (Rensberger, 1979). Algunas especies de este género migraron hacia América del Sur durante la transición del Plioceno al Pleistoceno hace aproximadamente tres millones de años (Wheeler, 1995). En la misma época, hace alrededor de tres millones de años, antecesores de los camélidos de la tribu de los *Camelini* emigraron a Asia por el estrecho de Behring, donde continuó el proceso de evolución y domesticación hasta los camellos y dromedarios actuales (Pinto *et al.*, 2010).

La tribu de los *Lamini* habita en América del Sur a lo largo de la cordillera de los Andes y se conoce como Camélidos Sudamericanos (CSA) o camélidos del



Nuevo Mundo. Los CSA, a diferencia de los camélidos del Viejo Mundo, carecen de joroba y son de menor tamaño (Pinto *et al.*, 2010).

En América del Sur la separación entre los géneros *Lama* y *Vicugna* ocurrió hace dos millones de años aproximadamente (Wheeler, 1995), donde la domesticación tuvo lugar mucho tiempo después. Aunque se acepta por la mayoría de los investigadores que el origen de la domesticación de los CSA se restringe a los Andes, todavía no existe acuerdo en cuanto a la cronología y si existieron uno o varios centros de domesticación (Mengoni, 2008). La mayoría de la información arqueológica sobre la domesticación proviene de la región central de los Andes principalmente en el Perú, de varios sitios de la Puna de Junín. Estas investigaciones sitúan la domesticación entre los 9000 y los 2500 años a.c. y a una altura de 4000 metros sobre el nivel del mar (Wheeler, 1995; Wheeler *et al.*, 1995). El estudio de la zona sur central de los Andes complementa y amplía la información obtenida a partir del estudio de la zona central y sugiere que los camélidos eran fundamentales para la mayoría de los grupos humanos que ocupaban la región Andina sobre los 3000 msnm alrededor del 8500 a.c. (Mengoni, 2008). Del proceso de caza de animales silvestres se derivó a un proceso de explotación de los animales domésticos que permitió a las comunidades indígenas proveerse de lana, carne, cuero, bosta y medicinas. Junto a estos productos, los CSA fueron importantes en sus mitos y creencias, sobre todo durante el imperio incaico (Pinto *et al.*, 2010).

2.1.2. Población de alpacas en el Perú

El Perú contaba con una población total de 4 330 710 alpacas, la mayor parte de esta población se encuentra en el departamento de Puno con 2 036 210 alpacas que representaría el 47.02 % de la población total en el Perú, posterior a

eso el departamento de Cusco se ubica con el segundo lugar con 674 939 alpacas que representaría el 15.58 % de la población nacional, en tercer lugar se ubica el departamento de Arequipa con 421 292 alpacas que representa el 9.73 % de la población nacional. También se observa una crianza de alpacas en otras regiones pero en cantidades muy pocas (MINAGRI, 2018b).

Tabla 1. Población de alpacas en el Perú en el año 2017.

Departamento	Total	
	N	%
Puno	2 036 210	47.02
Cusco	674 939	15.58
Arequipa	421 292	9.73
Huancavelica	252 713	5.84
Apurímac	215 050	4.97
Ayacucho	209 143	4.83
Moquegua	145 310	3.36
Pasco	133 225	3.08
Junín	91 678	2.12
Tacna	78 245	1.81
Lima	46 625	1.08
Ancash	10 320	0.24
La libertad	7 851	0.18
Huanuco	6 850	0.16
Cajamarca	1 180	0.03
Piura	79	0.002
Total Nacional	4 330 710	100

Fuente: MINAGRI (2018a)

2.1.3. Población de alpacas en el departamento de Puno

El departamento de Puno en el año 2019 es la región que registra una población de 2 035 280 alpacas, las cuales la mayor parte son de la raza Huacaya, las alpacas de la raza Huacaya representarían el 82.86 % y de la raza Suri 13.05 % (CENAGRO, 2012). Dentro del departamento la provincia que registra la mayor cantidad de animales es Lampa con 317 525 animales esta población representa el



15.60 % del total regional, la provincia de Melgar toma el segundo lugar con una población de 280 740 alpacas y representa el 13.79%, seguidamente de la provincia de Carabaya con 279 810 y esto representa el 13.75%, finalmente se puede decir todas las provincias de la región puno tienen alpacas, lo cual hace bien merecido su posición como capital ganadera Alpaquera.

Tabla 2. Población de alpacas en el departamento de Puno en el año 2019.

Provincia	Total	
	N	%
Lampa	317 525	15.60
Melgar	280 740	13.79
Carabaya	279 810	13.75
Chucuito	187 100	9.19
El Collao	182 495	8.97
Puno	182 160	8.95
Azangaro	178 110	8.75
Huancane	156 040	7.67
San Antonio Putina	149 550	7.35
San Roman	56 630	2.78
Sandia	54 330	2.67
Moho	10 400	0.51
Yunguyo	390	0.02
Total regional	2 035 280	100

Fuente: DRAP (2019)

2.2. ESTRUCTURA DE LA PIEL DE ALPACA

El origen de la fibra es sobre la piel, La piel de alpaca en su región costal media es delgada y no plegable, su grosor es de aproximadamente de 2,4 mm (Vélez *et al.*, 2009); presenta tres capas: epidermis, dermis e hipodermis o tejido celular subcutáneo:

2.2.1. Epidermis

Es la capa superficial de la piel tiene un grosor aproximado de 60 μm (Vélez *et al.*, 2009), está formado por el tejido epitelial poliestratificado, presenta una cornificación (Gallegos, 2012), presenta 5 subcapas:



a) Estrato corneo

Capa extrema formada por células muertas aplanadas y cornificadas, este estrato tiene un grosor variable dependiendo de la región del cuerpo del animal, esta capa está en contacto con el medio ambiente, en la parte superficial se descaman y son reemplazados (Gallegos, 2012).

b) Estrato lucido

Se encuentra por debajo de la capa cornea, formado por varias capas de células aplanadas, comprimidos y aplastados entre sí (Gallegos, 2012).

c) Estrato granuloso

Se encuentra por debajo del estrato lucido, formado por células en forma romboidal, con orientación paralela a la superficie del cuerpo (Gallegos, 2012).

d) Estrato espinoso

Se encuentra por debajo de la capa granulada formada por células poliédricas, unidas entre sí por puentes intercelulares, formando varias capas, el núcleo de estas células son esféricas y claros (Gallegos, 2012).

e) Estrato basal

Esta también denominado capa germinativa, separada de la dermis a través de la membrana basal, es la más profunda, blanda y luminosa, está formado por una hilera de células de forma cubica o cilíndrica, son de menor tamaño que las demás células de las capas superficiales. En esta capa se encuentran porque contienen los melanocitos que regulan el color de la piel (pigmentación), también en esta capa se realiza la mitosis o actividad mitótica de la piel (Gallegos, 2012).



2.2.2. Dermis

Esta capa está formado por el tejido conjuntivo de la piel, con presencia de abundantes vasos sanguíneos, terminaciones y ramificaciones nerviosas (Gallegos, 2012), la dermis consta de 2 partes:

a) Dermis propiamente dicha

Es la zona que está en contacto con la epidermis y se divide en 2 capas.

- Dermis papilar.- capa que está en contacto con la epidermis en cuya unión presenta estructuras salientes llamados como papilas y surcos, presenta vasos sanguíneos, terminaciones nerviosas y fibras de tejido conectivo de 240 μm de grosor (Vélez *et al.*, 2009), cumple también de nutrir a las capas superficiales.
- Dermis reticular.- capa situado por debajo de la zona papilar, está formada por haces de fibras colágenas dispuestas en varias direcciones (Gallegos, 2012), de 895 μm de grosor (Vélez *et al.*, 2009).
- La dermis profunda.- mide 899 μm de grosor y está constituida por tejido conectivo denso de disposición irregular, con abundantes adipocitos, agrupados en lobulillos separados por septos de tejido conectivo (Gallegos, 2012).

b) Hipodermis

Formado por tejido conjuntivo laxo, que contiene fibras colágenas, elásticas, vasos sanguíneos y terminaciones nerviosas, constituye la base de la dermis (Gallegos, 2012).

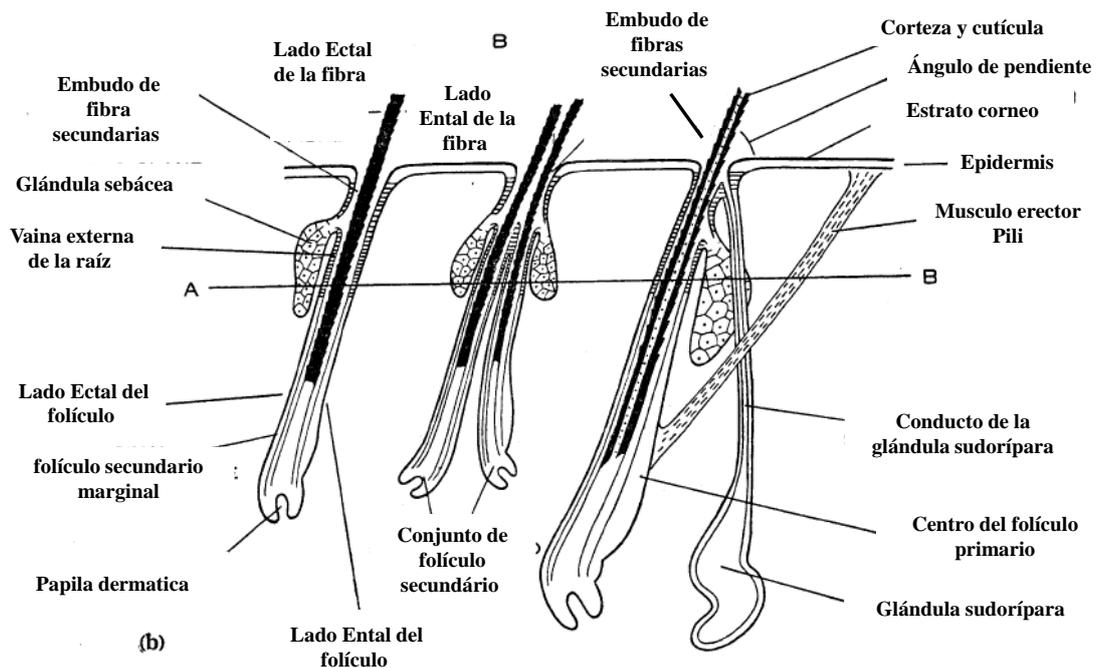


Figura 1. Diagrama de la sección longitudinal de la estructura de la piel adaptada de Hardy y Lyne (1955).

2.3. FOLÍCULOS PILOSOS

El folículo es una depresión o invaginación cilíndrica de la piel a partir del cual crece la fibra, constituyen los órganos productores de fibra, son depresiones de la piel formadas por una túnica periférica (continuación de la dermis) y por dos vainas centrales que correspondan a las capas de la epidermis. En el interior del folículo se ubica la raíz de la fibra como un bulbo pilífero, rodeando a la papila que tiene la función de nutrir y dar origen al crecimiento de la fibra mediante división celular (Gallegos, 2012), El folículo piloso presenta tres partes: El infundíbulo (tercio superior) que comprende desde la parte superior de la piel (capa cornea) hasta la desembocadura de la glándula sebácea, el istmo (tercio medio) que se sitúa entre la desembocadura de la glándula sebácea y la inserción del músculo erector y el bulbo o matriz (tercio inferior) que se encuentra por debajo de la inserción del músculo erector (Vélez *et al.*, 2009). Existen dos tipos de folículos que son:

a) Folículo primario

Son estructuras grandes y están dispuestas en hileras en la piel de grupos de tres, producen fibras gruesas, poseen una glándula sudorípara y un pequeño musculo folicular denominado erector Pili (Gallegos, 2012).

b) Folículo secundario

Son de mayor proporción y son más numerosas y se encuentran ubicados a un lado de los folículos primarios, producen fibras finas, no presentan glándulas sudoríparas ni el musculo erector (Gallegos, 2012).

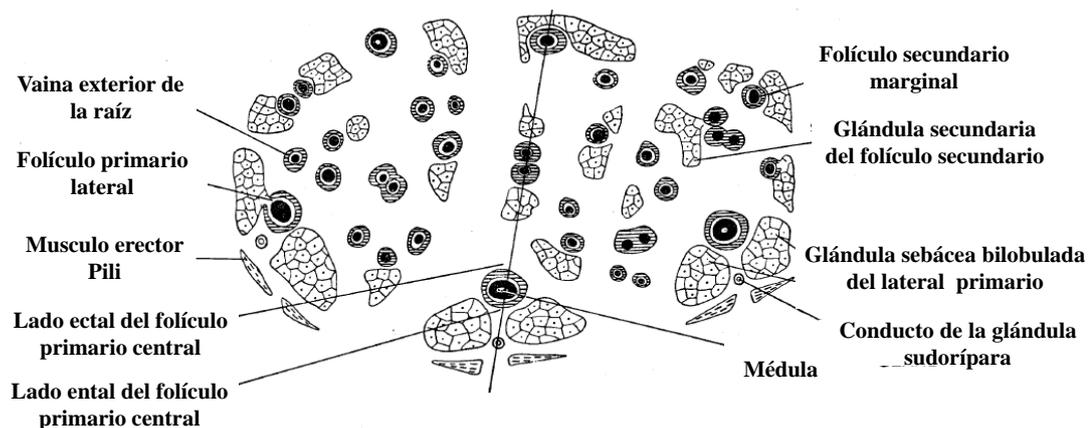


Figura 2. Diagrama de la sección transversal de la estructura de la piel, adaptada de Hardy y Lyne (1955).

2.4. ESTRUCTURA DE LA FIBRA

La estructura celular de la fibra, presenta una estructura muy compleja en comparación de otras fibras textiles, la fibra histológicamente está formado por dos capas netamente diferentes además en forma ocasional presenta una tercera capa (Gallegos, 2012), las cuales son:

2.4.1. Capa cuticular

Llamado también epidermis es la capa exterior que rodea a la fibra y constituye el 10% de la fibra, formado por un plano de células cuticulares



escamosas, aplanadas y de forma poligonal, superpuestas una sobre otras, unidas por una membrana fina con cierta resistencia cumpliendo así la función de proteger o encerrar a las células de capa cortical que da forma al cuerpo de la fibra (Gallegos, 2012). Las escamas de la fibra de alpaca son menos sobresalientes que la lana, también dentro de las razas de alpacas las cutículas de la fibra de vellón de alpaca Suri es más suave que la fibra de la raza Huacaya. La capa de la célula cuticular consta de tres capas:

a) Epicutícula

Formada por una membrana continua que cubre a cada célula cuticular por separado, esta capa actúa de barrera química para la entrada de los colorantes durante el proceso de teñido (Gallegos, 2012).

b) Exocutícula

Capa que se encuentra por debajo de la Epicutícula (Gallegos, 2012).

c) Endocutícula

Capa que se encuentra por debajo de la exocutícula, estas capas son resistentes a los agentes antioxidantes (Gallegos, 2012).

2.4.2. Capa cortical

Conocida también como dermis o corteza, se encuentra por debajo y protegida por la cutícula, constituye hasta el 90% del cuerpo de la fibra, formada por células cilíndricas alargadas, fusiformes (husos) muy delgada estrechamente unido entre sí, miden entre 80 a 120 μm de largo y de 2 a 4 μm de ancho, están compuestos de queratina y contiene un núcleo residual (Gallegos, 2012), cada célula cortical está formada por:



a) Macrofibrillas

Son las células corticales propiamente dicho, rodeado por una sustancia denominado matriz, esta sustancia cumple la función de mantener unida las microfibrillas para formar una estructura rígida (Gallegos, 2012).

b) Microfibrillas

Las macrofibrillas se dividen en finos filamentos denominados microfibrillas, son los componentes fibralares más importante de la fibra (Gallegos, 2012).

c) Protofibrillas

Son cadenas de poli péptidos enrollados entre sí, estas se agrupan en once protofibrillas en las cuales 2 son rodeadas por nueve protofibrillas, denominados fibralares (Gallegos, 2012).

2.4.3. Capa medular

Esta capa ocupa la parte central de la fibra, formada por un canal central vacío o puede estar ocupado por células poliédricas dispuestas en forma similar al panal de abejas, las células de la médula se rompen completamente, durante el proceso de la queratinización, dejando un canal hueco en el centro de la fibra (Gallegos, 2012).

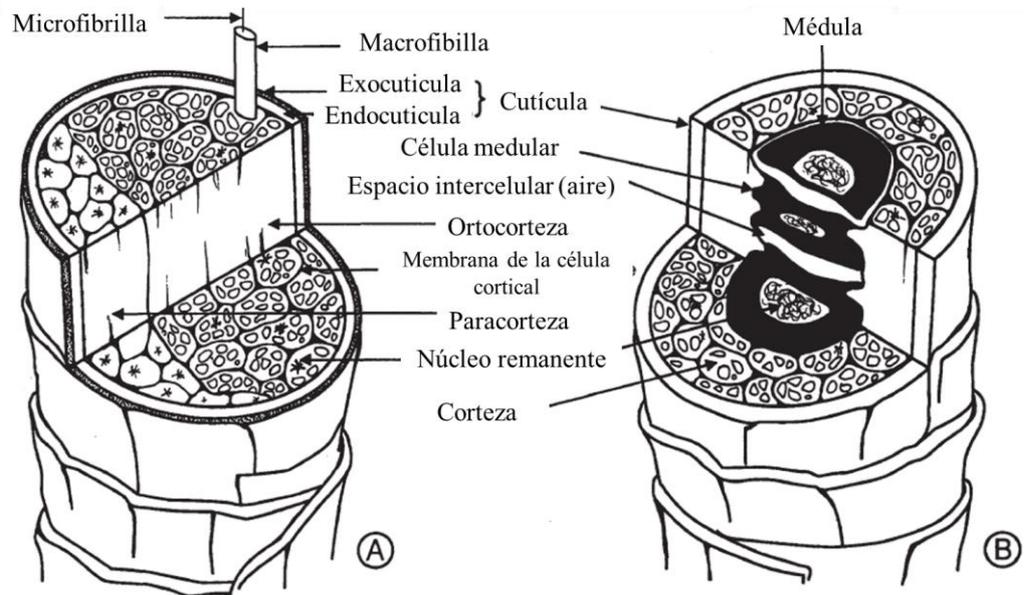


Figura 3. Estructura de la fibra, adaptado de Powell y Rogers (1997).

2.5. CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS DE LA ALPACA

2.5.1. Peso del vellón

El vellón se define como la cubierta de fibra o lana de alpacas, ovinos y otros mamíferos, se le debe separar en forma de una pieza a través de la esquila al final de un periodo de crecimiento o año ganadero (Gallegos, 2012), El vellón de los camélidos sudamericanos tiene muchas funciones, evita la pérdida de agua cutánea, protege de las inclemencias climatológicas como la abrasión de la piel, permite el camuflaje mediante la coloración, y favorece la termorregulación (Grigg *et al.*, 2004; Moore *et al.*, 2011).

Como parte de un mecanismo homeostático relacionado con el metabolismo energético que mantiene al organismo dentro de un rango de temperatura óptima. Referido a esta última función, las fibras permiten a las alpacas una mejor adaptación a las condiciones medioambientales, en particular respecto al aire, pues tiene una mínima conductividad térmica debido que el aire es atrapado en el interior (en la médula) y entre las fibras, resultando un



aislamiento inmejorable (Gerken, 2010). En función de éstas características, los componentes del vellón varían con la localización corporal, de este modo es más fino y largo en zonas de la espalda, dorso y flancos, siendo más grueso y corto en zonas de las extremidades y cabeza.

El peso del vellón está vasado en su cantidad por ejemplo los vellones más pesados y de fibras finas valen más que vellones menos pesados y de fibras gruesas, bajo condiciones de cría extensiva (Quispe *et al.*, 2013), entonces el peso del vellón constituye una variable importante que es necesario tener en cuenta en la producción de Alpacas (Leon y Gerrero, 2001; Ponzoni *et al.*, 1999).

2.5.2. Longitud de mecha

La longitud de mecha está formada por el largo o longitud de fibras durante un periodo de crecimiento (Gallegos, 2012). La longitud de la mecha en un vellón de Alpaca es la medida desde la piel hasta las puntas de la mecha (CSU, 2010), la variación de la longitud dependerá de la velocidad de proliferación de las células de la matriz del folículo piloso. De acuerdo a esta longitud las mechas pueden ser; Mechas uniformes cuando la longitud de la fibra tiene son iguales a lo largo de la mecha y Mecha desuniforme cuando la longitud de la fibra es desigual en la mecha, se caracterizan cuando las mechas terminan en punta (Gallegos, 2012).

2.5.3. Longitud de la fibra

Es la dimensión de la fibra expresada en medida longitudinal, para determinar esta medida tomaremos dos conceptos de longitud; longitud relativa que es la longitud normal de la fibra sin considerar la distancia que existe en el rizo (ondulaciones) ósea sin ejercer fuerza de tensión, longitud absoluta (real) consiste en la medición de la fibra ejerciendo fuerza de tensión para que la fibra



elimine sus ondulaciones, con esta operación tendremos la medida real de la longitud de la fibra considerando su rizo (Gallegos, 2012).

La longitud básicamente controla el método de procesamiento de la fibra de Alpaca, es decir, las fibras de menor longitud se procesarán a través del sistema de lana (por ejemplo, 2 "-3", 50-75 mm) y las más largas (3 "-6", 75 150 mm) por el proceso de estambre. La longitud media (promedio) en la parte superior contribuye a la resistencia del hilo al aumentar la adhesión de las fibras durante el hilado. Es más importante en el procesamiento que la longitud sea relativamente uniforme (Holt, 2007).

2.6. CARACTERÍSTICAS TEXTILES DE LA FIBRA DE ALPACA

Son aquellas características que tienen influencia en la transformación de la fibra en tejidos, telares u otros terminales de uso, haciendo que el producto tenga una mayor rentabilidad y sea de preferencia para el consumidor (Quispe *et al.*, 2013). Las principales características son:

2.6.1. Promedio del diámetro de la fibra

El promedio del diámetro de la fibra (PDF) es uno de los factores más importantes en la clasificación de la misma, porque determina el precio del vellón en el mercado (Quispe *et al.*, 2013) el diámetro o finura de la fibra se refiere al grosor de la fibra en forma común se denomina finura, entonces el promedio del diámetro de la fibra se refiere al diámetro promedio de un conjunto de fibras (Gallegos, 2012), cuando se prueba la finura de la fibra se expresa en micras, de esta forma la fibra esta expresada en micrones, un micrón es la millonésima parte de un metro y generalmente se acompaña de "Desviación estándar y coeficiente de variación" (CSU, 2010).

En vellones de alpacas de la raza suri, el PDF varía entre 20 a 26 μm (Díaz, 2014; Gallegos, 2012; Huanchi, 2018; Lupton y McColl, 2011), mientras que en vellones de alpaca de la raza Huacaya varía entre 20 a 28 μm (Gallegos, 2012; Ormachea *et al.*, 2015; Pinares *et al.*, 2018).

2.6.2. Médula de la fibra

La médula es la parte central de la fibra (Figura 3) (Holle, 1992), que tienen un vacío medular (aire) continuo o en forma fragmentada a lo largo de la corteza (Czaplicki, 2012). Las células de la médula pueden romperse completamente durante la queratinización, dejando un canal hueco en el centro de la fibra (Balasingam y Mahar, 2005).

A la observación microscópica se observa de color negro, pero cuando el aceite ha penetrado dentro de la médula el análisis e interpretación de la medulación se complica (Frank *et al.*, 2007; Hunter *et al.*, 2013).

Aunque se desconoce la causa determinante de la aparición de la médula, la literatura indica que la genética es el factor principal (Frank *et al.*, 2011; Sánchez *et al.*, 2016), mientras que el medio ambiente (mal nutrición) tendría mínimo efecto (Lupton *et al.*, 1991).

La formación de la médula se explica en términos de competencia por la queratina entre los folículos, de modo que si el volumen de la fibra excede el volumen disponible. Un grupo especial de células situado en el centro de la matriz del bulbo piloso dan origen a la médula, la cual es una protrusión hacia arriba de la capa basal de la epidermis. Se muestra claramente que la presencia de médula se forma en la etapa fetal antes de que los factores nutricionales o ambientales influyan, a menos que la posibilidad de mal nutrición se dé a nivel folicular (Wilson, 1929).



La mayoría de los folículos primarios producen fibras meduladas, aunque algunos folículos secundarios también producen fibras meduladas (Antonini *et al.*, 2004), por tanto la fibra de los camélidos son principalmente meduladas (Antonini, 2010; Gerken, 2010), en comparación con otras especies productoras de fibra, como ovejas, donde la medulación se ve sólo en las fibras primarias (Allain y Renieri, 2010)

2.6.3. Características físicas de las fibras meduladas

La medulación puede proporcionar una ventaja en vellón de alpacas como aislante natural (termorregulación), porque el aire está atrapada dentro de médula y entre fibras (mínima conductividad térmica), resultando en un mejor aislamiento. El aislamiento térmico (inverso de la conductancia) del vellón es la medida de la capacidad para reducir el flujo de calor (Moore *et al.*, 2011). La fibra de alpaca es considerada como un mejor material aislante que la lana debido a su alto contenido vacío medular (Wang *et al.*, 2005). La mayoría de las fibras de la alpaca son meduladas en diversos grados que tiene una gran influencia sobre la apariencia de la fibra (Lupton *et al.*, 2006).

Para la industria textil la medulación constituye un problema importante durante su industrialización, especialmente en el teñido porque la médula da una mayor refracción de luz en las fibras meduladas teñidas haciendo parecer más claras que las fibras no meduladas teñidas (Balasingam y Mahar, 2005). Esto ocurre como las células en la médula afecta a las propiedades ópticas de la luz que pasa a través de la fibra por difracción, no de las diferencias en la absorción de colorante por la queratina de la fibra (Hunter, 1993). las fibras meduladas no absorben totalmente las sustancias colorantes con la misma capacidad que las fibras no meduladas o parcialmente meduladas (Quispe *et al.*, 2013).



A las fibras meduladas, la industria considera como un contaminante en el procesamiento textil ya que las bragas de vellón contienen más del 33% de fibras meduladas (Hack *et al.*, 1999), además la medulación varía según la zona del vellón (Aylan-Parker y McGregor, 2002). Finalmente, la medulación puede tener un efecto adverso pronunciado sobre su valor textil y el potencial uso final especialmente en el hilado (Hunter, 1993).

2.6.3.1. Clasificación de las fibras meduladas

La médula de la fibra de alpaca en un corte longitudinal se observan en el que las células de la parte central de la fibra están compactadas como para dar un aspecto tubular a la fibra (Pinares *et al.*, 2018), son clasificadas en las siguientes categorías:

- a) Fibras no medulada: las fibras no muestran médula generalmente ocurre en las muestras de fibra que son muy finas.
- b) Fibras con médula fragmentada o fragmentaria: pequeños fragmentos o islas en el centro de la corteza, se puede afirmar que está presente cuando la médula está iniciando su formación.
- c) Fibras con médula discontinua o interrumpida: está interrumpida a intervalos más o menos regulares, se podría decir que la médula está completando su formación.
- d) Fibras con médula continua: presenta aspecto de caño central y si se infiltra con el medio de montado aparece clara y si no se infiltra el medio aparece oscura.
- e) Fibras Fuertemente medulada o con médula grande (lattice): la médula presenta una forma reticulada o en enrejado es característico de las fibras

gruesas, especialmente en la capa externa del vellón de llama (Frank *et al.*, 2007).

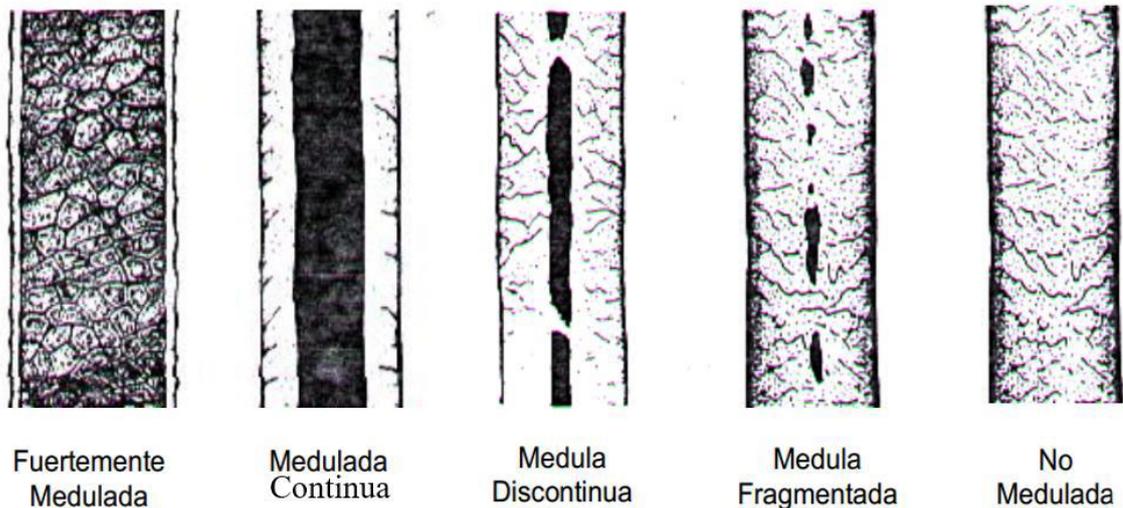


Figura 4. Tipos de médula en la fibra de alpaca (Pinares *et al.*, 2018).

2.6.4. Coeficiente de variabilidad del diámetro de la fibra

El coeficiente de variación del promedio del diámetro de fibra (CVPDF) mide la variación entre fibras dentro del vellón y se expresa en porcentaje. El CV se refiere a la variación de las fibras dentro de la mecha y constituye un 80% y la variación a lo largo de la mecha que corresponde a un 20% (Quispe, 2010). Un vellón con un CV bajo, indica que tiene mayor uniformidad de diámetro de fibras individuales dentro de la mecha y el hilo que se produce con ella es más uniforme y resistente (Manso, 2011). Al reducir el CV en 5% resulta similar que si se redujera el PDF en $1\mu\text{m}$ (Frank *et al.*, 2006; Holt, 2007)

2.6.5. Factor de confort

El factor de confort (FC) o factor de comodidad se define como el porcentaje de fibras menores a $30\mu\text{m}$ (Frank *et al.*, 2006). La industria textil de fibras, prefiere vellones con un FC igual o mayor a 95% (Montes, Quicaño,

Quispe, Quispe y Alfonso, 2008; Quispe *et al.*, 2013), esto se debe a que la sensación de confort que ejercen los tejidos sobre la piel está determinada por el grosor de la fibra. La confortabilidad disminuye conforme la edad del animal aumenta (Ormachea *et al.*, 2015).

el factor de confort no es un carácter técnico de la fibra, sino que más bien está relacionado con la percepción y la comodidad que produce en la piel de los usuarios, de prendas fabricadas con fibra de alpaca (Arango, 2016). El confort está influenciado por un rango de factores psicológicos, fisiológicos y físicos entre el humano y el ambiente externo (Stoffberg *et al.*, 2015).

2.6.6. Factor de picazón

El factor de picazón (FP) se define como el porcentaje de las fibras mayores a $30\mu\text{m}$ (Quispe *et al.*, 2013). Esto implica que si los extremos de las fibras que sobresalen de la superficie de los hilos fueran delgados, estas serían más flexibles y menos probable que provoquen picazón en la piel (Figura 5). No obstante, este punto de corte puede ser discutido, porque hay diversos factores que lo pueden alterar y más bien fluctuaría entre las $26\text{-}35\mu\text{m}$ (Frank *et al.*, 2008). Las fibras objetables causan sensación de picazón, cuando están en contacto con la epidermis (Frank *et al.*, 2014).

La picazón es percibida por el efecto mecánico que producen las puntas de las fibras que sobresalen del tejido, las células nerviosas de la piel del usuario que llevan la información al cerebro y se reconoce como una sensación no placentera (Figura 5). Si las fibras gruesas tienen puntas rígidas la picazón es más que las fibras finas, que son menos rígidas y que se doblan con mayor facilidad al contacto con la piel (Naylor, 2017). La sensación de picazón de la fibra aumenta a medida

que disminuye el porcentaje de confort de la fibra de alpaca (Frank *et al.*, 2011; Lupton *et al.*, 2006).

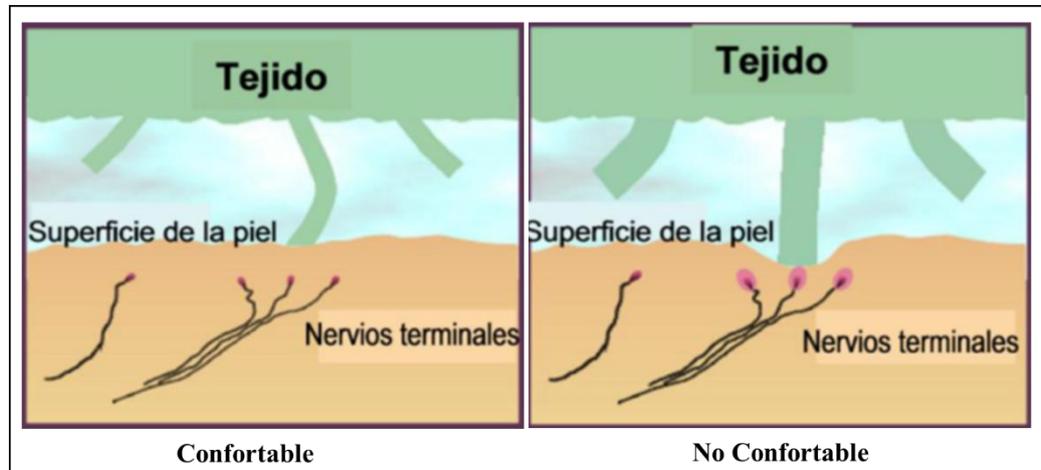


Figura 5. Expresión del factor de picazón, sobre la piel (Naylor, 2017).

2.6.7. Finura al hilado

La finura al hilado (FH) esta expresada en micrones μm , del término en ingles spinning fineness, es una estimación del rendimiento de la muestra cuando es hilada y convertida en hilo. Su estimación proviene de la combinación de la media del diámetro de fibra (PDF) y el coeficiente de variación (CVPDF). Esta dada por una ecuación práctica llamándose a dicho valor finura al hilado y es una característica fuertemente heredable (Butler y Dolling, 2008). La ecuación se normaliza bajo un coeficiente de variación del 24% en la cual la finura al hilado es lo mismo que la media del diámetro de fibra previa al procesamiento (Lupton *et al.*, 2006). Por ejemplo mechas con un PDF de $22 \mu\text{m}$ y CVPDF de 24% = finura al hilado será $22 \mu\text{m}$, si con la misma finura $22 \mu\text{m}$ y CVPDF de 19% = finura al hilado será $21 \mu\text{m}$ y por ultimo un PDF de $22 \mu\text{m}$ y un CVPDF de 29% = finura de hilado se $23 \mu\text{m}$ (Holt, 2007).

2.6.8. Índice de curvatura

El índice de curvatura (IC) de la fibra es una característica textil adicional que puede ser utilizado para describir la propiedad espacial de una masa de fibras. Esta propiedad, que es común a todas las fibras textiles, es de interés para los fabricantes de alfombras y prendas de vestir. Los fabricantes de fibras sintéticas introducen rizos a sus fibras y filamentos a fin de mejorar la densidad de sus productos textiles (Fish *et al.*, 1999). Prácticamente es el rizado de la lana, expresado como curvatura de fibras, se puede medir utilizando los equipos (Quispe *et al.*, 2013).

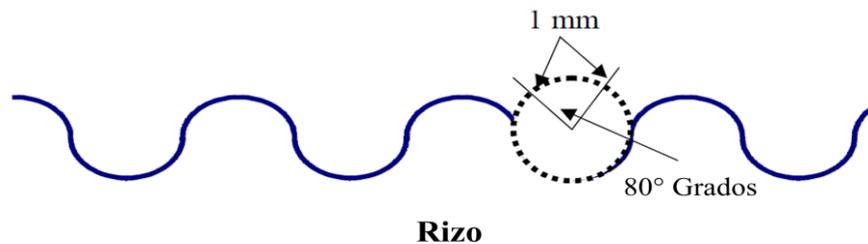


Figura 6. Forma de medición de la curvatura de la fibra (Fish *et al.*, 1999).

La curvatura de las fibras puede ser en tres dimensiones, debido a que las fibras se encuentran flexionadas y torcidas a lo largo de su longitud. Sin embargo, debido a que la mayor parte de la curvatura ocurre en un plano y teniendo la flexión la mayor contribución, la forma de la fibra puede ser representada en una forma de onda bidimensional (Fish *et al.*, 1999).

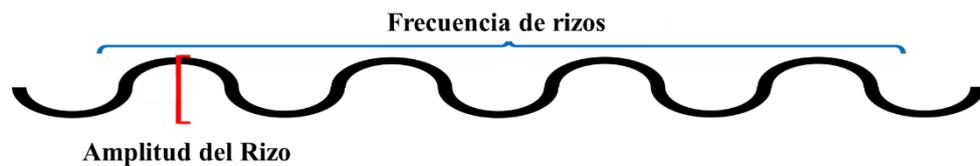


Figura 7. Carácter de la mecha de fibra, frecuencia y amplitud.

2.7. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS

La estimación de los parámetros genéticos es útil para caracterizar una determinada población, están relacionados a los genotipos que determinan diferentes características sean cualitativas o cuantitativas, siendo el más importantes la heredabilidad, estos parámetros son importantes y necesarios dentro de los programas de mejora genética, pues mediante ellos se determinan los valores genéticos de los animales, se construyen los índices de selección, se estiman los progresos genéticos y se elige la estrategia de mejora a utilizar (Falconer y Mackay, 1996; Gutiérrez, 2008).

Para estimar los parámetros genéticos se parte la varianza fenotípica en sus componentes como la variancia aditiva, variancia ambiental (temporal, permanente o ambos) y las covarianzas aditivas y ambientales (Caballero, 2017; Falconer y Mackay, 1996; Gutiérrez, 2010).

Para emplear el modelo animal en conjunto con el método de máxima verosimilitud restringida (REML) se debe contar con amplia información de genealogía y fenotípica (Thompson, 2008) y en el análisis Bayesiano esta se basa en el conocimiento de la distribución *a posteriori* de los parámetros genéticos y viabiliza la conformación de regiones de credibilidad para las estimativas de tales parámetros (Gianola y Fernando, 1986) basados en el muestreo de Gibbs (Aguilar, 2019).



2.7.1. Caracteres cualitativos y cuantitativos

Gran parte de las características heredables son cualitativas con una expresión claramente identificable en clases discretas, en las que se puede clasificar a los individuos de una población o especie, sin embargo la mayoría de caracteres que encontramos en la naturaleza presentan una variación continua, algunos atributos en apariencia discretas pueden mostrar un variación gradual y se denominan caracteres cuantitativos, métricos y continuos con infinitas posibilidades de expresión *a priori* (Caballero, 2017).

La genética cuantitativa se centra fundamentalmente en el análisis de la variación continua y sus aplicaciones al estudio de la evolución, su imbricación con la genética de poblaciones es total ya que el análisis de caracteres cuantitativos siempre se lleva a cabo en el contexto de una población, entendiendo como un conjunto de individuos que constituyen una unidad reproductiva unidos por una relación espacial, temporal y comparten un acervo genético (genes de los que son portadores), estudia la variabilidad heredable en general cualitativa cuantitativa y las fuerzas de cambio de las frecuencias génicas que actúan sobre ella (Caballero, 2017).

El genoma de los individuos está constituido por una gran variedad de elementos, siendo a veces discutible el concepto tradicional de gen como unidad funcional localizada en una posición única del genoma y en términos prácticos se usa el termino de locus para referirse un elemento genómico localizado en una posición fija del genoma y puede tener o no repercusión en el fenotipo del individuo y que puede poseer distintas variantes (alelos) (Caballero, 2017).

Para un carácter cuantitativo los efectos de los genes de los que es portador un individuo pueden de forma simplificada sumarse para constituir el valor



genotípico del individuo esto se denomina que existe acción genética aditiva o aditividad, pero las relaciones entre alelos intralocus pueden ser más complejas. La prevalencia del efecto de un alelo sobre otro en un locus dado constituye el concepto de dominancia, análogo al aplicado para caracteres cuantitativos (el alelo dominante es el que prevalece sobre recesivo). Asimismo la carencia de aditividad entre los efectos de distintos loci se denomina epistacia o interacción epistática.

2.7.2. Heredabilidad

La heredabilidad (h^2) o índice de herencia de un carácter es la proporción de la variancia fenotípica debida a la varianza aditiva (Gutiérrez, 2008), es también equivalente a la regresión del valor mejorante sobre el fenotipo y es el parámetro genético más importante en mejora genética (Caballero, 2017; Falconer y Mackay, 1996).

Si una característica tiene alta heredabilidad entonces los padres con buena producción tendrán hijos también con buena producción y nos permite trabajar por medio de la selección, donde las diferencias en los valores de cría tienen gran efecto sobre el desempeño productivo del animal; pero cuando existe una baja heredabilidad existe una alta influencia del medio ambiente y de los componentes genéticos no aditivos. Si la característica tiene baja heredabilidad entonces el nivel productivo de los padres revela poco el posible nivel productivo de sus hijos (Pinares *et al.*, 2018).

Para determinar la heredabilidad de las características textiles de la fibra de alpaca, es necesario el uso de los registros de producción, principalmente de los registros del análisis de fibra de cada animal por esquilada (Quispe *et al.*, 2012). Los reportes de estimaciones de las heredabilidades para los caracteres de peso de



vellón, así como para el diámetro medio de fibra y su coeficiente de variación, varían de medio a alto, con un alto rango de variación.

Las estimaciones de heredabilidad para el DMF son variables (0.19 a 0.73), sin embargo en muchos casos sin realizar un buen ajuste por los factores fijos que afectan la producción de fibra. Estudios con una buena rigurosidad científica, reportan valores de 0.67 ± 0.30 para el DMF en Australia (Ponzoni *et al.*, 1999), Nueva Zelanda de 0.73 ± 0.19 (Wuliji *et al.*, 2000), en Perú 0.41 ± 0.015 (Gutiérrez *et al.*, 2009), de 0.32 (Renieri *et al.*, 2007) de 0.48 ± 0.06 por (More *et al.*, 2017) y una heredabilidad para el diámetro individual de la fibra de 0.28 ± 0.14 a 0.36 ± 0.15 (Pinares *et al.*, 2018).

Para la medulación de fibras en alpacas de la raza Huacaya, se reportan desde 0.11 ± 0.06 a 0.36 ± 0.13 (Pinares *et al.*, 2018), también se reportaron una heredabilidad de 0.37 ± 0.10 (Sánchez *et al.*, 2016), (presencia/ausencia de fibra medulada) en ovinos corriedale . Asimismo en cabras Angora, también reportaron una heredabilidad de 0.23 ± 0.02 (contenido de medulación OFDA), 0.32 ± 0.02 (contenido de fibras kemp) (Allain y Roguet, 2006). En llamas la heredabilidad reportada fue 0.29 ± 0.04 (porcentaje de medulación total) y de 0.33 ± 0.07 para porcentaje de fibras fuertemente meduladas (Frank *et al.*, 2011).

2.7.3. Correlaciones genéticas

La correlación es un parámetro genético muy distinto a la correlación fenotípica, que también toma valores entre -1 y 1. Se dice que existe correlación genotípica entre dos caracteres, cuando el valor para el primer carácter no es estadísticamente independiente del valor del otro carácter para el mismo animal. La correlación genética es la asociación que existe entre los valores de cría o



méritos genéticos de dos caracteres medidos en el mismo animal (Caballero, 2017; Falconer y Mackay, 1996; Gutiérrez, 2010).

Las causas exactas de la correlación genéticas son difíciles de conocer, pero se puede explicar parcialmente pensando que un mismo gen que puede determinar varios caracteres a la vez conocido como pleiotropía (Caballero, 2017; Gutiérrez, 2010) o cuando los genes están próximos en el genoma y se suelen heredar conjuntamente, fenómeno denominado ligamiento. Específicamente para el porcentaje fibras meduladas continuas, en alpacas Huacaya tienen estimaciones de correlación genética publicadas con el diámetro de fibra individual 0.26 ± 0.51 a 0.93 ± 0.12 (Pinares *et al.*, 2018).

En ovinos Corriedale se reportaron las correlaciones genéticas positivas y favorables de magnitud intermedia de 0.50 entre diámetro medio de fibra y presencia/ausencia de fibra medulada. Además entre el diámetro de fibra y presencia/ausencia de fibra pigmentada fue de 0.56 (Sánchez *et al.*, 2016). Los autores indican que al seleccionar por menor diámetro también se reduce el número de fibras meduladas.

Algunas estimaciones entre PDF y la proporción de fibra medulada en cabras Angora de 0.32 ± 0.05 (Allain y Roguet, 2006) y en llamas de 0.36 ± 0.01 (Frank *et al.*, 2011). La correlación genética entre PDF y la proporción de fibra fuertemente medulada fue de 0.37 ± 0.11 (Wurzinger *et al.*, 2006) y de 0.49 ± 0.04 (Allain y Roguet, 2006), también se reporta una correlación genética de 0.70 entre la presencia de fibra medulada y la presencia de fibra fuertemente medulada (Allain y Roguet, 2006).



2.7.4. Repetibilidad

Se define el ambiente permanente como la parte no genética de un individuo que se repite en todos sus registros. Así, un mismo individuo aportará a todos sus datos dos efectos, su valor genético y su ambiente permanente. Dando un paso más allá, interesa conocer el porcentaje de la variabilidad que se observa que es de origen genético más ambiental permanente (Gutiérrez, 2010).



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN

El presente estudio se realizó en el Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA – Puno anexo Quimsachata, que se encuentra ubicada entre los distritos de Santa Lucía y Cabanillas de las provincias de Lampa y San Román de la región Puno, en las siguientes coordenadas:

Latitud Sur : 15° 44' 00''

Longitud Oeste : 70° 41' 00''

Altitud : 4 200 msnm.

La ubicación corresponde a la zona agroecológica de Puna seca. La composición florística y cobertura de pastos en la época de lluvias es buena, disminuyendo notoriamente en la época de estiaje, observándose especies anuales y perennes, donde predominan en su mayoría gramíneas y en menor grado compuestas por ciperáceas, juncáceas y rosáceas, que varían en su composición fundamentalmente de acuerdo a la humedad del suelo, exposición y características edafológicas con textura y materia orgánica del suelo.

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1. Equipos

- Microscopio de proyección (RADICAL, modelo PRM-15)
- Baño maría (RAYPA, 12L)
- Motocicleta (HONDA, XL 150)
- Laptop (DELL, INSPIRON)



- Cámara fotográfica (SAMSUNG)
- Balanza analítica (METTER TOLEDO)

3.2.2. Insumos

- Detergente (no enzimático)
- Bolsas de plástico 10x14
- Laminas cubre objetos (76 x 26 mm)
- Laminas porta objetos rectangular (24x50 mm)
- Aceite mineral (bálsamo de Canadá)
- Combustible
- Guantes de procedimiento
- Alcohol

3.2.3. Materiales de trabajo.

- Cuaderno de campo
- Etiquetas
- Clips
- Cinta masking
- Papel bond A4
- Lápiz
- regla metálica
- Tijera metálica
- Mandil
- Marcadores de CD



3.3. MATERIAL EXPERIMENTAL

3.3.1. Alpacas

Para el presente estudio de investigación de fibras se utilizó toda la población alpacas de la raza Suri color blanco del banco de germoplasma del Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA – Puno anexo Quimsachata existente en el año 2018.

3.3.2. Registros

En esta investigación fue necesario la utilización de registros reproductivos de la población de alpacas Suri del INIA – Illpa anexo Quimsacha, de todos los años; los registros utilizados fueron de nacimiento:

3.3.2.1. Registro de empadre controlado:

De esta ficha se obtuvieron datos de los padres cada alpaca, los cuales son la identificación, raza, color y fecha de empadre.

3.3.2.2. Registro de parición:

En la ficha de parición se obtuvieron datos de la madre y datos de la cría que son; identificación de la madre, raza de la madre, color de la madre. También se obtuvo datos de la cría nacida que son raza, color, sexo y fecha de nacimiento.

3.3.2.3. Creación del Registro de genealógico

Con la utilización de los registros de empadre controlado y registro de parición descritos se sistematizó el registro único de genealogía de alpacas Suri blancas del INIA – Illpa anexo Quimsachata. Los campos que se han creados para este registros fueron el arete de la cría del padre de la madre, sexo de la cría y arete de la cría.



3.3.3. Muestra de fibra

Las muestras se tomaron del costillar medio de 38 alpacas. El costillar medio (mid side) considerada la zona más representativa para evaluar el diámetro medio de fibra en alpacas (Aylan-Parker y McGregor, 2002; Holt, 2007), anatómicamente localizada en la tercera costilla y perpendicularmente en la parte media entre las líneas superior dorsal e inferior ventral.

3.3.3.1. Lavado de la muestra de fibra

Las muestras de fibra obtenidas se sometieron a un lavado térmico en baño María a 70 °C, con una capacidad de 12 litros de agua, con detergente no enzimático (Caricia), el enjuague se realizó a choro continuo y finalmente secado de las muestras sin la presencia de luz solar u otras fuentes de luz.

3.4. MEDICIONES

La observación y medición de las fibras individuales se realizaron usando un microscopio de proyección, para la preparación de la muestra de uso en el microscopio se utilizó las muestras lavadas proveniente de cada animal la preparación se detalla a continuación:

a) Corte de la fibra

El corte de las fibras lavadas de alpaca se realizó teniendo en cuenta la uniformidad del corte (2 mm), el corte se realizó en la base de mecha de fibra, un solo corte evitando que la fibra individual se repita sobre en la medición.

b) Preparación sobre el porta objetos

Para el colocado de las fibras cortadas se humecto con aceite mineral sobre el porta objetos, posteriormente se procedió la hominización de las pequeñas fibras cortadas sobre el porta objetos y finalmente terminado todo este proceso se cobre con el cubre objeto.

c) Medición propiamente dicha

Terminado el proceso de preparación de las muestras, cada porta objeto se lectura en el microscopio de proyección, evitando repetición en la medición y observación de las fibras individuales de este modo se siguió una secuencia en la medición con el siguiente detalle:

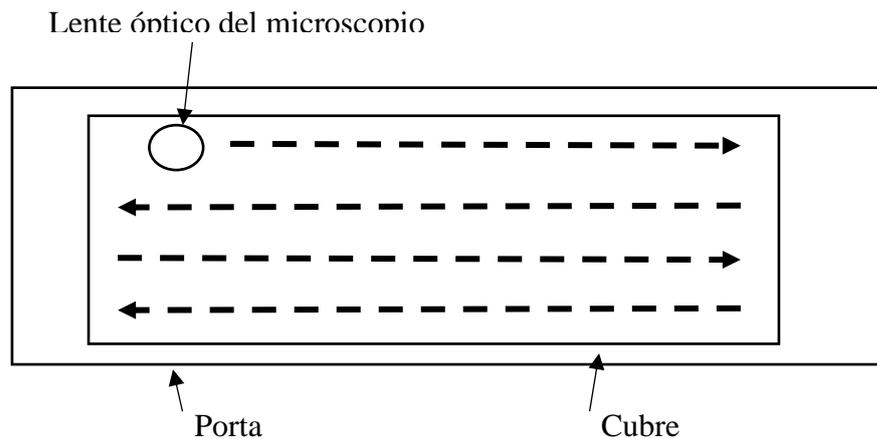


Figura 8. Forma de recorrido en la lectura de fibras individuales con el microscopio de proyección.

La secuencia mostrada en la figura 8, se siguió para lectura las 600 fibras según la normativa IWTO-8-2011. Teniendo en cuenta esta secuencia a seguir para las mediciones de las fibras individuales

3.4.1. Observación del tipo de médula

Una vez proyectada las muestras de fibra individual en el microscopio, en el visor del mismo microscopio se observaron cada fibra en forma individual reconociendo primeramente si tiene presencia de médula o no, si existe medulación se procedió a categorizar según el tipo de médula según la clasificación.

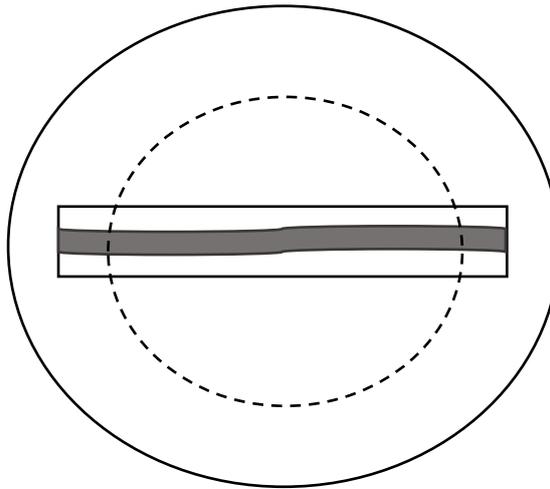


Figura 9. Esquema de visualización de una fibra de alpaca en forma individual en el microscopio de proyección.

3.4.2. Medición del diámetro de médula

Se midió el diámetro de la médula y el diámetro de la fibra perpendicular a la longitud de la fibra, la medida del diámetro consistió en medir el ancho de la médula y el ancho de la fibra proyectada en el visor, para determinar el promedio del diámetro de fibra, diámetro de la médula se midieron un total de 600 fibras individuales, usando la normativa del microscopio de proyección según la International Woll Textile Organization IWTO-8-2011 (IWTO, 2011).

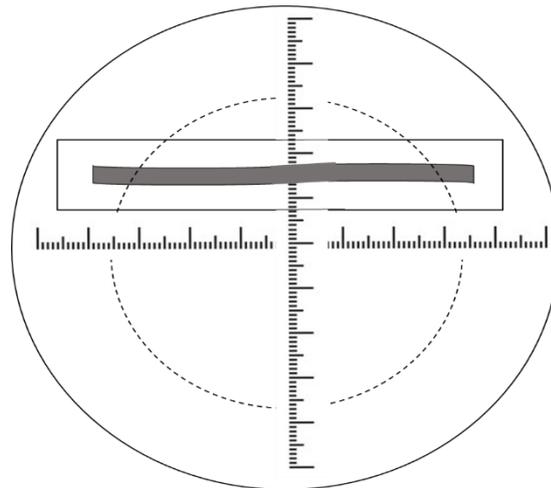


Figura 10. Medición del diámetro de la médula y el diámetro de la fibra.

3.5. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS

Para la estimación de los componentes de varianza y los parámetros genéticos se utilizó el modelo animal (modelo mixto) (Caballero, 2017; Falconer y Mackay, 1996; Gutiérrez, 2010; Quispe y Alfonso, 2018), utilizando la base de datos de las mediciones del diámetro de médula, tipo de médula, diámetro de fibra y el registro genealógico de las Alpacas.

La forma de estimación de los componentes de varianza se realizó categorizando los datos en análisis multivariado (dos caracteres) diámetro de fibra individual con medulación de la fibra.

Para las estimaciones de los componentes de varianza la agrupación de los tipos de médula fue:

- C1 :
 - 1 = Fibras no meduladas.
 - 2 = Fibras con médula fragmentadas.
 - 3 = Fibras con médula discontinua.
 - 4 = Fibras con médula continua.
 - 5 = Fibras con fibras fuertemente medulada.
- C2
 - 1 = Fibras no meduladas.



- 2 = Fibras con médula fragmentadas.
- 3 = Fibras con médula discontinua.
- 4 = Fibras con médula continua y Fibras con fibras fuertemente medulada.
- C3
 - 1 = Fibras no meduladas, fragmentadas y discontinua.
 - 2 = Fibras con médula continua y fibras con fibras fuertemente medulada.

3.5.1. Modelo animal

Se utilizó el modelo animal (modelo mixto), en forma multicaracter tomando el diámetro de fibra con la medulación, por los métodos de máxima verosimilitud e inferencia bayesiana y está dada por:

$$y = Xb + Zu + Wp + e$$

Donde:

y = vector de observaciones (categoría de medulación o diámetro de fibra individual);

b = vector de efectos fijos: edad, edad al cuadrado;

u = vector de efectos genéticos aditivos;

p = vector de ambiente permanente;

e = vector de efectos residuales;

X = matriz de incidencia de efectos fijos;

Z = la matriz de diseño que relaciona el efecto aleatorio del animal;

W = la matriz de incidencia de efectos del medio ambiente permanente;

la ecuación del modelo animal, donde el efecto genético aditivo del animal y el residual son efectos aleatorios y son independientes, o sea no están correlacionados de modo que la covarianza entre el animal y el residuo es cero

(Mamani, 2012). En su forma matricial la varianza y covarianza de los componentes genéticos y ambientales se representaron de la siguiente forma:

$$\text{var} \begin{bmatrix} u \\ p \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A\sigma_u^2 & 0 & 0 \\ 0 & I\sigma_{ep}^2 & 0 \\ 0 & 0 & I\sigma_e^2 \end{bmatrix}$$

Siendo:

$$\mathbf{G} = \mathbf{A}\sigma_u^2$$

$$\mathbf{P} = \mathbf{I}\sigma_{ep}^2$$

$$\mathbf{R} = \mathbf{I}\sigma_e^2$$

Donde:

\mathbf{I} = es la matriz identidad de igual orden al número de subclases de medioambiente permanente.

\mathbf{A} = es el numerador de la matriz de parentesco.

σ_e^2 = es la matriz de covarianza residual entre las mediciones de mismo animal.

σ_u^2 = es la matriz de covarianza para los efectos genéticos aditivos.

σ_{ep}^2 = es la matriz de covarianza para efectos medio ambientales permanentes.

Modelo lineal mixto para estimar componentes de varianza por el método bayesiano. La distribución condicional que generan los datos del modelo descrito es:

$$y / u p \sigma_e^2 \sim N(X\beta + \sum_{i=1}^2 Z u, I\sigma_e^2)$$

Respecto a los supuestos de las distribuciones que son:

$$u / A \sim N(0, A\sigma_u^2), p \sim N(0, I\sigma_p^2), y e \sim N(0, I\sigma_e^2)$$

Para conseguir muestras de la distribución posterior conjunta se aplicó el muestreo de Gibss con una sola cadena de 100000 iteraciones y almacenadas cada 10 iteraciones, descartándose las 10000 primeras (burn-in).

3.5.2. Heredabilidad

La heredabilidad en el sentido estricto, se calculó usando los componentes de varianza (Caballero, 2017; Gutiérrez, 2010):

$$h^2 = \frac{\sigma_u^2}{\sigma_p^2}$$

Donde:

h^2 = Heredabilidad en sentido estricto.

σ_u^2 = Varianza genética aditiva.

σ_p^2 = Varianza fenotípica.

3.5.3. Correlación genética

La correlación genética de cálculo usando lo componente de varianza de caracteres evaluados (Caballero, 2017; Gutiérrez, 2010), como son el diámetro de la fibra y el diámetro de la médula y aplicado a la siguiente formula:

$$r_{u_x u_y} = \frac{\sigma_{u_x u_y}}{\sigma_{u_x} \sigma_{u_y}}$$

Donde:

$r_{u_x u_y}$ = Correlación genética entre dos caracteres.

$\sigma_{u_x u_y}$ = Covarianza entre los caracteres

σ_{u_x} = Varianza genética aditiva del carácter x.

σ_{u_y} = Varianza genética aditiva del carácter y.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. HEREDABILIDAD Y CORRELACIONES GENÉTICAS PARA CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE LA FIBRA.

Se estimaron parámetros genéticos para las características tecnológicas de la fibra en un análisis multivariado por el método frecuentista basado en la máxima verosimilitud restringida los resultados se muestran en la tabla 3.

Las heredabilidades para las características textiles de la fibra fueron moderadas cuyos valores fueron de 0.22 a 0.50 estos valores fueron mayores a lo reportado por J. Gutiérrez (2013) en Alpacas Suri del fundo Pacamarca y cercanos a parámetros de Alpacas de la raza Huacaya reportado por (More *et al.*, 2017); Gutiérrez *et al.* (2009); Cervantes *et al.* (2009) Renieri *et al.* (2007) y menor a lo reportado por Ponzoni *et al.* (1999) en alpacas Australianas.

Tabla 3. Parámetros Genéticos para caracteres de la fibra.

	Promedio del diámetro de fibra, μm	Coefficiente de variación del Promedio del diámetro de fibra, μm	Factor de Confort, %	Finura al Hilado, μm	Diámetro de Médula, μm	Porcentaje de Medulación, %	Promedio del diámetro de fibra, μm
Promedio del diámetro de fibra, μm	0.50 ± 0.23	0.29 ± 0.24	$-0.78 \pm 0.19 \pm$	0.69 ± 0.22	0.83 ± 0.19	0.41 ± 0.27	0.57 ± 0.18
Coefficiente de variación del Promedio del diámetro de fibra, μm		0.54 ± 0.16	0.42 ± 0.30	-0.43 ± 0.29	-0.15 ± 0.28	-0.18 ± 0.36	-0.05 ± 0.24
Factor de Confort, %			0.24 ± 0.11	-0.99 ± 0.05	-0.84 ± 0.19	-0.56 ± 0.26	-0.73 ± 0.17
Finura al Hilado, μm				0.28 ± 0.09	0.83 ± 0.15	0.62 ± 0.25	0.77 ± 0.15
Diámetro de Médula, μm					0.45 ± 0.14	0.72 ± 0.20	0.90 ± 0.11
Porcentaje de Medulación, %						0.22 ± 0.15	0.79 ± 0.18
Promedio del diámetro de fibra, μm							0.46 ± 0.12

Diagonal: heredabilidad; sobre la diagonal: correlación genética.

4.2. HEREDABILIDAD Y CORRELACIÓN GENÉTICA PARA LA MEDULACIÓN Y DIÁMETRO DE LA FIBRA.

En la tabla 4 se muestra las heredabilidades y correlaciones genéticas para la medulación y el diámetro individual de la fibra, la heredabilidad de la medulación resulto baja y la heredabilidad del diámetro individual de la fibra también resulto baja un poco mayor a la medulación, el pequeño número de familias puede resultar en baja precisión y sesgo de las estimaciones.

Tabla 4. Heredabilidad y correlación genética para la medulación y el diámetro de la fibra.

Agrupación	Heredabilidad para el diámetro de la fibra	Heredabilidad para la medulación	Correlación genética
C1	0.27	0.11	0.40
C2	0.27	0.15	0.45
C3	0.25	0.19	0.62

4.2.1. Heredabilidad

Los valores de la heredabilidad del diámetro de la fibra de alpaca de vellón blanco de la raza Suri varían de 0.25 a 0.27, por lo cual deducimos que existe causa mínima genético aditivo y más ambiental (Quispe y Alfonso, 2018), a este resultado añadimos que la población de alpacas del Anexo Quimsachata en un banco de germoplasma por lo que la selección no tiene mucha presión de selección.

Considerando los resultados encontrados y comparando con la bibliografía disponible entendemos que dentro de los parámetros genéticos el valor la heredabilidad es propio de cada población de animales, también Falconer y Mackay (1996) indica que las variaciones entre los valores de heredabilidad reportadas en diferentes estudios podrían atribuirse a diferencias entre poblaciones



y métodos de estimación con la cual fueron estimadas e incluso puede variar en función del nivel del ambiente que se considere

Los datos obtenidos inferior a la heredabilidad del diámetro individual de la fibra de Alpaca de vellón blanco de la raza Huacaya 0.28 a 0.35 reportado por Pinares *et al.* (2018), los valores de la heredabilidad para el diámetro de fibra individual son menores que los valores de la heredabilidad del PDF que tienen un rango de 0.32 a 0.72 (Renieri *et al.*, 2007; Gutiérrez *et al.*, 2009; Ponzoni *et al.*, 1999; Wuliji *et al.*, 2000).

La heredabilidad de la medulación de la fibra resulto de 0.11 a 0.19, estos resultados son similares a la heredabilidad de la medulación de la fibra en Alpacas de la raza Huacaya 0.11 a 0.36 reportado por Pinares *et al.* (2018), también las heredabilidades estimadas son menores a los reportado por Frank *et al.* (2011) en llamas con un valor de 0.29, también los resultados son menores a las heredabilidades reportadas en ovinos 0.37 reportado por Sánchez *et al.* (2016).

4.2.2. Correlación genética entre el diámetro de la fibra individual y la medulación de la fibra

Las correlación genética entre el diámetro individual de la fibra y la medulación de las fibras resulto valores entre 0.40 a 0.62.

Los valores de la correlación genética encontrada permiten suponer que existe pleiotropía, en la cual consiste que los mismos genes encargados en la expresión del diámetro de la fibra están también expresando la medulación en forma. Sin embargo también puede deberse al ligamiento debido que los principales genes que afectan a las dos características están se encuentran muy



cercanos dentro del cromosoma y tiende a mantenerse juntos durante la meiosis (Caballero, 2017).

Los valores son similares a los reportado por Pinares *et al.* (2018) en alpacas de la raza Huacaya con valores 0.26 a 0.93, también similar en llamas argentinas con un valor de 0.36 (Frank *et al.* (2011)).



4.3. RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DE FIBRAS EN MICROSCOPIO DE PROYECCIÓN

4.3.1. Características tecnológicas de la fibra

Con los datos obtenidos del microscopio de proyección, se estimó el PDF, CVPDF, FC, FH, DM y PM, estas características tecnológicas de la fibra se analizaron en un diseño completamente al azar tomando como factor el grupo etario y el sexo. Para la confirmación de los supuestos de homogeneidad de la varianza y normalidad, los datos de PDF y FH no se transformaron, los datos de CVPDF se transformaron a datos angulares, los datos de PMED se transformaron a raíz cuadrada. Para los datos de FC, FP y PM se analizó en un análisis de varianza no parámetro de Kruscal Wallis y estos resultados se muestran en la tabla 5.

Se observa que el factor edad influye significativamente sobre el PDF, FC, FH y PMED pero no influye sobre CVPDF. El factor sexo no influye en ninguna de las características.

En la tabla 6 se observa la prueba de comparación de medias de Tukey para las características tecnológicas de la fibra de alpaca Suri.

Tabla 5. Análisis de varianza para características textiles de la fibra

Factor	Promedio del diámetro de fibra, μm	Coefficiente de variación del Promedio del diámetro de fibra, %	Factor de Confort, %	Finura al Hilado, μm	Diámetro de Médula, μm	Porcentaje de Medulación, %
Edad	**	ns	**	**	**	*
Sexo	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C V (%)	17.95	14.42	10.37	17.66	36.74	22.81
promedio general	21.23	24.10	92.08	24.14	5.12	57.05

** : Altamente Significativo; * : Significativo; ns: no significativo

Tabla 6. Comparación de medias de Tukey para características textiles de la fibra según edad y sexo.

Factor	N	Promedio del diámetro de fibra, μm	Coefficiente de variación del Promedio del diámetro de fibra, %	Factor de Confort, %	Finura al Hilado, μm	Diámetro de Médula, μm	Porcentaje de Medulación, %
Edad							
DL	16	18.95±0.79a	25.09±0.90a	96.27±2.04a	21.78±0.88a	4.07±0.39a	60.80±3.47a
2D	4	19.86±1.62ab	22.59±1.86a	96.55±4.20a	22.26±1.80a	4.59±0.80ab	68.12±7.13ab
4D	5	20.31±1.40ab	22.74±1.61a	94.91±3.63a	22.82±1.55a	4.33±0.69a	61.03±6.16a
BL	16	24.50±0.87b	24.52±1.00a	83.70±2.25b	27.93±0.97b	6.78±0.43b	80.67±3.83b
Sexo							
Hembra	10	21.13±0.63a	23.26±0.72a	93.40±1.63a	23.84±0.70a	5.02±0.31a	67.83±2.76a
Macho	28	20.67±1.08a	24.21±1.24a	92.32±2.80a	23.55±1.20a	4.87±0.53a	67.49±4.76a
TOTAL	38	21.23±0.62	24.10±0.56	92.08±1.55	24.14±0.69	5.12±0.31	57.05±2.53

Diferencias entre promedios con diferentes letras en una misma columna son significativos ($p \leq 0.05$).

4.3.1.1. Promedio del diámetro de fibra

El PDF en alpacas (Figura 11) de edades diente de leche (DL), 2 dientes (2D) y 4 dientes (4D) resultan más finos a diferencia de animales de la edad de Boca llena (BL), sus promedios fueron 18.95 ± 0.79 , 19.86 ± 1.62 , 20.31 ± 1.40 y 24.50 ± 0.87 μm respectivamente, los promedios de animales DL, 2D y 4D son estadísticamente iguales pero diferentes a animales de BLL ($p \leq 0.05$), se puede afirmar que el diámetro de la fibra engruesa a medida que desarrollan lo mismo que en alpacas Huacaya, y alpacas Suri en Australia reportado por Lupton *et al.* (2006).

Para el efecto del sexo con promedios de 21.13 ± 0.63 y 20.67 ± 1.08 μm para hembras y machos respectivamente, cuyas diferencias no son estadísticamente diferentes ($p \geq 0.05$), similares resultados son reportados por Ormachea *et al.* (2015) en alpacas Huacaya, también por Huanchi (2018) en una combinación de alpacas Huacaya con Suri.

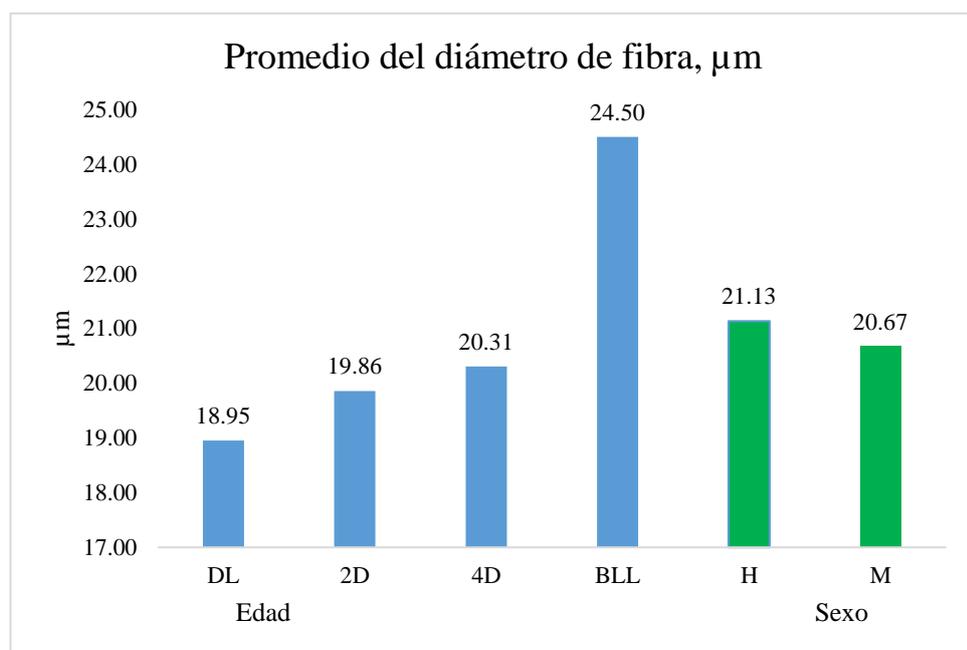


Figura 11. Promedio del diámetro de fibra según la edad y sexo.

4.3.1.2. Coeficiente de variación del Promedio del diámetro de fibra

Para la característica CVPDF (Figura 12) según el grupo etario DL, 2D, 4D y BL con promedios 25.09 ± 0.90 , 22.59 ± 1.86 , 22.74 ± 1.61 y 24.52 ± 1.00 % respectivamente, incluyendo el factor del sexo con promedios 23.26 ± 0.72 y 24.21 ± 1.24 % para hembras y machos respectivamente todos son estadísticamente iguales ($p \geq 0.05$), la media general estimada para la población para el CVPDF fue de 24.10 ± 0.56 % similares resultados son reportados por Lupton y McColl (2011) con un valor 25.9 ± 3.9 % en alpacas Suri australianas, en tal caso se puede asumir que el CVPDF no varía considerablemente a medida que el animal se desarrolla.

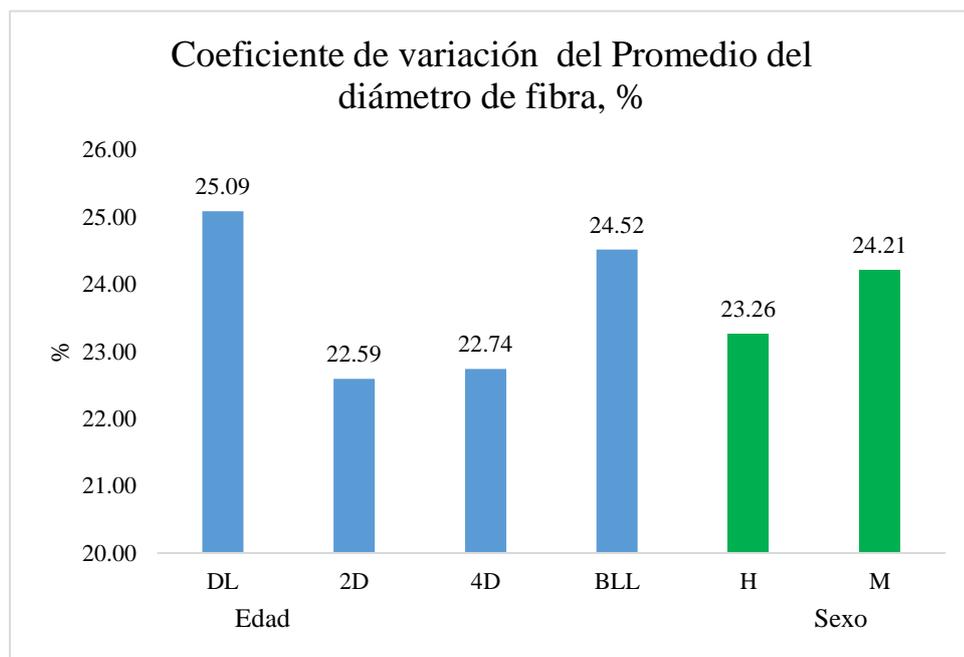


Figura 12. Coeficiente de variación del Promedio del diámetro de fibra según edad y sexo.

4.3.1.3. Factor de confort

El FC (Figura 13) de animales DL, 2D y 4D resulta con promedios similares e iguales estadísticamente estas fueron 96.27 ± 2.04 , 96.55 ± 4.204 y 94.91 ± 3.63 % respectivamente, comparado a animales de BL con un promedio de

83.70±2.25 % estos son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$), resultados similares se da por el reporte de Ormachea *et al.* (2015), la pérdida del confort estaría relacionado con el engrosamiento del diámetro de la fibra por efecto de la edad y es más notorio en la edad adulta.

El factor sexo resulta estadísticamente iguales con promedios 93.40±1.63 y 92.32±2.80 % para hembras y machos respectivamente ($p \geq 0.05$), se puede considerar que las hembras tienen un mayor grado de confort que macho lo cual se refleja también en el PDF, estos resultados discrepan con los reportes de Huanchi (2018) y Diaz (2014) en cual reportan que machos son más confortables.

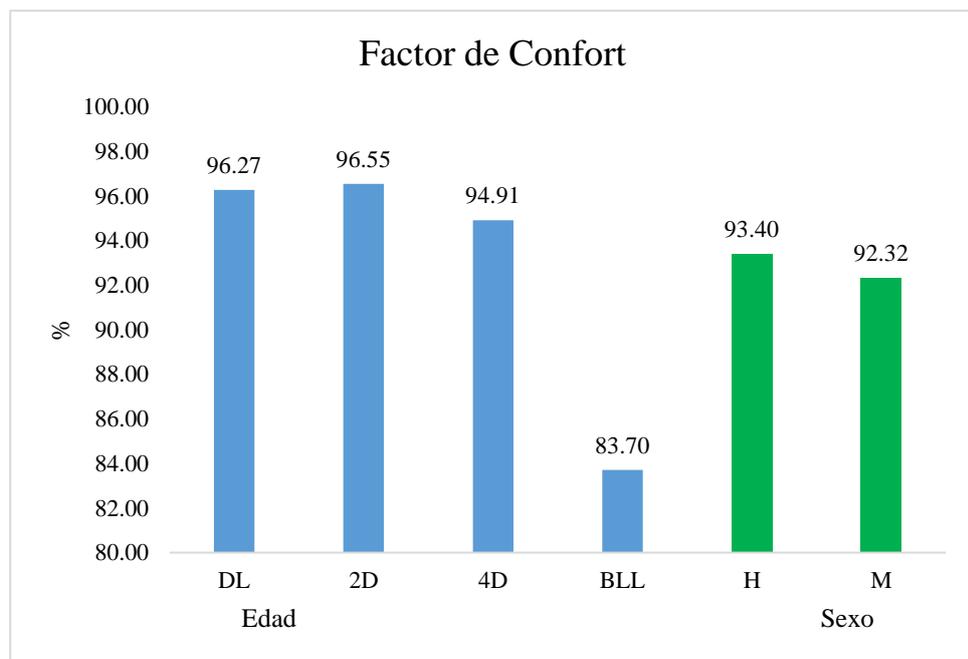


Figura 13. Factor de confort según la edad y sexo.

4.3.1.4. Finura al hilado

La FH según los factores (Figura 14), donde animales DL, 2D y 4D presentan una mejor finura al hilado con promedios de 21.78±0.88, 22.26±1.80 y 22.82±1.55 μm estas diferencias son estadísticamente iguales ($p \geq 0.05$), animales

de BL con un promedio $26.77 \pm 1.18 \mu\text{m}$ un poco grueso, en definitiva esta característica es un estimado usando los valores del PDF y CVPDF según los reportes de Butler y Dolling (2008) su valor dependerá del CVPDF (Holt, 2007), tiene una relación con el factor edad esta porque está basado por el PDF y este carácter es influenciado por la edad ($p \leq 0.05$).

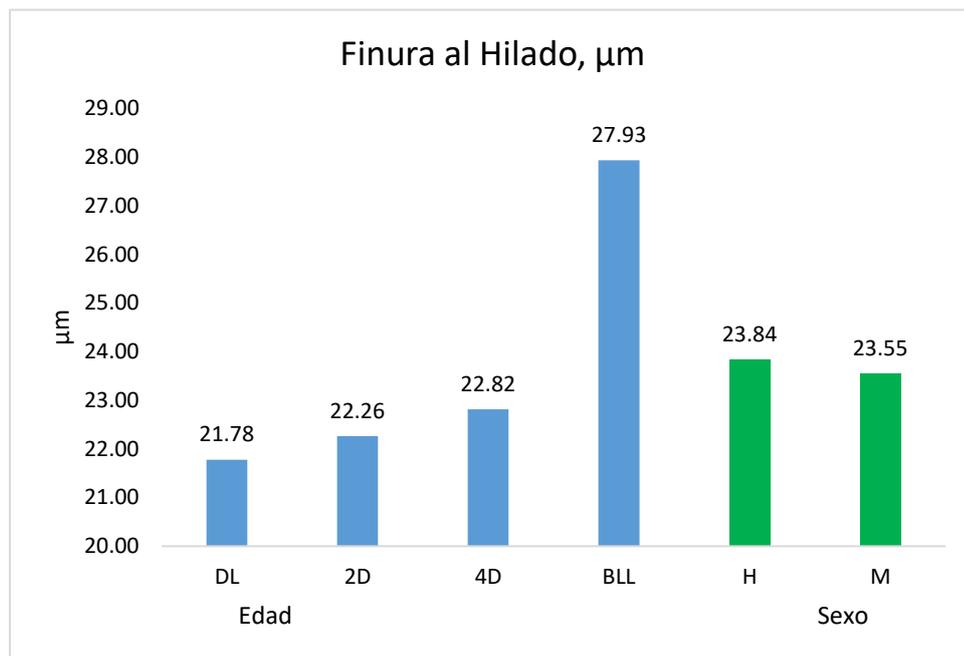


Figura 14. Finura al hilado según la edad y sexo.

4.3.1.5. Diámetro de médula

Para el diámetro de la médula (Figura 15) según la edad del animal se obtuvieron que los animales DL, 2D y 4D tienen un menor promedio de médula en sus fibras sus promedios fueron 4.07 ± 0.39 , 4.59 ± 0.80 y $4.33 \pm 0.69 \mu\text{m}$ respectivamente, en cambio los animales adultos BL obtienen un promedio de $6.78 \pm 0.43 \mu\text{m}$ siendo el más grueso, con respecto al sexo se obtienen promedios de 5.02 ± 0.31 y $4.87 \pm 0.53 \mu\text{m}$ para hembras y machos respectivamente, siendo estas diferencias estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$), según el reporte de Gutiérrez,

Burgos, Cruz, Gutiérrez y Pinares (2019) en donde concluye que la parencia de la médula aumenta mientras la edad del animal también avanza.

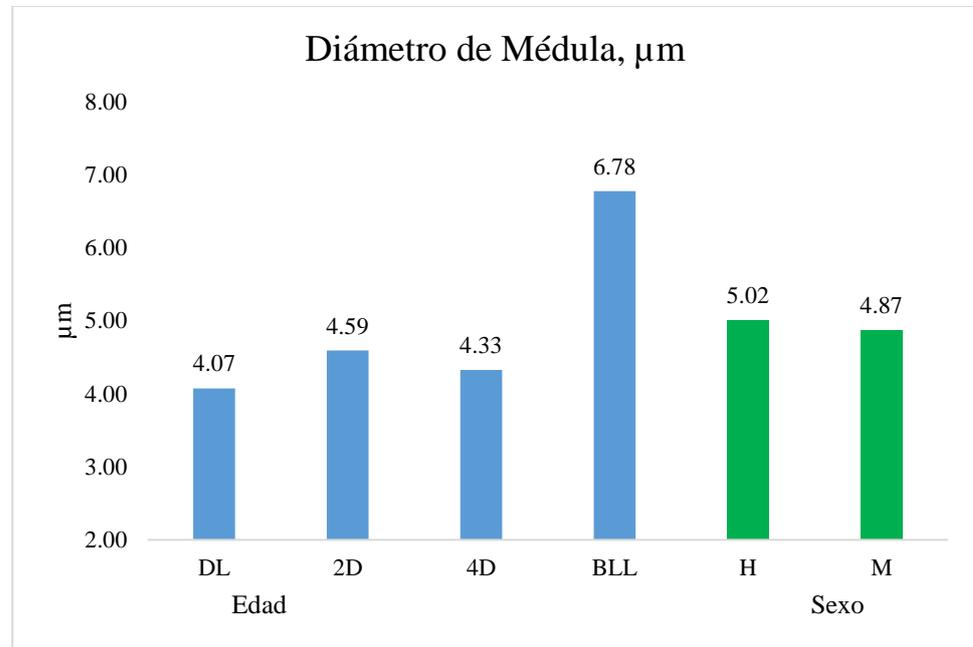


Figura 15. Diámetro de la médula según la edad y sexo.

4.3.1.6. Porcentaje de medulación

El porcentaje de medulación (Figura 16) de las fibras (PM) es menor en animales de DL y 4D con promedios 60.80 ± 3.47 y 61.03 ± 6.16 % respectivamente, estas diferencias son estadísticamente iguales ($p \geq 0.05$). Mientras tanto animales de BL y 2D presentan un mayor porcentaje de medulación con promedios 68.12 ± 7.13 y 80.67 ± 3.83 % respectivamente siendo el más alto en animales adultos BL, según el sexo se tienen promedios 67.83 ± 2.76 y 67.49 ± 4.76 % para hembras y machos respectivamente, los resultados no tienen una tendencia en relación con la edad y con el reporte de Gutiérrez et al. (2019) también se puede asumir que la medulación proviene del efecto genético mencionado por Frank *et al.* (2011).

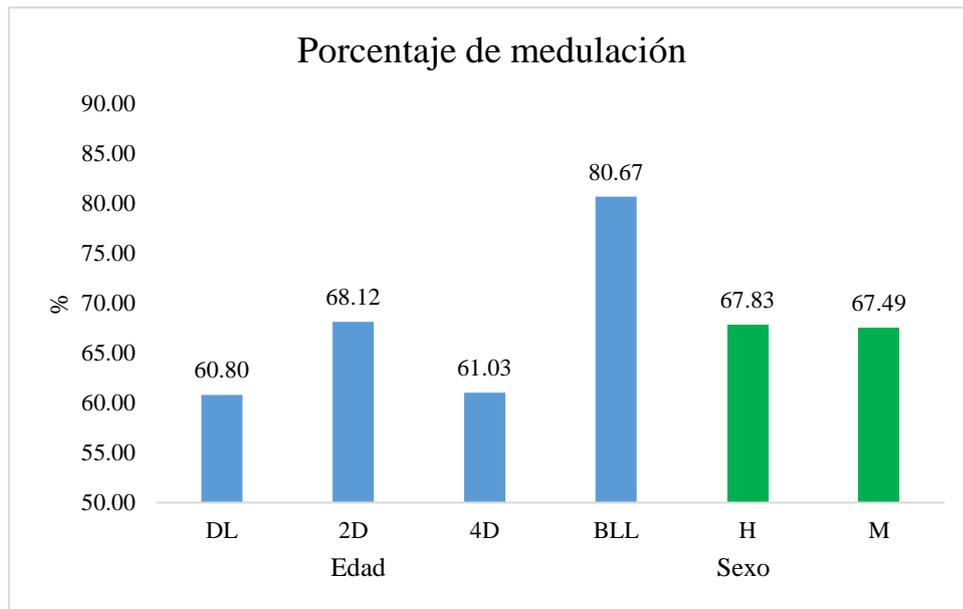


Figura 16. Porcentaje de medulación de fibras según la edad y sexo.

4.3.2. Correlación y regresión.

En la tabla 7 se muestran los coeficientes de correlación de Pearson para las características textiles de la fibra tomadas en cuenta en la investigación donde se observan valores bajos 0.05 y altos 0.98.

De la tabla 7 nos enfocaremos más del promedio del diámetro de la fibra y su correlación con el porcentaje de medulación de las fibras y el diámetro de la médula cuyos valores son 0.69 y 0.86 considerados altos y positivos, se puede explicar que el porcentaje de medulación está altamente relacionado con el promedio del diámetro de fibra resultado similar al reporte de Gutiérrez *et al.* (2019) en alpacas de la raza Huacaya, por otro lado el promedio del diámetro de la médula también está altamente relacionado con el diámetro de la fibra este comportamiento de los caracteres se puede asumir que la medulación proviene del efecto genético mencionado por Frank *et al.* (2011).

Tabla 7. Coeficientes de correlación de Pearson de características textiles de la fibra.

	Promedio del diámetro de fibra, μm	Coefficiente de variación del Promedio del diámetro de fibra, %	Factor de Confort, %	Finura al Hilado, μm	Diámetro de Médula, μm	Porcentaje de Medulación, %
Promedio del diámetro de fibra, μm		-0.15	-0.90	0.98	0.69	0.86
Coefficiente de variación del Promedio del diámetro de fibra, %	ns		0.11	0.05	0.09	0.11
Factor de Confort, %	**	ns		-0.88	-0.68	-0.83
Finura al Hilado, μm	**	ns	**		0.71	0.90
Diámetro de Médula, μm	**	ns	**	**		0.69
Porcentaje de Medulación, %	**	ns	**	**	**	

Sobre la diagonal coeficientes de correlación; debajo de la diagonal: significancia del valor de la correlación.

** : Altamente Significativo; * : Significativo; ns: no significativo

En la figura 17 se puede observar la relación que tiene el promedio del diámetro de la fibra con el promedio del diámetro de la médula cuyo valor de correlación fue de 0.68 considerado media positiva, donde se asumiría que el diámetro de la médula está relacionado con el PDF, esto concuerda con la conclusión en la investigación de Gutiérrez *et al.* (2019) en alpacas de la raza Huacaya en Puno.

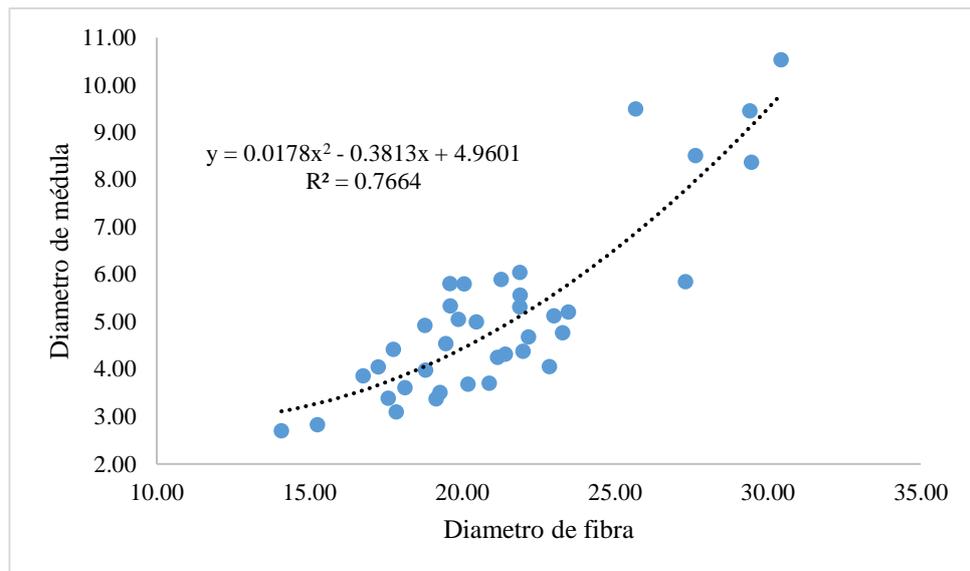


Figura 17. Correlación y regresión ente el diámetro de fibra y el diámetro de médula.

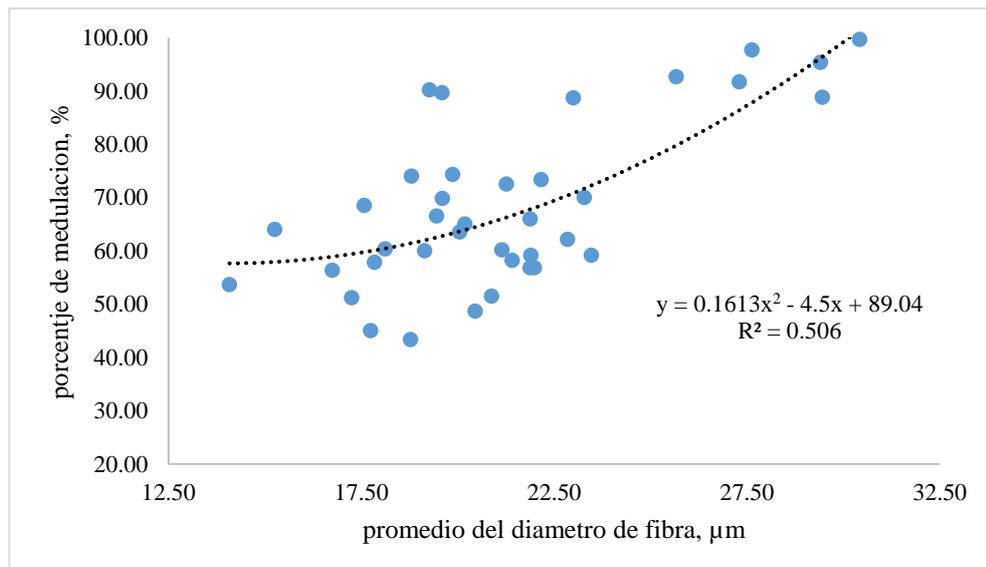


Figura 18. Correlación y regresión ente el diámetro de fibra y el porcentaje de medulación.



V CONCLUSIONES

La heredabilidad y correlación genética del diámetro individual de la fibra y la medulación de la población de alpacas de vellón blanco de la raza Suri en el Anexo experimental Quimsachata INIA – Illpa fueron:

- La heredabilidad estimada para medulación de la fibra individual de alpacas de vellón y el diámetro de la fibra individual de la fibra para la población de alpacas de la raza Suri del banco de germoplasma del anexo Quimsachata del instituto nacional de innovación agraria son considerados de baja proporción.
- La correlación genética estimada de la medulación de la fibra y el diámetro individual de la fibra para la población de alpacas de la raza Suri del banco de germoplasma del anexo Quimsachata del instituto nacional de innovación agraria resulta media positiva.



VI RECOMENDACIONES

- Realizar más estudios sobre el porcentaje medulación y la medulación de la fibra individual de alpacas de las razas Huacaya y Suri.
- Realizar más estudios sobre estimación parámetros genéticos tomando como caracteres: el porcentaje medulación y la medulación de la fibra individual de y el diámetro de la médula en alpacas de las razas Huacaya y Suri.
- Revalorar la crianza de Alpacas de la raza Suri por sus buenas características deseables para la industria textil.



VII REFERENCIAS

- Aguilar, H. (2019). *Parámetros genéticos de caracteres asociados a la uniformidad del diámetro de fibra en alpacas Huacaya del fundo Mallkini, Puno*. (Doctorado), Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima - Peru.
- Allain, D., & Renieri, C. (2010). Genetics of fibre production and fleece characteristics in small ruminants, Angora rabbit and South American camelids. *Animal*, 4(9), 1472-1481. doi: 10.1017/S1751731110000029
- Allain, D., & Roguet, J. M. (2006). Genetic and non-genetic variability of OFDA-medullated fibre contents and other fleece traits in the French Angora goats. *Small Ruminant Research*, 65(3), 217-222. doi: 10.1016/j.smallrumres.2005.06.028
- Antonini, M. (2010). Hair follicle characteristics and fibre production in South American camelids. *Animal*, 4(9), 1460-1471. doi: 10.1017/S1751731110001035
- Antonini, M., Gonzales, M., & Valbonesi, A. (2004). Relationship between age and postnatal skin follicular development in three types of South American domestic camelids. *Livestock Production Science*, 90(2004), 241-246. doi: 10.1016/j.livprodsci.2004.06.001
- Arango, S. (2016). *VARIACIÓN DEL FACTOR CONFORT EN VELLONES DE ALPACA HUACAYA CON RELACIÓN AL SEXO Y EDAD*. (pregrado), Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima- Peru. Retrieved from <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2646/L01-A7-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aylan-Parker, J., & McGregor, B. (2002). Optimising sampling techniques and estimating sampling variance of fleece quality attributes in alpacas. *Small Ruminant Research*, 44(2002), 12.



- Balasingam, A., & Mahar, T. (2005). Status Report on Dark and Medullated Fibre Testing of Presale Core Samples and Review of the Detection Threshold for Contaminant Medullation. *International Wool Textile Organisation*, 14.
- Butler, K. L., & Dolling, M. (2008). Spinning Fineness for Wool. *The Journal of The Textile Institute*, 86(1), 164-166. doi: 10.1080/00405009508631319
- Caballero, A. (2017). *Genética cuantitativa* (E. Sintesis Ed. Primera ed. Vol. Primera). Madrid España.
- CENAGRO. (2012). IV censo nacional agropecuario. from Intituto nacional de estadistica e informatica INEI <http://censos.inei.gob.pe/Cenagro/redatam/#>
- Cervantes, I., Goyache, F., Pérez-Cabal, M. A., Nieto, B., Salgado, C., Burgos, A., & Gutiérrez, J. P. (2009). Parámetros Genéticos y Tendencias Genéticas Asociados A Caracteres Productivos y De Apariencia Del Vellón En Alpacas. *Ateon*, 3.
- Colorado State University, U. S. (Ed.) (2010) Glossary of Wool Terms (Vols. 1).
- Czaplicki, Z. (2012). Properties and Structure of Polish Alpaca Wool. *Fibres Text East Eur*, 20(90), 5.
- DGPA. (2018). Sumaq Alpaca situacion de la Alpaca en el Peru. In Dirección General de PolíticasAgrarias & D. d. E. E. e. I. Agraria (Eds.). Peru: Minagagri.
- Diaz, J. (2014). *principales características de la fibra de alpacas Huacaya y Suri del sector Chocoquilla - Carabaya*. (Pregrado), Universidad Nacional del Altiplano, Puno - Peru. Retrieved from http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2053/Diaz_Rozas_Jaime_Alain.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- DRAP. (2019). Anuario Estadístico agropecuario. In D. E. A. e. Informatica (Ed.), *Sintesis Agraria* (pp. 10). Puno - Peru: Dirección Regional Agricultura Puno.



- Falconer, D., & Mackay, T. (1996). *Introducción a la genética cuantitativa* (Acribia Ed.). Madrid España.
- Fish, V., Mahar, T., & Crook, B. (1999). Fibre Curvature Morphometry and Measurement. *International Wool Textile Organisation, CTF 01*, 15.
- Frank, E. N., Hick, M. V. H., & Adot, O. (2007). Descriptive differential attributes of type of fleeces in Llama fibre and its textile consequence: 1 – Descriptive aspects. *Journal of the Textile Institute*, 98(3), 251-259. doi: 10.1080/00405000701489362
- Frank, E. N., Hick, M. V. H., Gauna, C. D., Lamas, H. E., Renieri, C., & Antonini, M. (2006). Phenotypic and genetic description of fibre traits in South American domestic camelids (llamas and alpacas). *Small Ruminant Research*, 61(2-3), 113-129. doi: 10.1016/j.smallrumres.2005.07.003
- Frank, E. N., Hick, M. V. H., Molina, M. G., & Caruso, L. M. (2011). Genetic parameters for fleece weight and fibre attributes in Argentinean Llamas reared outside the Altiplano. *Small Ruminant Research*, 99(1), 54-60. doi: 10.1016/j.smallrumres.2011.03.048
- Gallegos, R. (2012). *Tecnología de lanas y fibras*. trujillo: Universidad nacional del altiplano.
- Gentry, A., Clutton-Brockb, J., & Grovesc, C. (2004). The naming of wild animal species and their domestic derivatives. *Journal of Archaeological Science*, 31, 645–651. doi: 10.1016/j.jas.2003.10.006
- Gerken, M. (2010). Relationships between integumental characteristics and thermoregulation in South American camelids. *Animal*, 4(9), 1451-1459. doi: 10.1017/S1751731109991443



- Gianola, D., & Fernando, R. (1986). Bayesian Methods in Animal Breeding Theory. *Journal of Animal Science*, 63(1), 217–244. doi: <https://doi.org/10.2527/jas1986.631217x>
- Grigg, G., Beard, L., & Augee, M. (2004). The Evolution of Endothermy and Its Diversity in Mammals and Birds. *Physiological and Biochemical Zoology*, 77, 17. doi: 10.1086/425188
- Gutiérrez, G. (2008). Revisión de la estimación de los parámetros genéticos en alpacas. In E. Quispe (Ed.), *Actualidades sobre adaptación, producción, reproducción y mejora genética en camélidos* (pp. 83-92). Huancayo - Peru.
- Gutiérrez, J. (2010). *Iniciación a la valoración genética animal. metodología adaptada al EEES* (S. A. Editorial Complutense Ed. primera ed.). Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid.
- Gutiérrez, J. (2013). Fibre genetics on Alpaca. *France Symposium on South American Camelids and other Fibre Animals*, 64, 20.
- Gutiérrez, J. (2018). La medula como criterio de selección. *VIII Congreso mundial sobre camélidos*, 28.
- Gutiérrez, J., Burgos, A., Cruz, A., Gutiérrez, G., & Pinares, R. (2019). Variabilidad fenotípica del porcentaje de fibras meduladas en el vellón de alpaca Huacaya. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 30(2), 699-708. doi: 10.15381/rivep.v30i2.16098
- Gutiérrez, J., Goyache, F., Burgos, A., & Cervantes, I. (2009). Genetic analysis of six production traits in Peruvian alpacas. *Livestock Science*, 123(2-3), 193-197. doi: 10.1016/j.livsci.2008.11.006



- Hack, W., McGregor, B., Ponzoni, R., Judson, G., Carmichael, I., & Hubbard, D. (1999). Australian Alpaca Fibre Improving Productivity and Marketing. *Rural Industries Research and Development Corporation*, 99/, 140.
- Hardy, M., & Lyne, A. (1955). The pre-natal development of wool follicle in merino sheep. *Australian Journal of Biological Sciences*, 9(3), 423-441.
- Harrison, J. A. (1985). Giant Camels from the Cenozoic of North America. *Smithsonian Institution Press*, 33.
- Holt, C. (2007). *Fibre testing for alpaca breeders*.
- Holle, S. A. (1992). *Aspects of wool follicle morphology and cell proliferation in Romney sheep selected for high fleece production : a thesis presented in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Veterinary Science at Massey University*. (Doctor of Philosophy (Ph.D.) Doctoral), Massey University. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10179/3113>
- Huanchi, V. (2018). *Fenotipificación de alpacas Suri en el centro de investigación y producción Chuquibambilla*. (pregado), Universidad Nacional del Altiplano, Puno - Peru.
- Hunter, L. (1993). *A review of its properties, processing and applications*.
- Hunter, L., Smuts, S., & Botha, A. F. (2013). Characterizing Visually Objectionable and Nonobjectionable Medullated Fibers in Mohair. *Journal of Natural Fibers*, 10(2), 112-135. doi: 10.1080/15440478.2013.763483
- IWTO International Wool Textile Organisation. Fibre diameter distribution parameters and percentage of medullated fibres in wool and other animal fibres by the projection microscope (2011).
- Kadwell, M., Fernandez, M., Stanley, H. F., Baldi, R., Wheeler, J. C., Rosadio, R., & Bruford, M. W. (2001). Genetic analysis reveals the wild ancestors of the llama



- and the alpaca. *Proc Biol Sci*, 268(1485), 2575-2584. doi: 10.1098/rspb.2001.1774
- Leon - Velarde, C., & Gerrero, J. (2001). Improving quantity and quality of Alpaca fiber; using a simulation model for breeding strategies. 9.
- Lupton, C., Pfeiffer, F., & Blakeman, N. (1991). Medullation in mohair. *Small Ruminant Research*, 5(4), 9. doi: [https://doi.org/10.1016/0921-4488\(91\)90073-Y](https://doi.org/10.1016/0921-4488(91)90073-Y)
- Lupton, C. J., & McColl, A. (2011). Measurement of luster in Suri alpaca fiber. *Small Ruminant Research*, 99(2-3), 178-186. doi: 10.1016/j.smallrumres.2011.03.045
- Lupton, C. J., McColl, A., & Stobart, R. H. (2006). Fiber characteristics of the Huacaya Alpaca. *Small Ruminant Research*, 64(3), 211-224. doi: 10.1016/j.smallrumres.2005.04.023
- Mamani, J. (2012). *Produccion de Camélidos Sudamericanos* (O. U. D. INVESTIGACIÓN Ed.). Puno - Peru: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - VICERRECTORADO ACADÉMICO- , Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica.
- Manso, C. (2011). *DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE FIBRA DE ALPACA EN HUANCAVELICA (PERÚ): VALIDACIÓN DE LOS MÉTODOS DE MUESTREO Y VALORACIÓN*. (pregrado), Universidad Pública de Navarra, Navarra. Retrieved from <https://hdl.handle.net/2454/3448>
- Mengoni Goñalons, G. L. (2008). Camelids in ancient Andean societies: A review of the zooarchaeological evidence. *Quaternary International*, 185(1), 59-68. doi: 10.1016/j.quaint.2007.05.022
- MINAGRI. (2018a). *Anuario Estadístico de la Producción Pecuaria y avícola 2017*. (2019, 13-07). MINAGRI, Lima, Perú.



- MINAGRI. (2018b). Compendio Estadístico Perú 2018. In M. d. a. y. r. MINAGRI (Ed.), (pp. 88). Lima - Peru: Ministerio de agricultura y riego.
- Montes, M., Quicaño, I., Quispe, R., Quispe, E., & Alfonso, L. (2008). Quality characteristics of Huacaya alpaca fibre produced in the Peruvian Andean Plateau region of Huancavelica. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 6(1), 33-38. doi: <https://dx.doi.org/10.5424/sjar/2008061-5258>
- Moore, K. E., Blache, D., & Maloney, S. K. (2011). Fibre diameter and insulation in alpacas: The biophysical implications. *Small Ruminant Research*, 96(2-3), 165-172. doi: 10.1016/j.smallrumres.2011.01.012
- More, M., Ponce, D., Vivanco, W., Asparrin, M., & Gutierrez, G. (2017). Genetic parameters for fleece weight and fibre characteristics in Huacaya Alpacas. *World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*(11), 4.
- Naylor, G. (2017). Comfortable next-to-skin wool. *CSIRO Innovations in wool textile technology*, 3-14.
- Ormachea, E., Calsín, B., & Olarte, U. (2015). Características textiles de la fibra en alpacas huacaya del distrito de Corani Carabaya, Puno. *Rev. Investig. Altoandin.*, 17(2), 215-220. doi: <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2015.115>
- Pinares, R., Gutiérrez, G. A., Cruz, A., Morante, R., Cervantes, I., Burgos, A., & Gutiérrez, J. P. (2018). Heritability of individual fiber medullation in Peruvian alpacas. *Small Ruminant Research*, 165, 93-100. doi: 10.1016/j.smallrumres.2018.04.007
- Pinto, C., Martín, C., & Cyd, M. (2010). Camélidos sudamericanos: clasificación, origen y características. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 4, 14.



- Ponzoni, R., Grimson, R., Hill, J., Hubbard, D., McGregor, B., Howse, A., . . . Judsoa, G. (1999). The inheritance of and associations among some production traits in young australian alpacas. *Proc. Assoc. Advmt. Anim. Breed. Genet.*, 13, 5.
- Powell, B., & Rogers, G. (1997). The role of keratin proteins and their genes in the growth, structure and properties of hair *Formation and Structure of Human Hair* (pp. 59-148). Birkhauser Verlag, Basel.
- Quispe, E., & Alfonso, L. (2018). *Predicción de valores de cría de animales domésticos* (Vol. Segunda Edición). Perú: Bravo Impresores.
- Quispe, E., Gutiérrez, J., & Poma Gutiérrez, A. (2012). *Plan de Mejoramiento Genético para Alpacas de color blanco en la Región de Huancavelica*. Peru.
- Quispe, E., Poma, A., & Purroy, A. (2013). Características productivas y textiles de la fibra de alpacas de raza huacaya. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 7(1). doi: 10.5209/rev_RCCV.2013.v7.n1.41413
- Renieri, C., Pacheco, C., Valbonesi, A., Frank, E. N., & Antonini, M. (2007). PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENETICO EN CAMELIDOS DOMESTICOS. *Archivo Latinoamericano de Producción Animal*, 15, 205-210.
- Rensberger, J. (1979). Pleistocene Mammals of Florida, Edited by S. David Webb. *The University Presses of Florida, Gainesville. Quaternary Research*, 12, 2. doi: doi:10.1016/0033-5894(79)90064-4
- Sánchez, A. L., Urioste, J. I., Peñagaricano, F., Neimaur, K., Sienna, I., Naya, H., & Kremer, R. (2016). Genetic parameters of objectionable fibers and of their associations with fleece traits in Corriedale sheep. *American Society of Animal Science*, 94(1), 8. doi: 10.2527/jas2015-9619
- Sanga, D. (2019). La fibra de alpaca: Un legado vivo y exportable (Perú). Retrieved 22-11-2019, from



<http://repositorio.uasf.edu.pe/bitstream/UASF/233/1/AC%20DST%20La%20fibra...pdf>

- Stanley, H. F., Kadwell, M., & Wheeler, J. C. (1994). Molecular evolution of the family Camelidae: a mitochondrial DNA study. *Proc Biol Sci*, 256(1345), 1-6. doi: 10.1098/rspb.1994.0041
- Stoffberg, M. E., Hunter, L., & Botha, A. (2015). The Effect of Fabric Structural Parameters and Fiber Type on the Comfort-Related Properties of Commercial Apparel Fabrics. *Journal of Natural Fibers*, 12(6), 505-517. doi: 10.1080/15440478.2014.967370
- Thompson, R. (2008). Estimation of quantitative genetic parameters. *Proc Biol Sci*, 275(1635), 679-686. doi: 10.1098/rspb.2007.1417
- Valbonesi, A., Cristofanelli, S., Pierdominici, F., Gonzales, M., & Antonini, M. (2010). Comparison of Fiber and Cuticular Attributes of Alpaca and Llama Fleeces. *Textile Research Journal*, 80(4), 344-353. doi: 10.1177/0040517509337634
- Vélez, V., Torres de Jasauí, J., Leyva, V., & García, W. (2009). Histología descriptiva de la piel de Alpaca. V CONGRESO MUNDIAL SOBRE CAMÉLIDOS, 9.
- Wang, H., Xin, L., & Wang, X. (2005). Internal Structure and Pigment Granules in Colored Alpaca Fibers. *Fibers and Polymers*, 6, 6.
- Wang, X., Wang, L., & Liu, X. (2003). The Quality and Processing Performance of Alpaca Fibres. *Rural Industries Research and Development Corporation*, 03, 128.
- Wheeler, J. (1995). Evolution and present situation of the south American Camelidae. *Biol J Linn Soc*, 54, 25. doi: [https://doi.org/10.1016/0024-4066\(95\)90021-7](https://doi.org/10.1016/0024-4066(95)90021-7)
- Wheeler, J. (2012). South American camelids - past, present and future. *Journal of Camelid Science*, 5, 1-24.



- Wheeler, J., Russel, A., & Redden, H. (1995). Llamas and Alpacas: Pre-conquest Breeds and Post-conquest Hybrids. *Journal of Archaeological Science*, 22, 8. doi: [https://doi.org/10.1016/0305-4403\(95\)90012-8](https://doi.org/10.1016/0305-4403(95)90012-8)
- Wilson, J. (1929). The medullated wool fiber. *Hilgardia*, 4(5), 135-152. doi: [10.3733/hilg.v04n05p135](https://doi.org/10.3733/hilg.v04n05p135)
- Wuliji, T., Davis, G. H., Dodds, K. G., Turner, P. R., Andrews, R. N., & Bruce, G. D. (2000). Production performance, repeatability and heritability estimates for live weight, fleece weight and fiber characteristics of alpacas in New Zealand. *Small Ruminant Research*, 37 (3), 189-201. doi: [10.1016/S0921-4488\(00\)00127-9](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(00)00127-9)
- Wurzinger, M., Delgado, J., Nürnberg, M., Valle Zárate, A., Stemmer, A., Ugarte, G., & Sölkner, J. (2006). Genetic and non-genetic factors influencing fibre quality of Bolivian llamas. *Small Ruminant Research*, 61(2-3), 131-139. doi: [10.1016/j.smallrumres.2005.07.004](https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.07.004)



ANEXOS

Anexo 01.

Características textiles de la fibra de Alpacas Suri.

n	Sexo	DF	CV	FC	FP	FH	% MED
1	H	20.05	25.25	95.17	4.83	23.03	63.50
2	H	27.63	20.68	77.83	22.17	30.44	97.67
3	H	30.43	21.01	66.00	34.00	33.61	99.67
4	M	25.67	32.10	85.00	15.00	31.59	92.67
5	H	21.27	29.48	93.00	7.00	25.47	72.50
6	H	23.00	24.24	91.00	9.00	26.16	88.67
7	H	18.80	23.64	97.83	2.17	21.26	74.00
8	M	21.88	23.84	91.17	8.83	24.80	56.83
9	M	29.46	21.02	56.67	43.33	32.55	88.83
10	M	22.85	24.69	90.33	9.67	26.10	62.17
11	H	21.88	25.43	93.17	6.83	25.17	66.00
12	H	29.48	26.01	72.17	27.83	34.10	95.33
13	H	27.30	18.84	81.17	18.83	29.63	91.67
14	M	21.90	23.21	92.50	7.50	24.67	59.17
15	H	16.75	23.04	99.17	0.83	18.84	56.33
16	H	19.14	19.92	98.50	1.50	20.95	60.00
17	H	17.84	21.66	99.17	0.83	19.82	57.83
18	H	19.59	26.22	97.17	2.83	22.71	89.67
19	H	23.28	24.89	90.33	9.67	26.65	70.00
20	H	21.15	21.21	95.67	4.33	23.41	60.17
21	H	14.08	20.41	100.00	0.00	15.48	53.67
22	H	23.47	19.23	93.83	6.17	25.54	59.17
23	H	19.61	29.73	94.00	6.00	23.54	69.83
24	H	20.19	20.34	97.83	2.17	22.18	65.00
25	H	19.45	21.37	98.17	1.83	21.56	66.50
26	M	18.12	26.94	97.50	2.50	21.15	60.33
27	M	15.26	24.53	98.67	1.33	17.40	64.00
28	M	17.58	31.42	97.33	2.67	21.48	68.50
29	M	19.27	22.19	97.50	2.50	21.51	90.17
30	H	19.87	30.67	94.67	5.33	24.10	74.33
31	H	22.16	27.12	89.50	10.50	25.92	73.33
32	H	17.74	25.77	97.67	2.33	20.48	45.00
33	H	17.25	26.69	97.83	2.17	20.09	51.17
34	H	21.41	20.56	96.67	3.33	23.56	58.17
35	H	20.46	26.04	96.67	3.33	23.67	48.67
36	H	20.88	22.87	95.50	4.50	23.45	51.50
37	H	21.99	22.22	93.17	6.83	24.55	56.83
38	M	18.81	21.34	98.83	1.17	20.84	43.33

Anexo 02.

Panel fotográfico.



Figura 19. A1. Muestreo de fibra de Alpaca de la raza Suri.



Figura 20 A2. Longitud muestra de la fibra de alpaca de la raza Suri.



Figura 21. A3. Lavado de la muestra de fibra de alpaca de la raza Suri.



Figura 22. A4. Muestra de fibra de alpaca picada.

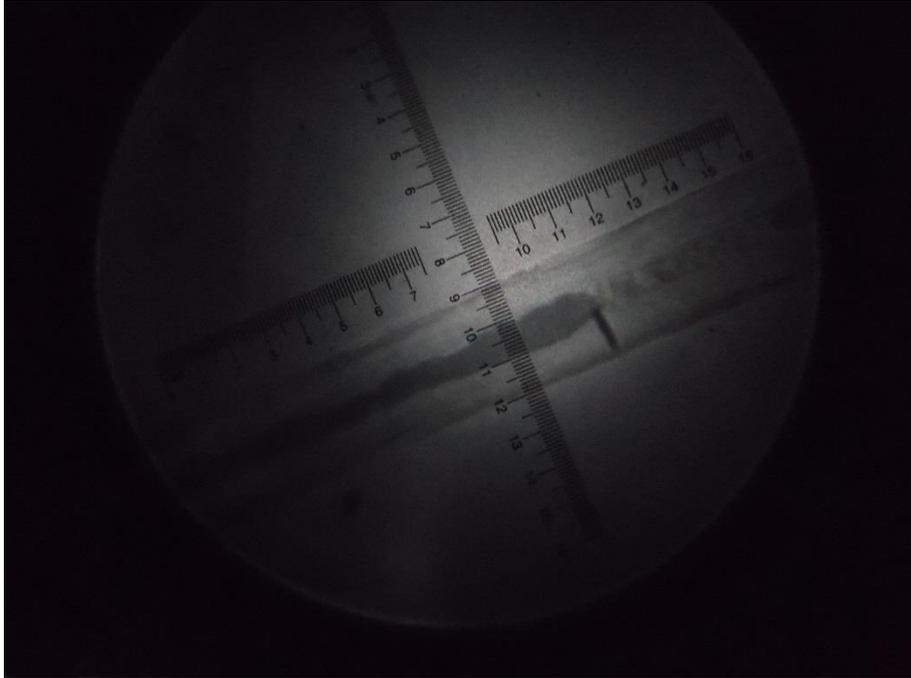


Figura 23 A5. Medición del diámetro de médula, diámetro de la fibra y observación del tipo de médula.

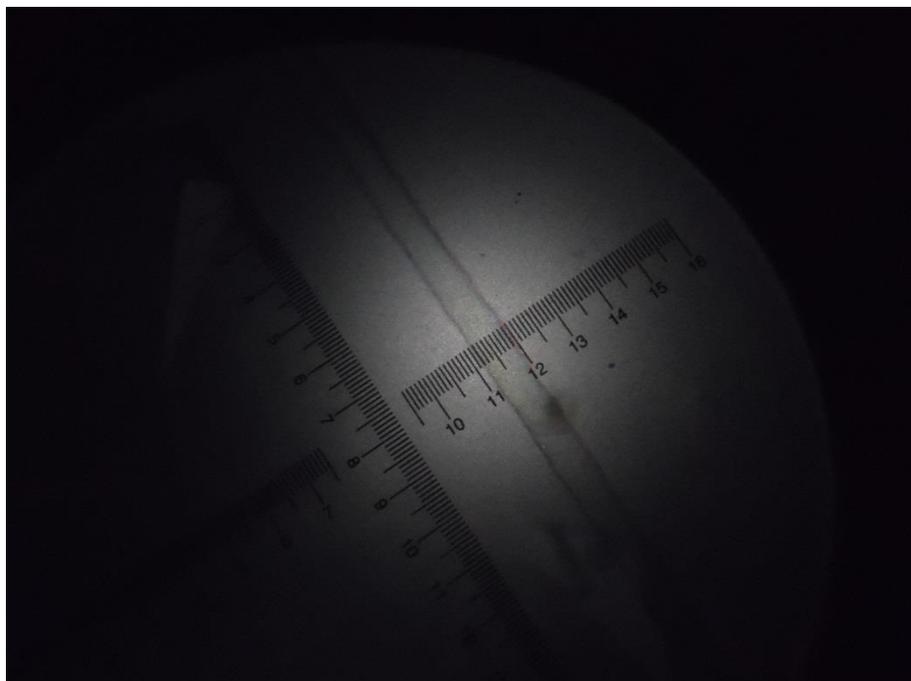


Figura 24 A6. Medición del diámetro de la fibra.

Anexo 04.

Análisis de varianza para características textiles de la fibra de Alpacas Suri.

Análisis de la varianza para el promedio del diámetro de la fibra.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft		Pr > F	Significancia
					0.05	0.01		
Modelo	4	232.96429	58.2410726	6.31	2.66	3.95	0.0007	
EDAD	3	232.632454	77.5441514	8.4	2.89	4.44	0.0003	**
SEXO	1	1.4877063	1.4877063	0.16	4.14	7.47	0.6906	ns
Error	33	304.458596	9.2260181					
Total	37	537.422887						
		CV: 14.31	$r^2: 0.43$	$\bar{x}: 21.23$				

Análisis de la varianza para el coeficiente de variación del promedio del diámetro de la fibra.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft		Pr > F	Significancia
					0.05	0.01		
Modelo	4	20.5343471	5.1335868	0.96	2.66	3.95	0.4414	
EDAD	3	14.5534652	4.85115505	0.91	2.89	4.44	0.4473	ns
SEXO	1	2.74621003	2.74621003	0.51	4.14	7.47	0.4782	ns
Error	33	176.13553	5.3374403					
Total	37	196.669878						
		CV: 7.87	$r^2: 0.10$	$\bar{x}: 29.35$				

Análisis de la varianza para la finura al hilado

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft		Pr > F	Significancia
					0.05	0.01		
Modelo	4	298.160561	74.5401401	6.57	2.66	3.95	0.0005	
EDAD	3	298.112131	99.3707103	8.75	2.89	4.44	0.0002	**
SEXO	1	0.5843019	0.5843019	0.05	4.14	7.47	0.8219	ns
Error	33	374.624137	11.3522466					
Total	37	672.784697						
		CV: 13.96	$r^2: 0.44$	$\bar{x}: 24.14$				

Análisis de la varianza no paramétrico para porcentaje de medulación.

Fuente de variación	Grados de libertad	Den DF	Chi-cuadrado	F-Valor	Pr > ChiSq	Pr > F
SEXO	1	33	0	0	0.955	0.9554
EDAD	3	33	11.22	3.74	0.0106	0.0204

Análisis de la varianza para la finura al hilado

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft		Pr > F	Significancia
					0.05	0.01		
Modelo	4	2.45804863	0.61451216	6.61	2.66	3.95	0.0005	
EDAD	3	2.45571227	0.81857076	8.81	2.89	4.44	0.0002	**
SEXO	1	0.01273265	0.01273265	0.14	4.14	7.47	0.7136	ns
Error	33	3.06621312	0.09291555					
Total	37	5.52426176						
		CV: 13.66	r ² : 0.44	\bar{x} :2.23				

Análisis de la varianza no paramétrico para factor de confort.

Fuente de variación	Grados de libertad	Den DF	Chi-cuadrado	F-Valor	Pr > ChiSq	Pr > F
SEXO	1	33	0	0	0.9745	0.9747
EDAD	3	33	15.49	5.16	0.0014	0.0049

Anexo 05.

Estimación de los componentes de varianza y Monte Carlo Error

Para agrupación C1

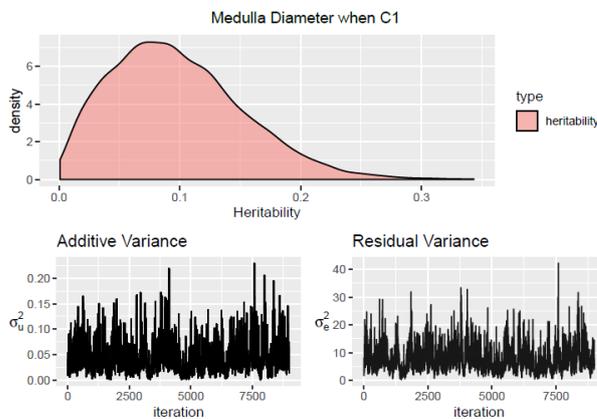
Parámetro	MCE	Mean	HPD95%	HPD95%	Effective	Median	Mode
σ_u^2 med	0.002	0.041	0	0.089	156.4	0.037	0.026
σ_u^2 med*fibra	0.026	0.267	-0.167	0.814	106.2	0.22	0.239
σ_u^2 fibra	0.341	7.334	0.967	15	141.6	6.64	4.838
σ_{pe}^2 med	0.002	0.037	0.003	0.078	190.5	0.034	0.025
σ_{pe}^2 fibra	0.241	6.97	1.447	13.72	198	6.376	5.064
σ_e^2 med	0.001	0.334	0.258	0.43	4916.7	0.324	0.312
σ_e^2 fibra	0.003	27.125	26.64	27.65	9000	27.112	27.112
h^2 med	0.005	0.106	0.008	0.213	135.5	0.1	0.102
h^2 fibra	0.013	0.27	0.035	0.55	141.5	0.245	0.177
$r_{u_x u_y}$	0.03	0.404	-0.381	0.966	156.6	0.489	0.619

Parámetro	MCE	Mean	HPD95%	HPD95%	Geweke	Autocorrelation (150)
σ_u^2 med	0.026	0.041	-0.01	0.092	0.05	0.691
σ_u^2 med*fibra	4.062	7.334	-0.628	15.295	0.12	0.694
σ_u^2 fibra	0.021	0.037	-0.003	0.078	0.01	0.697
σ_{pe}^2 med	3.392	6.97	0.322	13.619	-0.09	0.641
σ_{pe}^2 fibra	0.049	0.334	0.238	0.43	0.04	0.267
σ_e^2 med	0.258	27.125	26.62	27.63	0.01	0.003
σ_e^2 fibra	0.056	0.106	-0.004	0.216	0.05	0.757
h^2 med	0.149	0.27	-0.023	0.563	0.12	0.693
h^2 fibra	0.371	0.404	-0.322	1.131	0.11	0.837

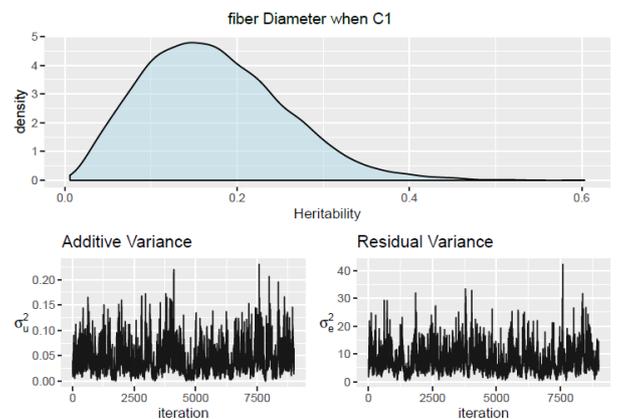
$r_{u_x u_y}$

Fuente: elaboración propia.

Medulla



Fiber

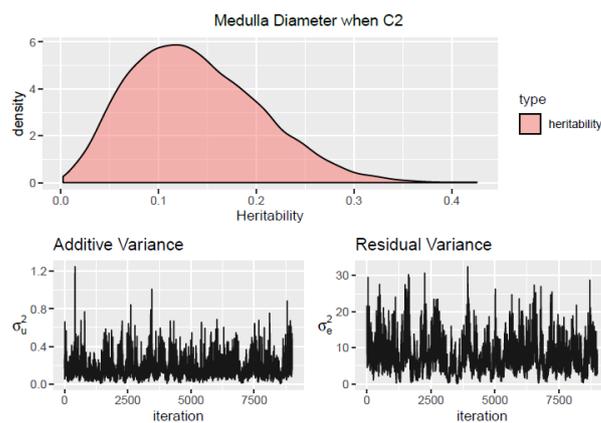


Para agrupación C2

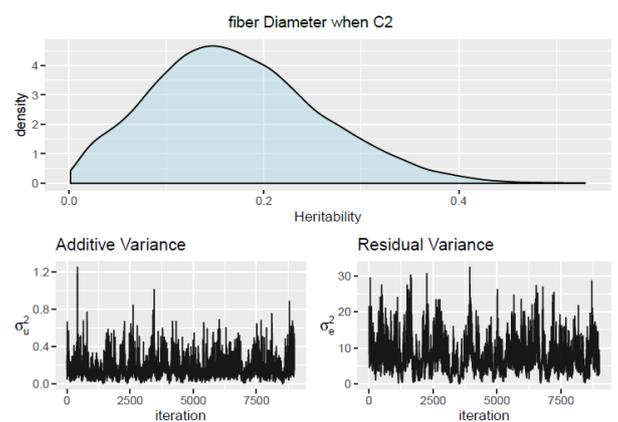
Parámetro	MCE	Mean	HPD95%	HPD95%	Effective	Median	Mode
σ_u^2 med	0.006	0.151	0.008	0.333	234.5	0.131	0.089
σ_u^2 med*fibra	0.044	0.554	-0.309	1.576	137.7	0.47	0.323
σ_u^2 fibra	0.351	7.279	0.341	15.31	142.5	6.618	6.209
σ_{pe}^2 med	0.005	0.093	0	0.208	162.1	0.083	0.066
σ_{pe}^2 fibra	0.241	6.707	1.099	13.29	190.4	6.193	5.359
σ_e^2 med	0.004	0.822	0.492	1.326	4603.1	0.758	0.675
σ_e^2 fibra	0.003	27.123	26.63	27.62	8439.4	27.12	27.123
h^2 med	0.005	0.15	0.03	0.28	160.4	0.143	0.137
h^2 fibra	0.013	0.267	0.013	0.56	142.2	0.243	0.23
$r_{u_x u_y}$	0.035	0.454	-0.341	0.985	109.1	0.546	0.658

Parámetro	MCE	Mean	HPD95%	HPD95%	Geweke	Autocorrelation (150)
σ_u^2 med	0.097	0.151	-0.039	0.34	0.34	0.567
σ_u^2 med*fibra	0.514	0.554	-0.454	1.562	1.562	0.731
σ_u^2 fibra	4.193	7.279	-0.939	15.497	15.497	0.709
σ_{pe}^2 med	0.062	0.093	-0.029	0.214	0.214	0.757
σ_{pe}^2 fibra	3.328	6.707	0.184	13.229	13.229	0.63
σ_e^2 med	0.261	0.822	0.312	1.333	1.333	0.333
σ_e^2 fibra	0.257	27.123	26.62	27.626	27.626	0.007
h^2 med	0.067	0.15	0.019	0.28	0.28	0.709
h^2 fibra	0.153	0.267	-0.034	0.567	0.567	0.709
$r_{u_x u_y}$	0.37	0.454	-0.271	1.179	1.179	0.857

Medulla



Fiber



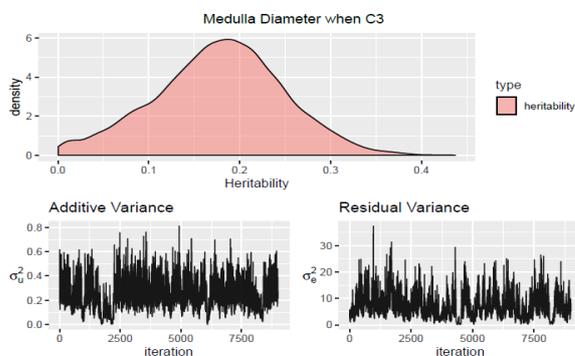
Para agrupación C3

Parámetro	MCE	Mean	HPD95%	HPD95%	Effective	Median	Mode
σ_u^2 med	0.012	0.24	0.004	0.433	87.7	0.234	0.203
σ_u^2 med*fibra	0.059	0.789	-0.418	1.853	94.6	0.754	0.827
σ_u^2 fibra	0.401	6.843	0.16	14.42	106.2	6.231	4.991
σ_{pe}^2 med	0.01	0.087	0	0.247	55.6	0.065	0.018
σ_{pe}^2 fibra	0.306	7.463	1.323	14.43	133.8	7.01	5.853
σ_e^2 med	0	1	0.974	1.025	8715.1	1	1.003
σ_e^2 fibra	0.003	27.118	26.63	27.61	8777	27.11	27.149
h^2 med	0.008	0.187	0.044	0.325	72.9	0.19	0.203
h^2 fibra	0.015	0.25	0.006	0.527	105.5	0.228	0.181
$r_{u_x u_y}$	0.068	0.618	-0.108	1	32.7	0.716	0.98

Parámetro	MCE	Mean	HPD95%	HPD95%	Geweke	Autocorrelation (150)
σ_u^2 med	0.108	0.000	0.028	0.452	0.452	0.603
σ_u^2 med*fibra	0.571	0.000	-0.330	1.908	1.908	0.711
σ_u^2 fibra	4.131	0.000	-1.254	14.939	14.939	0.732
σ_{pe}^2 med	0.078	0.000	-0.066	0.239	0.239	0.847
σ_{pe}^2 fibra	3.538	0.000	0.529	14.396	14.396	0.635
σ_e^2 med	0.013	0.000	0.974	1.026	1.026	0.008
σ_e^2 fibra	0.254	0.000	26.621	27.615	27.615	0.008
h^2 med	0.700	0.000	0.050	0.324	0.324	0.666
h^2 fibra	0.151	0.000	-0.045	0.545	0.545	0.735
$r_{u_x u_y}$	0.387	0.000	-0.140	1.376	1.376	0.918

C3

Medulla



Fiber

