

Universidad Católica de Santa María
Escuela de Postgrado
Maestría en Producción y Salud Animal



**“TASA DE MEDULACIÓN DE FIBRA DE ALPACA (*Vicugna pacos*) MEDIANTE
LA COMPARACION DEL MEDULOMETRO Y EL OFDA 100”**

Tesis presentada por el Bachiller:

Torres Quintanilla, Richard Nelson

Para optar al Grado Académico de:

Maestro en Producción y Salud Animal

Asesor:

Dr. Fernández Fernández, Fernando

Arequipa – Perú

2020

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
ESCUELA DE POSTGRADO
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR DE TESIS

Arequipa, 21 de Julio del 2020

Dictamen: 000812-C-EPG-2020

Visto el borrador de tesis del expediente 000812, presentado por:

2016006451 - TORRES QUINTANILLA RICHARD NELSON

Titulado:

**TASA DE MEDULACION DE FIBRA DE ALPACA (VICUGNA PACOS) MEDIANTE
LA COMPARACION DEL MEDULOMETRO Y EL OFDA 100**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

1884 - FERNANDEZ FERNANDEZ FERNANDO
DICTAMINADOR



6111 - VASQUEZ PEREZ CARLOS SANTIAGO
DICTAMINADOR



7819 - MEDINA ESCALANTE CYNTHIA KARIN
DICTAMINADOR



DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi amada esposa Susam por estar siempre a mi lado y apoyarme incondicionalmente en mis proyectos y sueños.

A mis amadas hijas Brianna e Ivana:

Si no las tuviera, mi vida no tendría la inspiración y fuerza necesaria. Cada vez que las veo, me doy cuenta que estoy frente a los retratos vivos de su madre y el mío, y al mismo tiempo siento más ganas de trabajar fuertemente para ir tras el logro de mis metas.

Ustedes son mi principal motivación.

A mis padres Daniel y Eleana por haberme forjado como la persona que soy; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. Me forjaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

Y a todos los que me apoyaron para concluir esta tesis.

A LA MEMORIA

De mis queridos abuelos Eloy y Hugo

AGRADECIMIENTOS

A la empresa MAXCORP TECHNOLOGIES S.A.C. por su aporte tecnológico, sin su aporte no hubiera sido posible este trabajo de investigación.

Al Mg. Max Quispe Bonilla, por ser parte fundamental en el desarrollo de este trabajo de investigación.

Al PhD. Gustavo Augusto Gutiérrez Reynoso, por el apoyo brindado en la realización del presente trabajo.

Al PhD. Edgar Quispe Peña, Co-asesor del presente trabajo de investigación, quien me brindo su tiempo, dedicación, asesoramiento y apoyo durante el tiempo que duro la elaboración y termino del presente trabajo de investigación.

A la Estación Experimental de Investigación Científica y Mejora Genética en alpacas Pacamarca de la empresa Inca Tops S.A, por el apoyo logístico para poder realizar el presente trabajo de investigación.

Al Econ. Alonso Burgos Hartley, por su apoyo incondicional en la culminación de la presente maestría y trabajo de investigación.

Al Dr. Alan Cruz Camacho, por su apoyo y guía como asesor externo del presente trabajo de investigación.

A la Ing. Carla Vásquez Eguiluz y a todo el equipo de laboratorio de Control de Calidad de planta 4 Zamacola de Inca Tops S.A., por su amistad y apoyo brindado en la etapa de análisis de laboratorio.

A la Dra. Cynthia Medina Escalante y al Dr. Carlos Vasquez Pérez, por su tiempo y guía como jurado de la presente tesis.

Y un agradecimiento especial a mi asesor el Dr. Fernando Fernández Fernández por su tiempo y apoyo, de las que siempre estaré agradecido.

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue comparar el uso del Medulómetro con el OFDA 100 en la determinación del Porcentaje de Medulación en fibra de alpaca. Se tomaron muestras de 200 alpacas entre Huacaya y Suri de color blanco pertenecientes a la Estación Experimental de Investigación Científica y Mejora Genética en alpacas Pacamarca. El análisis de las muestras de fibra se realizó en el laboratorio de control de calidad de la empresa Inca Tops S.A. en un ambiente controlado, a una humedad de $65\pm 3\%$ y temperatura de $20\pm 2^\circ\text{C}$. Mediante el Medulómetro tomando como referencia la norma IWTO-8 (International Wool Textile Organisation), se analizó alrededor de 120 000 fibras, correspondientes a 200 muestras, que fueron clasificadas en 2 categorías (fibras no meduladas y fibras meduladas, considerándose en este último fibras de medulación continua y fuertemente meduladas) obteniéndose el Porcentaje de Medulación (PM). También se midió el diámetro individual de cada fibra y el diámetro de fibras meduladas, en aproximadamente 600 fibras por muestra, lográndose obtener los promedios respectivos (DF: Diámetro medio de fibra; DFM: diámetro medio de fibras meduladas). Asimismo, utilizando el OFDA 100, según la norma IWTO-57 se determinó el DF, el PM y el DFM. Para el análisis estadístico se utilizó estadística descriptiva obteniéndose los promedios y el error estándar de los resultados de cada equipo, mientras que para las comparaciones entre las mediciones del PM se hizo uso de la estadística paramétrica y no paramétrica, mediante la prueba de t de student pareada la prueba no paramétrica de Wilcoxon, análisis de regresión y correlación. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software RStudio v3.5.0. Los promedios y error estándar ($\bar{x} \pm EE$) obtenidos para el DF y el DFM de fibras de alpaca, según raza y sexo, utilizando el Medulómetro y el OFDA 100 tienen mínimas diferencias entre sí, que al análisis estadístico no son significativas. El PM obtenidos con el Medulómetro y el OFDA 100 fueron de 28.71 ± 1.37 y 9.82 ± 0.61 respectivamente, que al análisis de correlación el PM medido por ambos equipos se obtuvo un coeficiente de correlación de **0.85** que resultó altamente significativo. Se concluye que con respecto al DF ambos equipos brindan similares resultados, mientras que, en referencia al PM, los equipos evaluados brindan resultados muy diferentes, aunque existe una buena relación entre ellos. Por tanto, al ser el Medulómetro un equipo que mide en forma objetiva, los resultados brindados por éste equipo serían los más cercanos al valor real, mientras que el OFDA 100, no mediría el PM de las fibras de alpacas con buena exactitud, pues los valores que arroja son muy inferiores al Medulómetro y a los encontrados por otros autores, recomendándose a los fabricantes que deberían realizar la mejora respectiva.

Palabras claves: Medulómetro, OFDA 100, porcentaje de medulación, fibra de alpaca.

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to compare the use of the Medulometer with OFDA 100 in determining the Percentage of Medulation in alpaca fiber. Samples were taken from 200 alpacas between Huacaya and Suri of white color belonging to the Experimental Station of Scientific Research and Genetic Improvement in alpacas Pacamarca. The analysis of the fiber samples was carried out in the quality control laboratory of the company Inca Tops S.A. in a controlled environment, at a humidity of $65 \pm 3\%$ and a temperature of $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Using the Medulometer taking the IWTO-8 (International Wool Textile Organization) standard as a reference, around 120,000 fibers were analyzed, corresponding to 200 samples, which were classified into 2 categories (non-spun fibers and spun fibers, considering the latter fibers continuous and strongly medulled) obtaining the Medulation Percentage (PM). The individual diameter of each fiber and the diameter of marrowed fibers were also measured, in approximately 600 fibers per sample, obtaining the respective averages (DF: average diameter of fiber; DFM: average diameter of medullates fibers). Likewise, using OFDA 100, according to the IWTO-57 standard, the DF, PM and DFM were determined. For the statistical analysis, descriptive statistics were used, obtaining the averages and the standard error of the results of each team, while for the comparisons between the measurements of the PM, the parametric and non-parametric statistics were used, using the student's t test, paired Wilcoxon nonparametric test, regression analysis and correlation. All statistical analyzes were performed with RStudio v3.5.0 software. The averages and standard error ($\bar{x} \pm EE$) obtained for the DF and the DFM of alpaca fibers, according to race and sex, using the Medulometer and the OFDA 100 have minimal differences between them, which are not significant to the statistical analysis. The PM obtained with the Medulometer and the OFDA 100 were 28.71 ± 1.37 and 9.82 ± 0.61 respectively, that the correlation analysis of the PM measured by both teams obtained a correlation coefficient of 0.85 that was highly significant. It is concluded that with respect to the DF, both teams provide similar results, while, in reference to the PM, the evaluated teams provide very different results, although there is a good relationship between them. Therefore, as the Medulometer is an equipment that measures objectively, the results provided by this equipment would be closest to the real value, while the OFDA 100 would not measure the PM of alpaca fibers with good accuracy, since the values that it gives are much lower than the Medulometer and those found by other authors, and manufacturers are recommended to make the respective improvement.

Keywords: Medulometer, OFDA 100, percentage of medullation, alpaca fiber.

INDICE GENERAL

RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	1
HIPÓTESIS	3
OBJETIVOS	4
CAPÍTULO I	5
MARCO TEÓRICO	5
1. La Fibra de Alpaca	5
1.1. Estructura Morfológica de la Fibra de Alpaca	6
1.1.1. La Médula	6
1.1.2. La Corteza	6
1.1.3. La Cutícula	7
1.2. Origen y Formación de la Médula	7
1.3. Características Físicas de las Fibras meduladas	8
1.3.1. Clasificación de las Fibras Meduladas	9
1.3.2. Métodos para la Determinación del Porcentaje de Medulación	12
a) Microscopio de Proyección	13
b) Analizador Óptico del Diámetro de Fibra (OFDA 100)	13
c) Medulómetro	15
d) Otros Métodos	16
1.3.3. Porcentaje de Medulación	17
1.3.4. Relación entre porcentaje de Medulación y Diámetro Medio de Fibra	18
1.4. Características Tecnológicas de la Fibra de Alpaca	18
1.4.1. Diámetro Medio de Fibra	18
1.4.2. Coeficiente de Variación	19
1.4.3. Factor de Confort	19
1.4.4. Factor de Picazón	20
2. Especificaciones IWTO	21
2.1. Acondicionamiento de Laboratorios	21
CAPÍTULO II	23
METODOLOGÍA	23
1. Localización	23
2. Materiales y Equipos	24

2.1. Material biológico.....	24
2.2. Materiales de campo	24
2.3. Materiales y equipos de laboratorio	24
2.4. Materiales de escritorio	25
3. Procedimiento.....	25
3.1. Población y muestra.....	25
3.2. Metodología	25
a) Etapa de campo:.....	26
b) Etapa de laboratorio	27
4. Porcentaje de Medulación (PM)	31
5. Análisis estadístico.....	32
CAPÍTULO III	33
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
1. Evaluación de la media del diámetro de fibra (DF), el porcentaje de medulación (PM) y diámetro de fibra medulada (DFM), según raza y sexo utilizando el Medulómetro y el OFDA 100.	33
Diámetro de Fibra (DF)	34
Porcentaje de Medulación (PM)	35
Diámetro de Fibra Medulada (DFM)	37
2. Comparación del porcentaje de medulación evaluado con el Medulómetro y el OFDA 100.	39
3. Correlación de las mediciones del porcentaje de medulación realizadas usando el equipo MEDULOMETRO y el OFDA 100.....	41
CONCLUSIONES	44
RECOMENDACIONES	45
REFERENCIA	46
ANEXOS	57

INDICE DE TABLAS Y CUADROS

	Pág.
Tabla 1: Principales Características de los dos métodos de medición de diámetro de fibra y porcentaje de medulación de fibra de alpaca utilizados.	31
Cuadro 1: Promedios \pm error estándar de la media del diámetro de fibra (DF), el porcentaje de medulación (PM) y el diámetro de fibra medulada (DFM), según raza y sexo utilizando el Medulómetro y el OFDA 100.	33
Cuadro 2: Resumen de datos estadísticos de la prueba de t-student pareada entre los porcentajes de medulación evaluadas con el OFDA 100 y el Medulómetro.	39
Cuadro 3: Resumen de datos estadísticos de la Regresión funcional de la media geométrica (RFMG) y regresión lineal simple (RLS) de las diferencias contra el promedio de porcentaje de medulación obtenidas con el Medulómetro y el OFDA 100.	40
Cuadro 4: Correlación de las mediciones del porcentaje de medulación realizadas usando el MEDULOMETRO y el OFDA 100.	41

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Componentes de una fibra medulada (izquierda) versus una fibra no medulada (derecha).	7
Figura 2: Clasificación de fibras según el tipo de médula.	9
Figura 3: Clasificación de los distintos tipos de médulas encontradas en las fibras animales.	12
Figura 4: OFDA 100 (Analizador Óptico del Diámetro de Fibra).	14
Figura 5: Medulómetro y software para evaluación de fibras según tipo de medulación.	15
Figura 6: Interacción entre los terminales de la fibra y la piel en prendas confortables y no confortables.	20
Figura 7: Ubicación geográfica Estación Experimental Fundo Pacamarca.	23
Figura 8: Toma de muestra de fibra del costillar medio y conservación de la muestra con su rótulo.	26
Figura 9: Diagramas de cajas de los promedios de la media del diámetro de fibra (DF), el porcentaje de medulación (PM) y el diámetro de fibra medulada (DFM), según raza y sexo utilizando el Medulómetro y el OFDA 100.	38
Figura 10: Gráfico de la regresión funcional de la media geométrica (RFMG) y regresión lineal simple (RLS) de las diferencias contra el promedio del porcentaje de medulación obtenidas con el Medulómetro y el OFDA 100.	41
Figura 11: Gráfico de dispersión del porcentaje de medulación (PM) de fibra de alpaca medidas usando el Medulómetro y el OFDA 100. En la parte superior se presenta la ecuación de regresión y el coeficiente de correlación.	43

INDICE DE ANEXOS

- ANEXO 1:** Fotografías microscópicas de fibras de alpaca: fibras no meduladas y meduladas.
- ANEXO 2:** Reporte detallado de los resultados del análisis de fibra según lectura del equipo Medulómetro.
- ANEXO 3:** Reporte detallado de los resultados del análisis de fibra según lectura del OFDA 100.
- ANEXO 4:** Histogramas: Reporte grafico del OFDA 100.
- ANEXO 5:** Histogramas: Reporte grafico del Medulómetro.
- ANEXO 6:** Pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza para la variable Porcentaje de medulación obtenida con el Medulómetro y el OFDA100.
- ANEXO 7:** Registro fotográfico.

LISTA DE ABREVIATURAS

CV	: Coeficiente de variación
DF	: Diámetro de fibra
DFM	: Diámetro de fibra medulada
DMF	: Diámetro medio de fibra
DS	: Desviación estándar
Has	: Hectáreas
Hu	: Huacaya
IWTO	: International Wool Textile Organisation
m.s.n.m.	: Metros sobre el nivel del mar
N	: Numero de muestras
NTP	: Norma Técnica Peruana
OFDA	: Optical Fibre Diameter Analyser
PFM	: Porcentaje de fibras meduladas
PM	: Porcentaje de Medulación
RFMG	: Regresión funcional de media geométrica
RLS	: Regresión lineal simple
Su	: Suri
TM	: Tasa de medulación
µm	: Micras
\bar{x}	: promedio

INTRODUCCIÓN

La población de alpacas en el Perú es de 3 millones 685 mil 516 y el 89.7% se encuentra principalmente en las zonas alto andinas: Puno, Cusco, Arequipa, Huancavelica y Apurímac¹.

La industria textil considera a la fibra de alpaca como una fibra especial y, las prendas que se confeccionan con ellas, están clasificadas como artículos de lujo².

Las fibras de los camélidos, en especial la alpaca, son meduladas y no meduladas lo cual le da ciertas características no deseables para el teñido. La rigidez que existe en una fibra medulada puede ser el factor que determine la picazón en una prenda de alpaca.

La fibra medulada tiene una mayor resistencia al pandeamiento por sus propiedades físicas y químicas, por lo que las prendas confeccionadas con fibras meduladas tienen menos oportunidades comerciales al ser menos aceptadas por el consumidor final³.

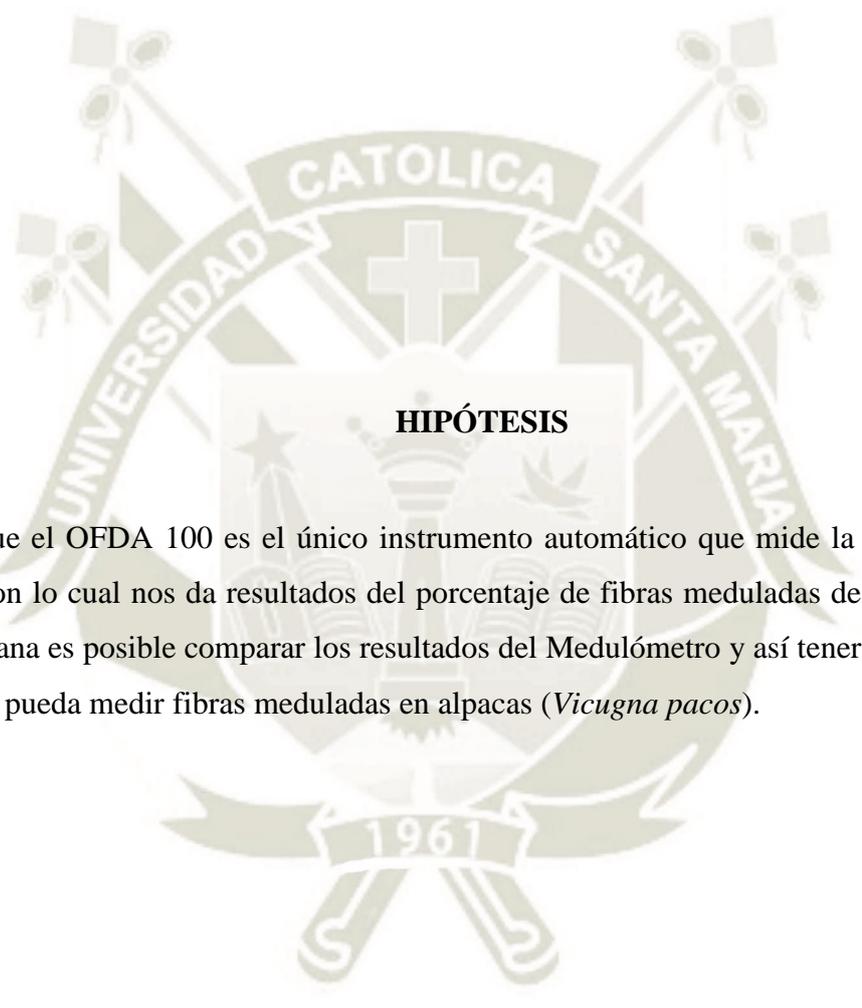
Los equipos existentes en el mercado para medir la medulación son muy escasos, entre los principales tenemos el OFDA 100 que salió al mercado en el año 1991, el Microscopio de proyección cuya característica es una medida objetiva, pero la limitante es el tiempo y la cantidad de operarios para medir las muestras de fibra. En ese sentido el Medulómetro, es un equipo diseñado para medir la calidad de la fibra teniendo en cuenta el tipo de medulación (médula continua, médula discontinua, médula fragmentada y fuertemente medulada), el cual puede ser un sustituto aplicable para evaluar fibras meduladas de forma directa y objetiva, incluso abaratando los costos, y estas mediciones pueden ser incorporadas en forma permanente a los programas de mejora genética en alpacas para reducir el porcentaje de medulación.

Actualmente el productor alpaquero ya sea de forma individual o asociado no tiene acceso a los equipos utilizados para la medición de fibras y lanas ya que su costo es muy alto. Se ha desarrollado nuevos equipos de medición de fibras de forma innovadora por investigadores peruanos para que la tecnología sea accesible para los productores alpaqueros, la validación de estos equipos en especial del Medulómetro es muy importante para contribuir (como

nuevo criterio de selección) al nuevo objetivo de selección, el cual es la de mejorar la fibra a través de programas de mejora genética, reduciendo la tasa de medulación.

Las propiedades textiles de la fibra de alpaca aumentarían su calidad al disminuir o eliminar el factor de picazón, aumentando su valor económico. La picazón podría reducirse disminuyendo el porcentaje de medulación por selección, que podría combinarse con procesos de depilación mecánica. Esto llevaría a un mejor posicionamiento de la fibra de alpaca en el mercado textil de las fibras naturales, fomentando su consumo e incluso superando a otras fibras nobles, motivando y alentando a toda la cadena productiva, impactando los ingresos económicos de los desfavorecidos productores de alpaca³.

Si bien existen otros equipos que son utilizados para la medición del diámetro de fibra y el porcentaje de medulación como son el OFDA 100 y el Microscopio de Proyección, los resultados obtenidos con nuevos desarrollos o adaptaciones tecnológicas como el equipo Medulómetro, se presentan como una alternativa para la medición del diámetro de fibra y en especial en la determinación del porcentaje de medulación en forma directa y objetiva. En consecuencia, el propósito del presente trabajo de investigación fue el comparar el uso del Medulómetro con el OFDA 100 en la determinación del porcentaje de medulación en fibra de alpaca.



HIPÓTESIS

Dado que el OFDA 100 es el único instrumento automático que mide la opacidad de las fibras con lo cual nos da resultados del porcentaje de fibras meduladas de una muestra de fibra o lana es posible comparar los resultados del Medulómetro y así tener otra opción que también pueda medir fibras meduladas en alpacas (*Vicugna pacos*).

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

- Comparar el uso del equipo MEDULÓMETRO con el OFDA 100 en la determinación del porcentaje de medulación en fibra de alpaca.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

1. Determinar la media del diámetro de fibra, el porcentaje de medulación y el diámetro de fibra medulada de fibras de alpacas utilizando el Medulómetro y el OFDA 100.
 - 1.1. Evaluar la media del diámetro de fibra (DF), el porcentaje de medulación (PM) y diámetro de fibra medulada (DFM), según raza y sexo utilizando el Medulómetro y el OFDA 100.
 - 1.2. Comparar el porcentaje de medulación evaluado con el Medulómetro y el OFDA 100.
2. Correlacionar las mediciones del porcentaje de medulación realizadas usando el equipo MEDULOMETRO y el OFDA100.
 - 2.1. Evaluar el grado de relación de las mediciones del porcentaje de medulación realizadas usando el equipo Medulómetro y el OFDA 100.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1. La Fibra de Alpaca

La fibra de alpaca es una estructura organizada, formada principalmente de una proteína llamada queratina que crece desde la raíz de la dermis. La principal característica productiva y económica de la alpaca es su fibra, que actualmente se caracteriza en el extranjero como una fibra exótica y sus características textiles de calidad hacen que tenga un precio mayor frente a la lana de ovino en el mercado mundial⁴.

Así mismo, señalan que todas las fibras de animales contienen cinco elementos químicos: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, y azufre; los cuatro primeros son los aminoácidos, mientras que el azufre forma parte de la cistina y metionina^{5, 6}.

La queratina de la fibra es un polímero natural que presenta una composición química elemental: 50% de carbono, 16% de nitrógeno, 3.7% de azufre, 7% de hidrógeno y 23.3% de oxígeno; la fibra de alpaca se diferencia por tener un mayor contenido de azufre de 4.19%; otras características resaltantes es al momento o punto de ebullición donde la fibra no se forma en una cola a diferencia que en los álcalis fuertes particularmente son susceptibles al daño, por ejemplo; en soluciones de hidróxido de sodio al 5% a temperatura ambiente se hinchan y acaban por disolverla⁷, sucediendo lo mismo con los ácidos minerales concentrados (sulfúrico y nítrico) causan desdoblamiento y descomposición de la fibra, sin embargo en ácidos diluidos son usados durante el proceso industrial para carbonizar la materia vegetal adheridas aunque también la hacen aumentar de tamaño, en cambio la mayoría de solventes orgánicos no causan daños y son usados necesariamente para quitar la mancha de los tejidos de la fibra alpaca^{8,7}.

Las fibras de los camélidos, son denominadas "fibras especiales" al igual que otras fibras animales como la Cachemira, Mohair, fibra de Yak y Musk Ox, fibra de Camellos, entre otras. Entre las características de las fibras de los camélidos sudamericanos existen algunas similitudes, que en cierto sentido podrían establecer competencias entre ellas, desde el punto de vista de uso textil⁶.

Existen dos tipos de folículos: los folículos primarios (FP) relacionado con la glándula sebácea, la glándula sudorípara y el músculo erector que dan origen a los pelos largos y gruesos. El folículo primario (FP) no está rodeado completamente por folículos secundarios (FS) sino que se localiza a un lado de ellos. Los folículos secundarios (FS) con frecuencia van acompañados de glándulas sudoríparas y originan la fibra fina y comienzan a desarrollarse alrededor de los folículos primarios^{9, 10, 11}.

1.1. Estructura Morfológica de la Fibra de Alpaca

A la observación microscópica de la fibra de alpaca, visto desde adentro hacia afuera, se puede diferenciar tres componentes principales: la médula, la corteza y la cutícula^{12, 13}.

1.1.1. La Médula

La médula es la parte central de la fibra (Figura 1), que tienen un vacío medular (aire) continuo o en forma fragmentada a lo largo de la corteza^{12, 13, 14}. Las células de la médula pueden romperse completamente durante la queratinización, dejando un canal hueco en el centro de la fibra¹⁵.

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^{16, 17}.

1.1.2. La Corteza

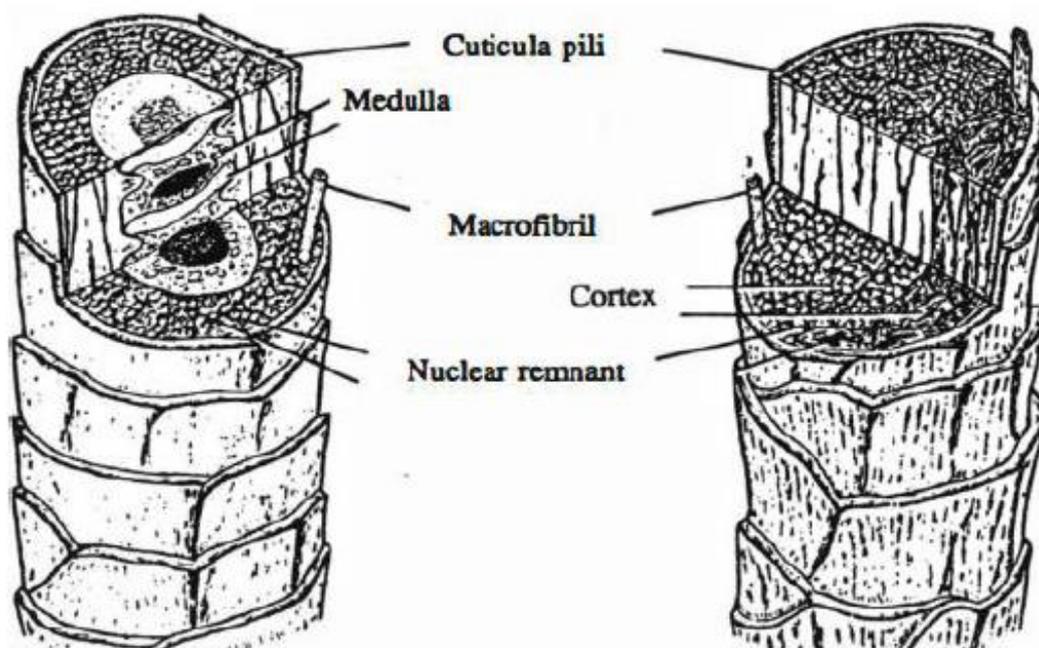
La corteza es la capa media que da la estructura a la fibra, aumenta su proporción relativa a medida que el diámetro disminuye. Las fibras más finas sólo presentan la cutícula y la corteza, en éstas, las células corticales representan más del 90% de la fibra, similar al caso de lanas finas en ovinos^{12, 13}.

En las fibras finas hay una distribución bilateral de las células corticales (orthocorteza y paracorteza, células blandas y duras, respectivamente). Este hecho parece hallarse en estrecha relación con la ocurrencia del rizo en la fibra de alpaca Huacaya, mas no en la alpaca Suri porque no hay una clara diferenciación cortical entre la ortocorteza y la paracorteza^{12, 13}.

1.1.3. La Cutícula

La cutícula está compuesta por las células cuticulares que están superpuestas unas a otras, a manera de escamas de un pez. La cutícula es la capa exterior que recubre toda la fibra. Cada celda de la cutícula se compone de tres capas distintas, llamadas: epicutícula, exocutícula y endocutícula. La forma y el número de cutícula de la alpaca Huacaya es áspera y difieren al de alpaca Suri^{12, 13, 18}.

Figura Nro. 1: Componentes de una fibra medulada (izquierda) versus una fibra no medulada (derecha)



Fuente: Holle (1992)

1.2. Origen y Formación de la Médula

Aunque se desconoce la causa determinante de la aparición de la médula, la literatura indica que la genética es el factor principal^{20, 21}, mientras que el medio ambiente (desnutrición) tendría mínimo efecto²². 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 de queratina puede conducir a la formación de una médula²³. En fibras tipo Kemp, un grupo especial de células situado en el centro de la matriz del bulbo piloso dan origen a la médula. En el caso de la cutícula y la corteza, la queratinización se completa y las células se vuelven sólidas, mientras que en la médula solo las paredes

celulares engrosan con proyecciones espinosas, la cavidad se mantiene en cada célula llenándose con aire, mientras que el citoplasma desaparece²⁴.

La mayoría de los folículos primarios producen fibras meduladas, aunque en camélidos sudamericanos muchos folículos secundarios también producen fibras meduladas²⁵, por tanto, la fibra de los camélidos exhibe una mayor tasa de medulación^{26, 27}, en comparación con otras especies productoras de fibra, como ovejas, donde la medulación se ve sólo en las fibras primarias²⁸.

1.3. Características Físicas de las Fibras meduladas

La medulación puede proporcionar una ventaja en el vellón de alpacas como aislante natural (termorregulación), porque el aire está atrapado 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 calor²⁹, por tanto, la fibra de alpaca es considerada como un mejor material aislante que la lana debido a su alto contenido con vacío medular³⁰, pues como se indicó anteriormente la mayoría de las fibras de la alpaca son meduladas con variaciones de las mismas en su continuidad, los que tienen una gran influencia sobre la apariencia de la fibra³¹.

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^{15, 32}. Esto ocurre debido que la médula afecta a las propiedades ópticas de la luz que pasa a través de la fibra por difracción, más no debido a las diferencias en la absorción de colorante por la queratina de la fibra³³, aunque Quispe en el 2014 en su trabajo de investigación indica que las fibras meduladas no absorben totalmente las sustancias colorantes con la misma capacidad que las fibras no meduladas o parcialmente meduladas³⁴.

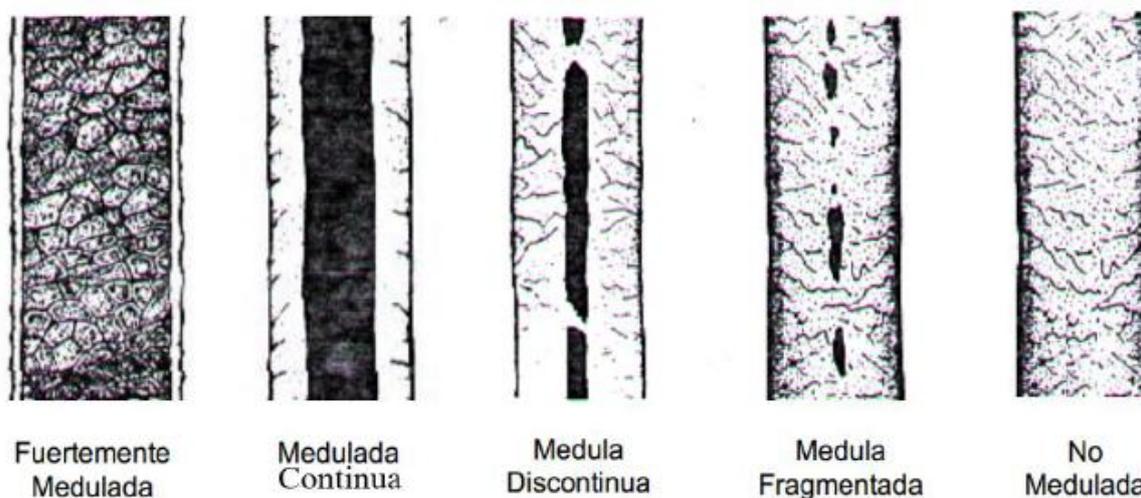
A las fibras meduladas, la industria considera como un contaminante en el procesamiento textil. Las bragas de vellón contienen más del 33% de fibras meduladas³⁵ y, la medulación varía según la zona del vellón³⁶. Finalmente, la medulación puede tener un efecto adverso pronunciado sobre su valor textil y el potencial uso final³³, especialmente en el hilado.

Sin embargo, no siempre la medulación resulta ser un defecto, pues la presencia de médula en las fibras las torna más livianas, razón por la cual, tejidos en base a fibras de conejo y alpaca son más livianas que los de lana¹⁴.

1.3.1. Clasificación de las Fibras Meduladas

La médula de la fibra de alpaca presenta diversas características de acuerdo al plano de observación longitudinal son clasificadas en las siguientes categorías: a) no medulada; b) médula fragmentada, en la que se encuentra la médula sólo como un fragmento de vez en cuando a intervalos irregulares; c) médula discontinua, en el cual se muestran la médula a intervalos bastante regulares a lo largo de la longitud de la fibra; d) continua, la médula se muestra a lo largo de la longitud de la fibra; e) fuertemente medulada, en el que las células de la parte central de la fibra están compactadas como para dar un aspecto tubular a la fibra¹² (Figura 2).

Figura Nro. 2: Clasificación de fibras según el tipo de médula



Fuente: Villarroel (1963).

- **Fuertemente medulada o 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 llama¹⁶.

- **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 oscura¹⁶.
- **Médula discontinua o interrumpida:** está interrumpida a intervalos más o menos regulares, se podría decir que la médula está completando su formación¹⁶.
- **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 formación¹⁶.
- **No medulada:** las fibras no muestran médulas generalmente ocurre en las muestras de fibra que son muy finas¹⁶.

Según Frank et al.³⁷ las médulas pueden ser clasificadas de una manera precisa y altamente repetibles de la siguiente manera:

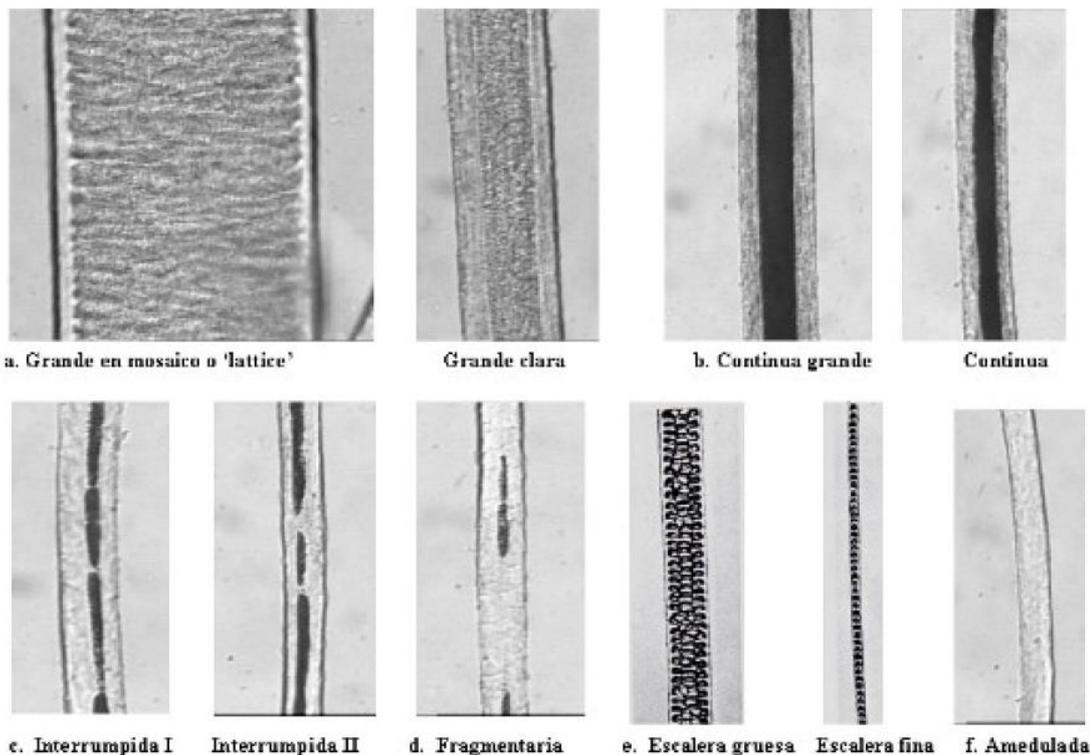
1. Médulas continuas:

- 1.1. Médula grande en enrejado ('lattice'):** la medula abarca la mayor parte de la fibra y presenta una forma reticulada o en enrejado característico (ver figura a). Es característico de las fibras gruesas de guarda de todos los animales silvestres y aparece en la lana como una fibra especial llamada 'kemp' y en los vellones de los camélidos silvestres y domésticos y en la cabra criolla que presenta doble capa (cachemira)³⁷.
- 1.2. Médula continua simple:** 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. Su tamaño es mucho menor que la anterior (ver figura b). Igualmente identifica fibras gruesas y medianas y es bastante común en los Camélidos y en los caprinos y puede estar en lanas muy gruesas³⁷.

2. Médulas discontinuas:

- 2.1. **Médula interrumpida:** normalmente es más fina que la continua simple y está interrumpida a intervalos más o menos regulares (ver figura c). Es común en las lanas crusa mediana y gruesa y en los vellones de Camélidos y Caprinos (criollos y angora)³⁷.
- 2.2. **Médula fragmentaria:** pequeños fragmentos o islas en el centro de la corteza (ver figura d). Aparece igualmente asociada a las lanas crusa mediana y gruesa y en los vellones de Camélidos y Caprinos (criollos y angora)³⁷.
- 2.3. **Médula en escalera o interrumpida regular:** tiene una forma seriada o multi seriada donde los espacios con médulas se alteran con los espacios amedulados (ver figura e). Es muy común en roedores (vizcachas, chinchillas, etc.), conejos de los distintos tipos y algunos cánidos. Suele ser contaminante de textiles o aparece en la construcción de uso cotidiano como pinceles o adornos³⁷.
3. **Fibras ameduladas** (ver figura f): se observa el perfil característico de la fibra sin presencia de un área más oscura o ligeramente diferente que es la médula³⁷.
4. **Fibras pigmentadas:** en algunos casos (fundamentalmente negras) o teñidas con colorantes naturales o artificiales, se debe decolorar la fibra para observar la médula. Esto se consigue con los procedimientos habituales de decoloración de peluquería, basados en el uso de agua oxigenada (H₂O₂) y otros productos comerciales³⁷.
5. **Médulas no visibles:** en esta sección de corte longitudinal suelen aparecer perfiles que no muestran médulas o las muestran muy finas cuando en realidad son médulas muy irregulares para las cuales esta observación es inapropiada y se debe hacer sección transversal³⁷.

Figura Nro. 3: Clasificación de los distintos tipos de médulas encontradas en las fibras animales



Fuente: Frank et al. (2019)

1.3.2. Métodos para la Determinación del Porcentaje de Medulación

Los dos métodos empleados para la determinación del porcentaje de medulación son el de microscopio de proyección y el OFDA 100 (Analizador Óptico del Diámetro de Fibra). Estos equipos están autorizados por la norma IWTO-8 e IWTO-57, las que establecen los estándares para la determinación del número de fibras meduladas utilizando el microscopio de proyección (en fibra de alpaca) y mediante la opacidad (método OFDA 100), respectivamente³⁸.

Actualmente se ha desarrollado otro equipo que está en proceso de validación, el Medulómetro con su software para evaluación de fibras según tipo de medulación³⁹, que en realidad es una modificación del Microscopio de Proyección, y por tanto determina la tasa o porcentaje de medulación en forma directa y objetiva.

a) Microscopio de Proyección

Este método es conocido también como método de Lanámetro. El porcentaje de medulación tradicionalmente fue medido mediante este equipo; la médula se detecta fácilmente observando los snippets al microscopio²⁴. En fibras de alpaca se hacen al azar en cada muestra, según la norma IWTO-8⁴⁰ a la observación longitudinal de 600 fibras. Además, se realizaron trabajos de corte transversal para evaluar la elipticidad y la medulación de la fibra¹².

A la observación transversal, la médula aparece como una demarcación central oscura de formas variadas. La fibra no medulada tiene médula circular y corresponde a las fibras más finas, pero en las fibras medianas la médula tiene forma triangular o tiende a tomar la forma elíptica. Las fibras gruesas tienden a estrecharse que aparecen de formas más irregulares (arriñonada, ovoide y más elíptica) a medida que aumenta el diámetro^{12, 37}.

b) Analizador Óptico del Diámetro de Fibra (OFDA 100)

El OFDA 100 es un dispositivo de medición óptica desarrollado en Australia, que se utiliza ampliamente en análisis de fibras de lana, alpaca, cachemira y mohair. Es un microscopio automático (analizador) que se mueve sobre un slide de fibras preparadas (**Figura 4**). Captura las imágenes ampliadas de las fibras individuales con una cámara de video. El diámetro de cada fibra identificada es medido y registrado mediante un análisis de imagen asistido por la computadora. Al completarse un número predeterminado de fibras, se imprime un histograma⁴¹. Los resultados que proporciona son el diámetro medio de la muestra de las fibras, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

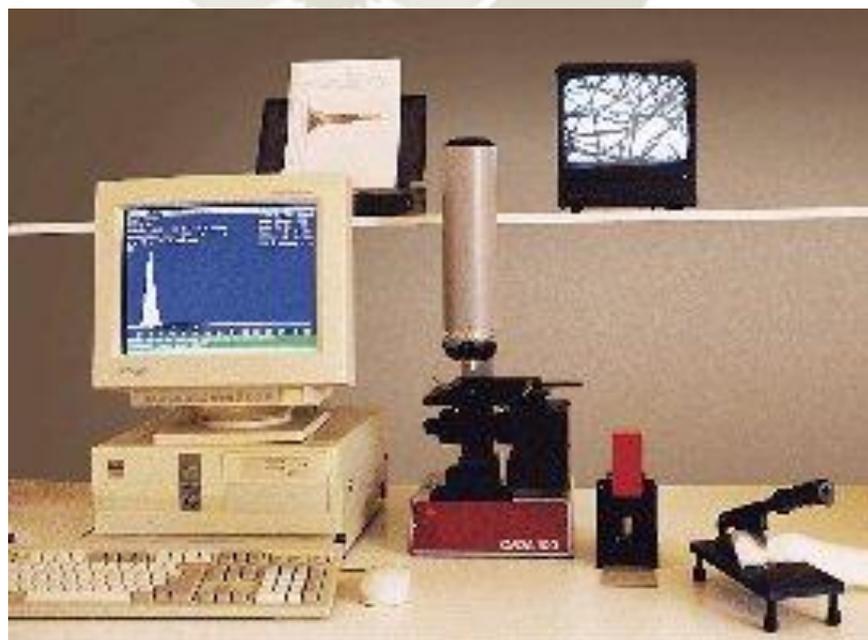
Para la determinación de la incidencia de medulación, el OFDA 100 es un equipo automatizado que está basado en la detección de opacidad de fibras y de esta forma proporciona el porcentaje de medulación en una muestra^{42, 43}. Pruebas al respecto en fibras de lana y cabras han sido fundamentados por varios autores^{15, 42, 44, 45}, sin embargo, a la fecha no existen trabajos de validación para su uso en fibras de camélidos y otras fibras animales.

El OFDA 100 mide la "opacidad" de las fibras individuales y esto está relacionado con la medulación. La opacidad de la fibra se define como la capacidad de una fibra para transmitir luz perpendicular a la longitud de la fibra. La opacidad de la fibra se calcula sumando la luz transmitida por la fibra en modo de campo oscuro, normalizada dividiendo por el diámetro de la fibra. Las superficies planas permiten el paso de la luz, pero el ancho de la banda de luz central es mayor que el de una fibra no medulada⁴⁶. Esto permite que el software OFDA divida las fibras en 3 clases dependiendo de su imagen de campo oscuro, de la siguiente manera:

- Medulada: opacidad > umbral de medulación (80% utilizado aquí).
- No medulada: (opacidad < umbral de medulación) Y (ancho de luz < 40 μm).
- Planas: (opacidad < umbral de medulación) y (ancho de luz > 40 μm).

En cuanto a las fibras de camélidos se posibilitaría con el OFDA 100 obtener la determinación cuantitativa de las fibras meduladas (opacidad) y la determinación de la cantidad de fibras gruesas, o cerdas, que se identifican como las fibras que tienen un diámetro mayor a 30 μm ⁴⁷.

Figura Nro. 4: OFDA 100 (Analizador óptico del diámetro de fibra)



Fuente: www.hornik.cc/ofda_100.php

c) Medulómetro

Es un equipo que evalúa la calidad de la fibra animal en forma directa y objetiva teniendo en cuenta el tipo de medulación (Medula continua, medula fragmentada, totalmente medulada y no medulada), proporcionando la media de diámetro de fibra (MDF), desviación estándar de la MDF y otras características por cada tipo de medulación³⁹. En realidad, es un microscopio de proyección modificado.

El equipo consta de un microscopio óptico modificado, con desplazamiento en ejes X e Y en forma automática, el cual permite un avance en forma de escaneo para facilitar la lectura en diferentes campos de la muestra a analizar. Las mediciones y asignación de las fibras por tipo de medulación se realizan mediante un software propietario, en la que se mide el diámetro de cada fibra mediante la coincidencia del puntero en la parte intermedia de cada fibra. Los resultados son mostrados conforme se va realizando las mediciones y finalmente son almacenadas de forma automática en un archivo Excel³⁹ (**Figura 5**), siendo esta una ventaja, permitiendo anular la operación de estar realizando anotaciones en físico cuando se utiliza el Microscopio de Proyección.

Figura Nro. 5: MEDULOMETRO y software para evaluación de fibras según tipo de medulación.



Fuente: Quispe (2018)

d) Otros Métodos

Existen más instrumentos que evalúan la medulación. En tal sentido, varios intentos de pruebas objetivas e indirectas, con diferentes grados de éxito, han venido desarrollándose, dando lugar así al WRONZ Medullameter y el análisis NIRS (Near Infrared Reflectance Spectroscopy).

El Medulómetro WRONZ es un método rápido para medir la medulación en lana. El principio de medición es que la médula se expone al hacer invisible la fibra circundante. Esto se logra al sumergir la lana en una mezcla de alcohol de benzol y aceite de anís, una mezcla cuyo índice de refracción es igual o muy cercano al de la lana⁴⁴. Cuando la lana se sumerge en un medio cuyo índice de refracción es igual al de la lana, no hay reflejo de luz en el interfaz medio – lana. La médula es sustancialmente un vacío lleno de aire, con reflectancia de luz eficiente en la interfaz de queratina – médula.

En el Medulómetro WRONZ, la muestra se ilumina mediante una fuente de luz difusa y la cantidad de luz refractada y transmitida se mide mediante un detector fotoeléctrico. Se produce una salida de milivoltios, que indica el nivel de luz detectado. Este valor se transforma matemáticamente para producir una medición del grado de medulación⁴⁸.

El grado de medulación general se expresa como un índice, que puede calibrarse contra una medición realizada con un microscopio de proyección. Como tal, es un método indirecto para medir el nivel de medulación en una muestra. La medición de la medulación representa la medulación total presente en el espécimen de lana. Este instrumento no distingue entre un gran número de fibras finamente meduladas y un pequeño número de fibras muy meduladas y también requiere una calibración frecuente⁴⁸.

La Espectroscopía de reflectancia infrarroja cercana (NIRS, por sus siglas en inglés), es un método empírico, que utiliza inferencia estadística para calibrar los reflejos de las longitudes de onda infrarrojas cercanas seleccionadas a través de un espectro utilizando muestras con niveles conocidos de medulación en la muestra. La coincidencia de las longitudes de onda con niveles particulares de medulación "se

realizó únicamente en función del rendimiento estadístico⁴⁴. Los instrumentos NIRS calibrados se pueden usar para medir el nivel de medulación de la lana dentro del rango de calibración⁴⁴. Se han llevado a cabo trabajos de investigación en varios laboratorios sobre el uso del análisis NIR para predecir la base de lana, el diámetro de la fibra, el color y los residuos químicos, pero la aplicación de estas mediciones se ha restringido a fines de control de calidad en un pequeño número de socavaciones comerciales⁴⁹, en lugar de ser utilizado como base para el comercio.

Las técnicas **WRONZ Medullameter** y **Near Infrared (NIRS)** son métodos indirectos rápidos. Cuentan o miden todas las fibras meduladas, no solo las fibras que se consideran contaminantes. Estos métodos aún no son comercialmente aceptables para pruebas de alto volumen. Necesitan resultados de medición de microscopio para la calibración y no diferencian entre los diferentes tipos de medulación⁵⁰.

1.3.3. Porcentaje de Medulación

Algunas fibras de alpaca aparte de la cutícula y corteza, tienen una médula en la parte media que se extiende a lo largo de la fibra^{51,52}, y tienen un efecto aislante, de modo que las prendas que son confeccionadas con dichas fibras mantienen calor en quienes la usan³⁰. Sin embargo, para fines del procesamiento la presencia de la médula supone un problema importante, especialmente en el teñido porque causa una mayor refracción de la luz que hace aparecer las fibras teñidas más claras¹⁰.

Wang et al.³⁰ señalan un rango de variación de 28% a 67%. Villarroel¹² reportó 78.9% y 71.1% para alpacas Huacaya y Suri, respectivamente. En la alpaca el porcentaje de medulación es muy variable según lo indicado por varios autores^{12, 30, 35,38}.

Contreras en el 2009 en su trabajo de investigación en alpacas Huacayo de color blanco encontró 66.49%⁵³, asimismo en llamas bolivianas, Martínez et al.⁵⁴ encontraron los siguientes valores: 20.2, 37.7 y 39.4% para fibras no meduladas, fibras meduladas fragmentadas y fibras meduladas continuas, respectivamente.

1.3.4. Relación entre porcentaje de Medulación y Diámetro Medio de Fibra

Varios trabajos indican que hay una relación positiva entre diámetro de fibra y porcentaje de medulación; así en ovino Corriedale⁵⁵, en cabra Angora^{22, 56, 57}, en llama^{54, 58} y en la alpaca⁵⁹ señala que el aumento de diámetro medio de fibra (DMF) está asociada con la incidencia de fibras meduladas.

La incidencia de fibras meduladas aumenta linealmente de 10% a 60% desde 22 μ m hasta 40 μ m⁵⁹. Por lo tanto, en alpaca a mayor diámetro de fibra, hay mayores posibilidades de la presencia de médula.

1.4. Características Tecnológicas de la Fibra de Alpaca

Los vellones más pesados y de fibras finas valen más que los vellones menos pesados y de fibras gruesas⁶⁰. La calidad de la fibra (diámetro de fibra y porcentaje de fibras meduladas) está determinado por la contribución de más de un gen^{61, 62}.

Por tanto, se requiere una evaluación precisa de las características para determinar el ranking de los animales en un programa de mejoramiento⁶³.

1.4.1. Diámetro Medio de Fibra

El diámetro medio de fibra (DMF) de una muestra representativa del vellón esta expresado en micrómetros (μ m), lo cual define la finura. Este parámetro físico es considerado el principal criterio de selección en poblaciones de alpaca de todo el mundo^{61, 64, 65}. La clasificación de los vellones se basa principalmente en la finura, ya que permite una mejor valoración al momento de la comercialización⁶⁰.

Con respecto al diámetro de fibra resulta importante el trabajo de Lupton et al.³¹ quien analizó 585 muestras de vellón de alpacas norteamericanas de distintos sexos y edades, encontrando 26.7 μ m para hembras y 27.1 μ m para machos; con respecto a la edad, encontró valores de 24.3 μ m, 26.5 μ m y 30.1 μ m para alpacas de 1, 2 y 3 o más años de edad, respectivamente. Por otra parte, McGregor en el 2006 al estudiar alpacas criadas en Australia encontró que el 10% de alpacas Huacaya tenían un diámetro medio de 24 μ m y más del 50% tenían 29.9 μ m⁵⁹.

Además, Ponzoni et al.⁶⁶ al analizar un programa de mejora genética para alpacas australianas refiere promedios de diámetro de fibra de $25.7\mu\text{m}$ con un rango de 23.4 a $27.3\mu\text{m}$. En los trabajos más recientes en alpacas del sur de Perú^{67, 64, 68}, en Apurímac⁶⁹ en Huancavelica^{70, 60} y en Junín⁷¹ refieren medias de diámetro de fibra desde $21\mu\text{m}$ hasta $24\mu\text{m}$.

1.4.2. Coeficiente de Variación

El coeficiente de variación (CV) mide la variación en el diámetro de la fibra con respecto la media del diámetro de la fibra, el coeficiente de variación se calcula dividiendo la desviación estándar por la media del diámetro de la fibra y multiplicado por 100⁷².

Un vellón con coeficiente de variación bajo indica una mayor uniformidad entre los diámetros de las fibras individuales que lo componen⁷³.

Un vellón con un CV más bajo, 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^{73, 74}.

1.4.3. Factor de Confort

El factor de confort (FC) o factor de comodidad se define como el porcentaje de fibras menores a $30\mu\text{m}$ ⁶¹. La industria textil de lana, prefiere vellones con un FC igual o mayor a 95%^{52, 60, 70}. 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 aumenta⁷⁵.

Por otro lado, cabe aclarar que 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 alpaca⁷⁶. El confort está influenciado por un rango de factores psicológicos, fisiológicos y físicos entre el humano y el ambiente externo⁷⁷.

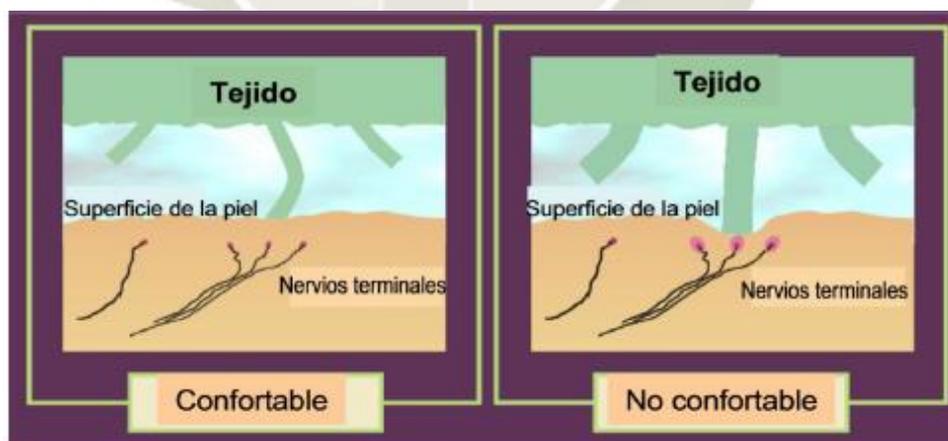
1.4.4. Factor de Picazón

El factor de picazón (FP) se define como el porcentaje de las fibras mayores a $30\mu\text{m}$ ^{52, 76}. 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.

No obstante, este punto de corte puede ser discutido, porque hay diversos factores que lo pueden alterar y más bien fluctuaría entre las $26\text{-}35\mu\text{m}$ ⁷⁸. Las fibras objetables causan sensación de picazón, cuando están en contacto con la epidermis⁷⁹.

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 6). Si las fibras gruesas tienen puntas rígidas la picazón más que las fibras finas, que son menos rígidas y que se doblan con mayor facilidad al contacto con la piel⁷⁶.

Figura Nro. 6: Interacción entre los terminales de la fibra y la piel en prendas confortables y no confortables.



Fuente: Garnsworthy et al. (1988)

La sensación de picazón de la fibra aumenta a medida que disminuye el porcentaje de confort de la fibra de alpaca^{20, 31}, el factor de picazón está inversamente relacionado con el factor de confort. Además, Candio en el 2011, en su trabajo de investigación reportó el

efecto de la edad sobre el factor de picazón y los valores hallados fueron de 2.22%, 4.41% y 8.06% para alpacas de dos, tres y mayor a tres años, respectivamente⁷¹.

El factor de picazón no es un carácter técnico de la fibra, sino que más bien está relacionado con el grado de confort que brindan las prendas fabricadas con fibra de alpaca sobre el usuario⁸¹.

2. Especificaciones IWTO

La Organización Internacional de Textiles de Lana (IWTO, por sus siglas en inglés) es el organismo internacional que representa los intereses de la industria y el comercio de textiles del mundo. Otorga licencias a los laboratorios que ofrecen servicios de Certificación IWTO a la industria según el cumplimiento de sus normas y especificaciones.

Según las especificaciones de la IWTO los siguientes métodos de prueba nos indican los procedimientos para la medición de fibras y lanas con los diferentes equipos de medición:

IWTO-8, es el método para determinar los parámetros de distribución del diámetro de la fibra y el porcentaje de fibras meduladas en lana y otras fibras animales mediante el Microscopio de Proyección⁴⁰.

IWTO-57, es el método para la determinación del contenido de fibra medulada de muestras de lana y mohair mediante medición de opacidad utilizando el Analizador Óptico del Diámetro de Fibra (OFDA 100)⁸².

2.1. Acondicionamiento de Laboratorios

Esta especificación ha sido elaborada para permitir la preservación de los procedimientos tradicionales de acondicionamiento de pruebas de atmósfera estándar utilizados en pruebas de textiles y de lana. En los últimos tiempos, se han presentado propuestas para modificar las atmósferas de pruebas estándar internacionales a niveles que influirían significativamente en los datos de prueba utilizados por la industria textil de lana en transacciones comerciales⁸³.

El material textil se lleva a un equilibrio de humedad con una atmósfera estándar desde el estado seco, asegurándose de que esté en equilibrio aproximado con una atmósfera de menos del 15% de la humedad relativa antes de exponerlo libremente a la atmósfera estándar. Dentro de este margen, el IWTO, dentro de sus requerimientos esenciales, especifica que el laboratorio donde se realice certificación de muestras de lana debe tener un equipo de aire acondicionado capaz de proporcionar y mantener una atmósfera estándar de $65 \pm 3\%$ de humedad relativa y temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ dentro de una presión atmosférica dentro de 86 a 106 kPa⁸³.



CAPÍTULO II

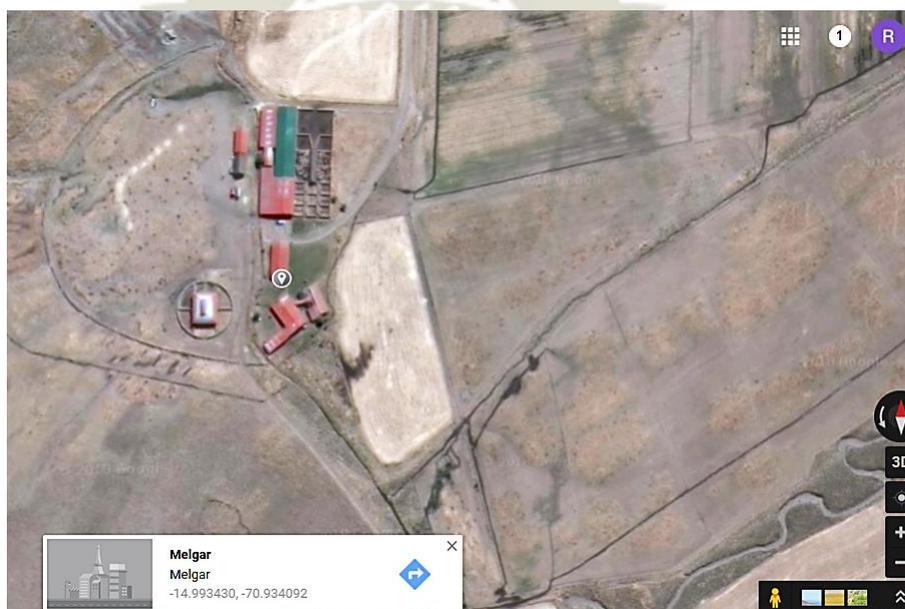
METODOLOGÍA

1. Localización

Las muestras de fibra se tomaron de alpacas Huacaya y Suri de color blanco pertenecientes a la Estación Experimental de Investigación Científica y Mejora Genética en Alpacas Pacamarca, que se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas 14°59'36" Latitud sur, 70°56'02.7" longitud oeste (ver Figura 8), a 47 km del distrito de Ayaviri y a 8km del distrito de Llalli (provincia de Melgar del departamento de Puno) tiene aproximadamente 1378 has con un ecosistema de puna húmeda (altiplano), a una altitud de 4060 m.s.n.m., con una precipitación pluvial media de 700 mm/año, con unas temperaturas que pueden variar dependiendo de la estación y la hora entre -9°C a 21°C generalmente, y una humedad relativa que va del 40 al 60%.

El procesamiento y análisis de las muestras de fibra se realizó en el laboratorio de control de calidad de la empresa Inca Tops S.A. en la ciudad de Arequipa, utilizando los equipos de medición: el Medulómetro y el OFDA 100 bajo las condiciones de laboratorio exigidas por la norma IWTO-52⁸³ (en un ambiente controlado a una humedad de 65±3% y temperatura de 20±2°C).

Figura Nro. 7: Ubicación geográfica Estación Experimental Fundo Pacamarca



Fuente: Google Maps (2020)

2. Materiales y Equipos

2.1. Material biológico

Se consideró un total de 100 muestras de fibra de alpacas de la raza Huacaya color blanco y 100 muestras de fibra de alpacas de la raza Suri color blanco entre machos y hembras de diferentes edades.

2.2. Materiales de campo

- ✓ Mameluco
- ✓ Botas
- ✓ Balanza digital
- ✓ Bolsas de polietileno (5x10)
- ✓ Plumón indeleble
- ✓ Marcador
- ✓ Tijera
- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Cuaderno de campo.
- ✓ Lápiz

2.3. Materiales y equipos de laboratorio

- ✓ Slide de vidrio de 1 milímetro de espesor
- ✓ Láminas Portaobjetos (caja 100 unid. x2)
- ✓ Láminas Cubreobjetos (caja 100 unid. x2)
- ✓ Brocha
- ✓ Rodillo
- ✓ Pinzas
- ✓ Tijeras
- ✓ Sujetador de muestras
- ✓ Plato quirúrgico
- ✓ Esparcidor
- ✓ Aceite de inmersión
- ✓ Mascarillas

- ✓ Secadora portátil
- ✓ Guillotina
- ✓ Baqueta de vidrio
- ✓ Lamina portaobjeto de calibración
- ✓ Porta láminas
- ✓ Micrótopo de Hardy
- ✓ Estufa
- ✓ Pistola de aire a presión
- ✓ Monitor del OFDA 100
- ✓ Medulómetro
- ✓ OFDA 100
- ✓ Computadora de pedestal

2.4. Materiales de escritorio

- ✓ Cuaderno de apuntes
- ✓ Papel Bond A4
- ✓ Computadora portátil
- ✓ Impresora
- ✓ Memoria USB
- ✓ Lapicero

3. Procedimiento

3.1. Población y muestra

Se realizó el muestreo de fibra de 100 alpacas de la raza Huacaya y 100 alpacas de la raza Suri de color blanco de diferente edad y sexo, haciendo un total de 200 unidades de estudio. Para efectos de este trabajo de investigación se trabajó con el total de las unidades de estudio.

3.2. Metodología

El presente trabajo se llevó a cabo en dos etapas: una de campo, donde se recolectaron las muestras de fibra del costillar medio de cada animal a evaluar; y otra etapa de laboratorio,

en donde se procesó y analizó cada muestra de fibra para determinar el porcentaje de medulación usando el equipo MEDULOMETRO y el OFDA 100.

a) Etapa de campo:

Para la toma de muestras: La toma de muestras fue al azar, considerando ambas razas, ambos sexos y todas las edades.

Las muestras de fibra se tomaron del costillar medio (mid side) de 100 alpacas Huacaya color blanco y de 100 alpacas Suri de color blanco. El costillar medio (mid side) es la zona más representativa para evaluar el diámetro medio de fibra en alpacas³⁶, anatómicamente localizada en la tercera costilla y perpendicularmente en la parte media entre las líneas superior dorsal e inferior ventral³⁶.

Las muestras de fibra de aproximadamente 10 gramos una vez extraídas fueron colocadas en bolsas de polietileno (5x10) debidamente rotuladas con una etiqueta con información del número de arete del animal, raza y sexo, esto de forma individual (Figura 8).

Figura Nro. 8: Toma de muestra de fibra del costillar medio y conservación de la muestra con su rótulo.



Fuente: Elaboración propia.

b) Etapa de laboratorio

Para el análisis de las muestras de fibra en el laboratorio: Las 200 muestras de fibra se lavaron, secaron, se paralelizaron, se acondicionaron por 4 horas y se prepararon en las láminas portaobjetos con recortes de fibra o snippets de 0.8 mm usando el micrótopo de Hardy⁸⁴. Por cada muestra de fibra se evaluó el diámetro de 600 fibras, asimismo se contaron las fibras no meduladas y meduladas (considerándose solo fibras con medulas continuas y fuertemente meduladas) cuando se utilizó el Medulómetro. Se trabajó en condiciones estándar de laboratorio a $20 \pm 2^\circ\text{C}$ de temperatura y $65 \pm 3\%$ de humedad relativa⁸³. Las mismas muestras (200) fueron medidas con el analizador óptico de diámetro de fibra (OFDA 100) según la norma IWTO-57⁸².

En total se registraron resultados de 120 000 fibras individuales (600 fibras por cada muestra) con el Medulómetro y 800 000 fibras individuales (4000 fibras por cada muestra) con el OFDA 100, todo esto de las 200 muestras de fibra analizadas.

PROCEDIMIENTO USO DEL MEDULÓMETRO:

Preparación de la muestra:

1. Colocar una pequeña porción de fibras lavadas en el micrótopo de Hardy a fin de obtener fragmentos de fibras de 0.8 mm de longitud aproximadamente, mediante el corte con una hoja de rasurar.
2. El corte a realizar debe ser limpio, debiendo proceder con suavidad y lentitud, a fin de evitar la dispersión de las fibras de la plataforma de corte del micrótopo.
3. Verter suavemente, de la plataforma de corte del micrótopo, los fragmentos de fibra en una lámina portaobjetos. Luego adicionar una gota de medio de montaje (aceite de inmersión) sobre los fragmentos de fibras apiladas.
4. Utilizando una baqueta, esparcir las fibras apiladas junto con el aceite de inmersión en la lámina portaobjeto, mediante movimientos circulares lentos.

5. Colocar una lámina cubreobjetos delicadamente encima de la muestra de fibras esparcidas, evitando en todo momento la formación de burbujas de aire, pues éstas limitan la buena observación de las fibras.

Calibración del Medulómetro:

6. Se debe encender el equipo MEDULÓMETRO, realizando las conexiones correspondientes a la computadora (a un puerto USB) y cable de energía eléctrica a la fuente respectiva.
7. Encender la computadora y poner operativo el software.
8. Presionar el puntero con el mouse sobre el botón CONECTAR de la interface del usuario a fin de encender la cámara del MEDULOMETRO.
9. Colocar “la lámina portaobjetos de calibración” en la platina del Medulómetro.
10. Enfocar la lámina portaobjetos de calibración usando el tornillo macrométrico y micrométrico.
11. Enseguida, presionar el puntero con el mouse sobre el botón CALIBRAR.
12. Elegir en la imagen mediante presión con el puntero en dos puntos cuya distancia en micras entre ellos sea conocido mediante el mouse, que se muestra en la “lamina portaobjetos de calibración”.
13. Ingresar en la ventana de calibración del software la medida en micras elegida. El MEDULOMETRO estará calibrado al presionar el puntero en el botón ACEPTAR.

Montaje en la platina del Medulómetro:

14. Colocar el portaobjetos preparado (OJO: previamente se debe haber calibrado el MEDULOMETRO) encima de la platina del MEDULÓMETRO.
15. Para inmovilizar el portaobjetos sobre la platina, se utilizan los ganchos de sujeción presentes en la platina del MEDULOMETRO.

Determinación y medición del diámetro y porcentaje de medulación:

16. Ingresar la identificación (ID) y una descripción de la muestra a ser evaluada, en los respectivos cuadros de diálogo que se muestra en la interfaz.
17. Presionar el puntero con el mouse sobre el botón MEDIR.

18. Para iniciar la medición, al presionar el puntero con el mouse en el medio de la fibra de interés, aparecerá una ventana del cual debemos elegir el tipo de medulación de la fibra. La elección se realiza mediante un “click” con el mouse en una de las alternativas de la lista que corresponde al tipo de medulación: 1. No medulada, 2. Medulada (medulación continúa y fuertemente medulada - kemp).
19. Al hacer clic en el botón ACEPTAR o al presionar la tecla ENTER del teclado aparecerá una línea roja de medición del diámetro junto a su valor (de color azul) en micras.
20. Repetir el ítem 18 y 19 hasta culminar con la medición de todas las fibras de interés de la imagen N°1 o campo N°1.
21. Al hacer clic en cualquiera de los botones de flecha aparecerá una ventana para confirmar si desea guardar las mediciones. Al elegir la opción SI, se abrirá la ventana del explorador de Windows, usted debe elegir la ruta de almacenamiento e ingresar el nombre de la hoja Excel donde se guardarán los datos. También se almacenarán en un archivo las imágenes o campos tratados en la misma ruta de almacenamiento.
22. Para el desplazamiento al siguiente campo a evaluar, se debe hacer clic en los “botones de flecha: izquierda, derecha, arriba y abajo”.
23. Repetir del ítem 17 al 22 hasta culminar con la medición de la primera muestra.
24. Para evaluar las siguientes muestras se debe hacer clic en el botón “Nueva muestra” y repetir del ítem 14 al 23.

PROCEDIMIENTO USO DEL ANALIZADOR ÓPTICO DE DIÁMETRO DE FIBRA (OFDA 100):

1. Si la muestra es grasienta esta debe ser lavada, secada y acondicionada para su análisis.
2. Acondicionar la muestra: Se debe acondicionar la muestra dentro de los parámetros de humedad establecidos (65% H) por 4 horas aproximadamente.
3. Limpiar los instrumentos con la pistola de aire a presión: tener limpio los instrumentos para evitar errores en las mediciones.

4. Colocar la muestra de fibra en la guillotina y realizar cortes en fragmentos de 2 mm aproximadamente.
5. Los fragmentos de fibras se van colocando sobre un equipo que se llama difusor, el cual mediante un rotor que gira en ambos sentidos, va cubriendo de fibras un slide de vidrio de 70 x 70 mm con una densidad adecuada y constante para todo el vidrio.
6. Retirar el slide y colocarlo en el microscopio del OFDA (al equipo se le coloca un adaptador para fijar el slide de 70 mm).
7. Colocar los datos de la muestra en el sistema del OFDA: colocar el número de identificación de la muestra (número de arete), iniciales del operador. Guardar en la carpeta correspondiente a su proceso.
8. Accionar el OFDA en el sistema: presionar Enter en la PC después de colocar los datos. El accionamiento del equipo OFDA es automático. Al terminar retirar el slide y limpiarlo.
9. Sacar el promedio de evaluación en el sistema: los promedios se calculan en la PC, en la pestaña Blend. Se agrega el comando /PROM, y se añade una línea extra con el promedio de los exámenes.
10. Imprimir resultados: la impresión es automática al finalizar la medición en la maquina OFDA (histograma con información de los promedios de finura, DS, CV, factor de confort, curvatura, porcentaje de opacidad y valores máximos y mínimos).

Tabla 1: Principales características de los dos métodos de medición del diámetro de fibra y porcentaje de medulación de fibra de alpaca utilizados.

	OFDA 100	MEDULOMETRO
Tiempo de Medición	30 - 40 segundos	40 minutos
Modo de medición	Indirecto (por opacidad)	Directo
Diámetro mínimo de fibra aceptada como medulada	20 μm	12 μm
Numero de fibras analizadas por muestra	4000	600
Materiales	Láminas de vidrio Guillotina	Láminas portaobjetos Láminas cubre objetos Aceite de inmersión Micrótopo de Hardy
Lugar de Medición	Laboratorio de fibras	Laboratorio de fibras
Proveedor	Fabricante Extranjero (importación)	Fabricante Nacional

4. Porcentaje de Medulación (PM)

Para determinar el Porcentaje de Medulación (PM) de una muestra de fibra de alpaca, se dividió el número total de fibras meduladas (solo se consideraron las medulas continuas y fuertemente meduladas) entre el total de fibras analizadas (Medulómetro = 600 fibras y OFDA 100 = 4000 fibras) multiplicado por 100. La fórmula del porcentaje de medulación es la siguiente:

$$PM = \frac{\text{Cantidad de fibras meduladas}}{\text{Cantidad de fibras totales}} \times 100$$

5. Análisis estadístico

Se utilizó estadística descriptiva para determinar la media y el error estándar de los resultados de cada equipo: diámetro de fibra (DF), el porcentaje de medulación (PM), y el diámetro de fibra medulada (DFM) de las 200 muestras de fibra de alpaca según raza y sexo.

Para la variable del Porcentaje de Medulación (PM) se realizó la prueba de t de Student pareada y la prueba no paramétrica de Wilcoxon para determinar si existe diferencia estadística entre ambos equipos. También se realizó los siguientes Test de normalidad: Prueba de Kolmogorov-Smirnov y Prueba de Shapiro para determinar la distribución normal de los datos (ver anexo 6).

Para determinar el grado de asociación entre las variables del Porcentaje de Medulación (PM) medidas entre ambos equipos (Medulómetro y OFDA 100), se hizo uso del análisis de correlación, regresión lineal y geométrica los cuales fueron realizados mediante el programa estadístico RStudio versión 3.5.0.

Para determinar la relación entre ambos equipos según la norma IWTO-0 (Apéndice B) en muestras de fibra de alpaca, la norma recomienda realizar una prueba de comparación entre el promedio y la diferencia de los promedios reportados por cada equipo, y mediante una regresión lineal, determinar el grado de relación entre valores de la diferencia y el promedio de los resultados de los equipos comparados⁸⁵.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Evaluación de la media del diámetro de fibra (DF), el porcentaje de medulación (PM) y diámetro de fibra medulada (DFM), según raza y sexo utilizando el Medulómetro y el OFDA 100.

Cuadro 1. Promedios \pm error estándar de la media del diámetro de fibra (DF), el porcentaje de medulación (PM) y diámetro de fibra medulada (DFM), según efecto raza y sexo utilizando el Medulómetro y el OFDA 100.

Características y factores		N	Medulómetro	OFDA100	Diferencia
<i>Media de diámetro de fibra (μm)</i>					
• Raza	Huacaya	100	20.04 \pm 0.31	21.70 \pm 0.31	-1.66
	Suri	100	21.01 \pm 0.27	21.34 \pm 0.27	-0.33
• Sexo	Macho	100	20.57 \pm 0.32	21.34 \pm 0.30	-0.77
	Hembra	100	20.49 \pm 0.26	21.70 \pm 0.27	-1.21
Media global		200	20.53 \pm 0.21	21.51 \pm 0.18	-0.98
<i>Porcentaje de medulación</i>					
• Raza	Huacaya	100	30.16 \pm 1.95	10.94 \pm 0.92	19.22
	Suri	100	27.26 \pm 1.93	8.69 \pm 0.78	18.57
• Sexo	Macho	100	26.64 \pm 2.05	8.78 \pm 0.85	17.86
	Hembra	100	30.79 \pm 1.82	10.85 \pm 0.86	19.94
Media global		200	28.71 \pm 1.37	9.82 \pm 0.61	18.9
<i>Media de Diámetro de fibras meduladas (μm)</i>					
• Raza	Huacaya	100	26.70 \pm 0.25	30.54 \pm 0.26	-3.84
	Suri	100	26.57 \pm 0.27	29.24 \pm 0.26	-2.67
• Sexo	Macho	100	26.62 \pm 0.27	29.77 \pm 0.28	-3.15
	Hembra	100	26.65 \pm 0.24	30.00 \pm 0.26	-3.35
Media global		200	26.64 \pm 0.18	29.89 \pm 0.19	-3.25

Los resultados de la medición de tres características (Diámetro de Fibra, Porcentaje de Medulación y Diámetro de Fibra Medulada) y los efectos de los factores Raza y Sexo en fibra de alpaca utilizando el Medulómetro y el OFDA 100 se encuentran en el Cuadro 1.

Diámetro de Fibra (DF)

Los resultados de la media del Diámetro de Fibra (DF) analizados con el Medulómetro según raza fueron de $20.04 \pm 0.31 \mu\text{m}$ para el Huacayo y $21.01 \pm 0.27 \mu\text{m}$ para el Suri con una diferencia de $0.97 \mu\text{m}$; y la media analizada con el OFDA 100 fue $21.70 \pm 0.31 \mu\text{m}$ y $21.34 \pm 0.27 \mu\text{m}$ para el Huacayo y Suri con una diferencia de $0.36 \mu\text{m}$. Según efecto sexo, en machos y hembras fue de $20.57 \pm 0.32 \mu\text{m}$ y $20.49 \pm 0.26 \mu\text{m}$ analizados con el Medulómetro y de $21.34 \pm 0.30 \mu\text{m}$ y $21.70 \pm 0.27 \mu\text{m}$ analizados con el OFDA 100 (Cuadro 1).

La diferencia entre las medias obtenidas de los resultados del Medulómetro y el OFDA 100 para el efecto raza fue de $1.66 \mu\text{m}$ y $0.33 \mu\text{m}$ para el Huacayo y Suri respectivamente. Para el efecto sexo la diferencia de medias fue de $0.77 \mu\text{m}$ y $1.21 \mu\text{m}$ para machos y hembras. Asimismo, en forma general se obtuvo una diferencia cerca de $1 \mu\text{m}$, lo cual al análisis estadístico no resulta significativo, lo que indicaría que ambos equipos brindan similares resultados.

Uno de los principales indicadores de la calidad textil es el diámetro de fibra (DF), pero dentro del vellón existe variación entre mechas y aun dentro de la mecha hay variación entre las fibras. Siendo el Diámetro de fibra y el coeficiente de variación del diámetro de fibra (CV) los que determinan la calidad del hilo y las propiedades de la tela^{37, 52}.

El diámetro es un parámetro variable, que, aunque tiene componente genético, puede ser afectado por cambios fisiológicos como la gestación, lactación, destete o enfermedades, pero también puede estar afectado por la edad, sexo, raza, temperatura, fotoperiodo, estrés, época del año, esquila y factores propios del medio ambiente natural de la alpaca⁸⁶.

Quispe MD y Quispe EC en el 2018 reportan como prueba de funcionamiento del Medulómetro usando 50 muestras de fibra de alpaca Huacaya en promedio un diámetro de fibra de $23.41 \mu\text{m}$ con una desviación estándar de $4.53 \mu\text{m}$ ³⁹.

Existen discrepancias sobre el efecto del sexo en el diámetro de fibra, algunos investigadores como Morante et al.⁸⁷, Quispe et al.⁸⁸ y Montes et al.⁷⁰, indican que los machos tienen fibras más finas que las hembras debido a que los criadores realizan una selección de machos más minuciosa e intensa que las hembras.

Porcentaje de Medulación (PM)

En el **cuadro 1** podemos observar los resultados de la media del Porcentaje de Medulación (PM) analizados con el Medulómetro fue de $30.16 \pm 1.95\%$ para el Huacayo y $27.26 \pm 1.93\%$ para el Suri con una diferencia de 2.9%; y la media analizada con el OFDA 100 fue $10.94 \pm 0.92\%$ y 8.69 ± 0.78 para el Huacayo y Suri con una diferencia de 2.25%. Según efecto sexo, en machos y hembras fue de $26.64 \pm 2.05\%$ y $30.79 \pm 1.82\%$ analizados con el Medulómetro y $8.78 \pm 0.85\%$ y $10.85 \pm 0.86\%$ analizados con el OFDA 100.

Se ha encontrado suficiente evidencia para indicar que los resultados del porcentaje de medulación (PM) obtenidos con el Medulómetro y el OFDA 100 son diferentes, observándose mayores valores de esta característica con el Medulómetro, encontrándose las siguientes diferencias según la raza de hasta 19.22 % y 18.57 % para el Huacayo y el Suri respectivamente y según sexo las diferencias hasta 17.86 % y 19.94 % para el caso de machos y hembras respectivamente entre ambos equipos.

Podemos apreciar que existe una alta diferencia (18.9%) entre los porcentajes de medulación determinados por los equipos en estudio, obteniéndose valores menores con el OFDA 100 en comparación al Medulómetro, aunque, cuando se tuvieron en cuenta solamente como fibras de medulación continua y fuertemente meduladas. Esto indicaría que ambos equipos arrojan valores diferentes cuando se trata de evaluar la tasa de medulación de fibras de alpacas. De este modo, quedaría por dilucidar cuál de los equipos mide realmente el porcentaje de medulación, por tanto, al ser el Medulómetro un equipo que mide dicha variable en forma directa y objetiva, los resultados de éste tendrían un mejor sustento de cercanía al valor real del porcentaje de medulación que el OFDA 100, que es un equipo que evalúa la medulación en forma indirecta.

Asimismo, esta consideración del Medulómetro como mejor equipo que evalúa la medulación, estaría basado en los resultados encontrados por otros investigadores. Así

Pinares et al.⁸⁹, Quispe M y Quispe E³⁹, Wang et al.³⁰, Hack et al.³⁵, Contreras⁵³, entre muchos utilizando el método directo (Microscopio de Proyección) encontraron tasas de medulación mayores a 30%, los que no concuerdan con los resultados encontrados con el OFDA 100 que se encuentran sólo entre 8 y 11 % de medulación.

Las muestras de fibra evaluadas con el OFDA 100 presentaron en promedio un menor porcentaje de fibras meduladas en comparación con el Medulómetro, esto puede deberse a que el OFDA100 solo mide fibras meduladas a partir de los 20 micrones (el diámetro mínimo que se aceptara en una fibra para aceptarla como medulada, normalmente el valor es de 20 micrones)⁹⁰, en cambio el Medulómetro puede realizar manualmente la lectura de fibras meduladas desde las 12 micras. Asimismo, los valores umbrales de opacidad (>80%) relacionados a la medulación, para el uso del OFDA 100, ha sido realizado utilizando fibras de lana y mohair, más no para alpacas.

En alpacas las fibras primarias son meduladas, mientras que las secundarias pueden ser meduladas y no meduladas²⁵. El promedio en animales jóvenes es más fino, con menor grado de medulación, y en las gruesas hay mayor presencia de médula; en llamas y alpacas, estos valores aumentan significativamente con la edad^{54, 59}.

Aylan-Parker y McGregor³⁶ y Pinares et al.⁸⁶ informaron que al observar fibras de alpaca usando un microscopio de proyección, generalmente se observaron fibras finas meduladas y fibras gruesas no meduladas.

Quispe MD y Quispe EC en el 2018 reportan como prueba de funcionamiento del Medulómetro utilizando 50 muestras de fibra de alpaca Huacaya un alto porcentaje de medulación ($62.60 \pm 3.2\%$)³⁹.

Wang et al.³⁰ señalan un rango de variación de 28% a 67% de medulación. Villarroel¹² reportó 78.9% y 71.1% para alpacas Huacaya y Suri, respectivamente.

Hack et al.³⁵, en los años 1996 y 1997, al estudiar alpacas criadas en Australia reportaron porcentajes de medulación \pm desviación estándar de 76.4 ± 1.8 y $69.3 \pm 8.7\%$, respectivamente. En el Perú Villarroel¹² reportó 78.9% y 71.1% para alpacas Huacaya y Suri, respectivamente.

Siendo los machos los que presentan menor porcentaje de medulación que las hembras, ello se debería al mayor ajuste de selección de reproductores y la actividad fisiológica en hembras⁸⁹.

Pinares et al.⁹¹, en su trabajo de investigación indica que el OFDA 100, detecta por opacidad solo las fibras meduladas continuas y fuertemente meduladas, así de esta forma proporciona el porcentaje de medulación en una muestra de fibra de alpaca, es por este motivo que solo se consideró medir y contar ambos tipos de fibras meduladas usando el Medulómetro.

El porcentaje de medulación puede ser utilizado como un criterio de selección para disminuir el efecto del factor de picazón⁸⁹.

Diámetro de Fibra Medulada (DFM)

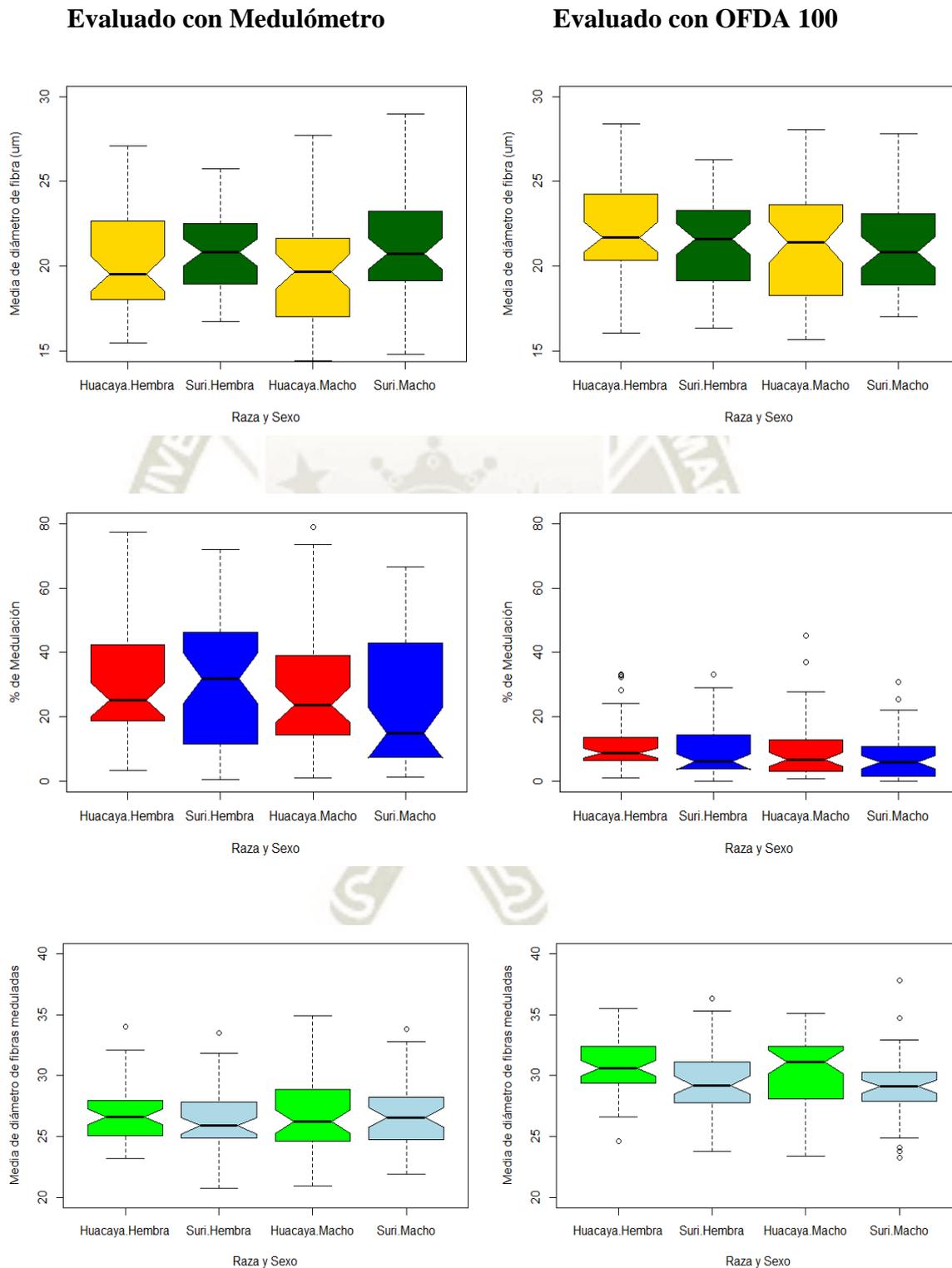
En el **cuadro 1** podemos observar los resultados obtenidos de la media del Diámetro de Fibras meduladas (DFM) analizados con el Medulómetro que fueron de $26.70 \pm 0.25 \mu\text{m}$ para el Huacayo y $26.70 \pm 0.25 \mu\text{m}$ para el Suri con una diferencia de $0.13 \mu\text{m}$; y la media analizada con el OFDA 100 fue $30.54 \pm 0.26 \mu\text{m}$ y $29.24 \pm 0.26 \mu\text{m}$ para el Huacayo y Suri con una diferencia de $1.3 \mu\text{m}$. Según efecto sexo, en machos y hembras fue de $26.62 \pm 0.27 \mu\text{m}$ y $26.65 \pm 0.24 \mu\text{m}$ analizados con el Medulómetro y 29.77 ± 0.28 y $30.00 \pm 0.26 \mu\text{m}$ analizados con el OFDA 100.

La diferencia entre las medias obtenidas de los resultados del Medulómetro y el OFDA 100 para el efecto raza fue de $3.84 \mu\text{m}$ para el Huacayo y $2.67 \mu\text{m}$ para el Suri. Para el efecto sexo la diferencia de medias fue $3.15 \mu\text{m}$ y $3.35 \mu\text{m}$ para machos y hembras respectivamente.

En el trabajo realizado por Quispe MD y Quispe EC en el 2018 reportan como prueba de funcionamiento del Medulómetro en promedio un diámetro de fibra medulada (medula continua) de $29.84 \mu\text{m}$ con una desviación estándar de $5.83 \mu\text{m}$ ³⁹.

Pinares en el 2018 reporta un Diámetro de Fibra Medulada (medula continua) de $28.04 \mu\text{m}$ analizada con el microscopio de proyección⁸⁹.

Figura Nro. 9: Diagramas de cajas de los promedios de la media del diámetro de fibra (DF), el porcentaje de medulación (PM) y el diámetro de fibra medulada (DFM), según raza y sexo utilizando el Medulómetro y el OFDA 100.



Fuente: Elaboración propia.

2. Comparación del porcentaje de medulación evaluado con el Medulómetro y el OFDA 100.

Cuadro 2: Resumen de datos estadísticos de la prueba de t-student pareada y prueba no paramétrica de Wilcoxon entre los porcentajes de medulación evaluadas con el OFDA 100 y el Medulómetro.

Estadísticos				Prueba paramétrica de t-Student pareada	Prueba no Paramétrica de Wilcoxon
Estadísticos	OFDA 100	Medulómetro	Promedio	Diferencia	
Número de observaciones	200	200	200	200	
Promedio (%)	9.816	28.712	19.26	18.90	
Desviación estándar (%)	8.61	19.42	13.56	12.95	
Error estándar	0.61	1.37	0.96	0.92	
Intervalo de la diferencia				[15.93 21.85]	[13.07 19.48]
t-valor de la diferencia/w-valor de la diferencia				12.58	7539.50
Significancia estadística de la diferencia				***	***

***= $p < 0.001$

Los resultados muestran una diferencia de 18.90%, entre ambos equipos utilizados, lo cual al análisis estadístico paramétrico resulta altamente significativo. Esta misma evidencia se encuentra cuando se realiza el análisis estadístico no paramétrico que muestra que el intervalo de la diferencia se encuentra entre 13.07 y 19.48, lo cual no involucra el cero. Por lo tanto, podemos decir que, cuando se evalúen muestras de fibra de alpaca para la variable del porcentaje de medulación (PM) con el OFDA 100 y el Medulómetro los resultados son diferentes.

Cuadro 3: Resumen de datos estadísticos de la Regresión funcional de media geométrica (RFMG) y regresión lineal simple (RLS) de las diferencias contra el promedio del porcentaje de medulación obtenidas con el Medulómetro y el OFDA 100.

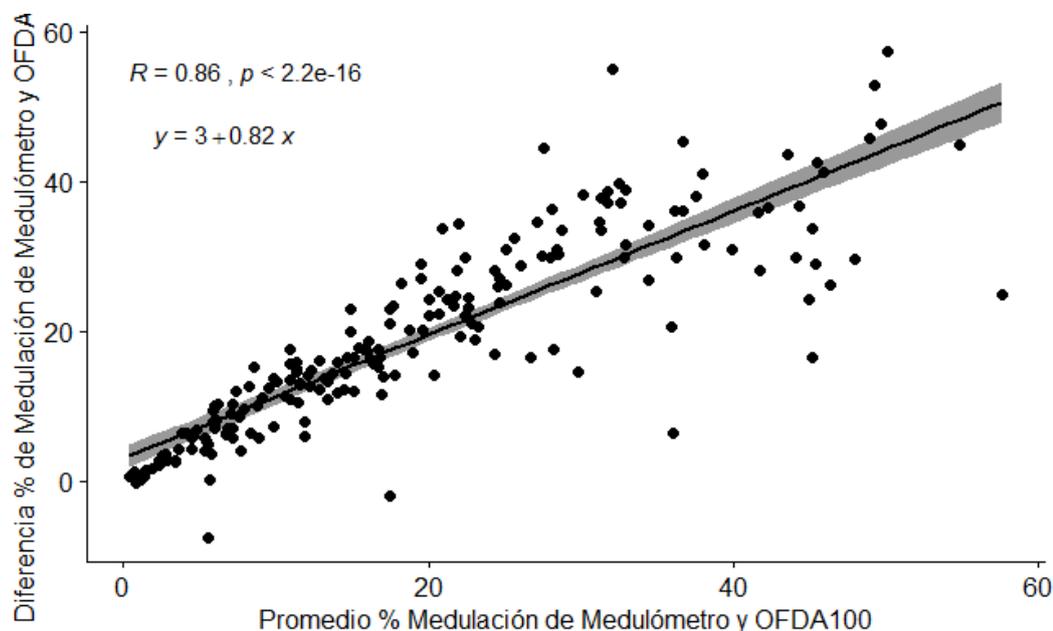
Estadístico		Tipo de regresión	
		Media Funcional Geométrica	Lineal de las diferencias contra el promedio
Intercepto estimado		-2.91	3.01
Error estándar del intercepto		0.57	0.81
Significancia del intercepto		***	***
Pendiente estimada		0.44	0.82
Error estándar de la pendiente		0.02	0.03
Significancia de la pendiente	t-valor	23.44	24.04
	Significancia	***	***
Significancia de la correlación	r-valor	0.85	0.86
	t-valor	22.50	24.04
	Significancia	***	***

***= $p < 0.001$

El t-valor para la pendiente de Regresión de la Media Funcional Geométrica del Porcentaje de Medulación (PM) es significativo al nivel del 0.1% ($p < 0.001$), se puede concluir que hay evidencia de un sesgo dependiente del nivel. Además, la correlación significativa para la regresión lineal de las diferencias versus el promedio agrega soporte a la evidencia de un sesgo dependiente del nivel del Porcentaje de Medulación (PM) medido con el Medulómetro y el OFDA 100.

Entonces, queda demostrado claramente que existe un sesgo dependiente del nivel, donde la medición de los 2 métodos (Medulómetro vs OFDA 100) son significativamente diferentes entre sí. Este resultado es evidenciado al observar la Figura 10, donde se observa que las mayores diferencias se encuentran cuando los porcentajes de medulación son mayores.

Figura Nro. 10: Regresión lineal simple (RLS) de las diferencias contra el promedio de porcentaje de medulación obtenidas con el Medulómetro y el OFDA 100. En la parte superior se muestra la ecuación de regresión y el coeficiente de correlación.



Fuente: Elaboración propia.

3. Correlación de las mediciones del porcentaje de medulación realizadas usando el equipo MEDULOMETRO y el OFDA 100.

Cuadro 4: Correlación de las mediciones realizadas del porcentaje de medulación (PM) utilizando el MEDULOMETRO y el OFDA 100.

	Correlación de Pearson	Correlación de Spearman	Correlación de Kendall
Estimación puntual	0.85	0.89	0.73
Intervalo de la correlación	[0.80 0.88]	-	-
t-valor/s-valor/tau-valor	22.50	142290	15.364
p-valor	2×10^{-6}	2×10^{-6}	2×10^{-6}
Significación	***	***	***

***= $p < 0.001$

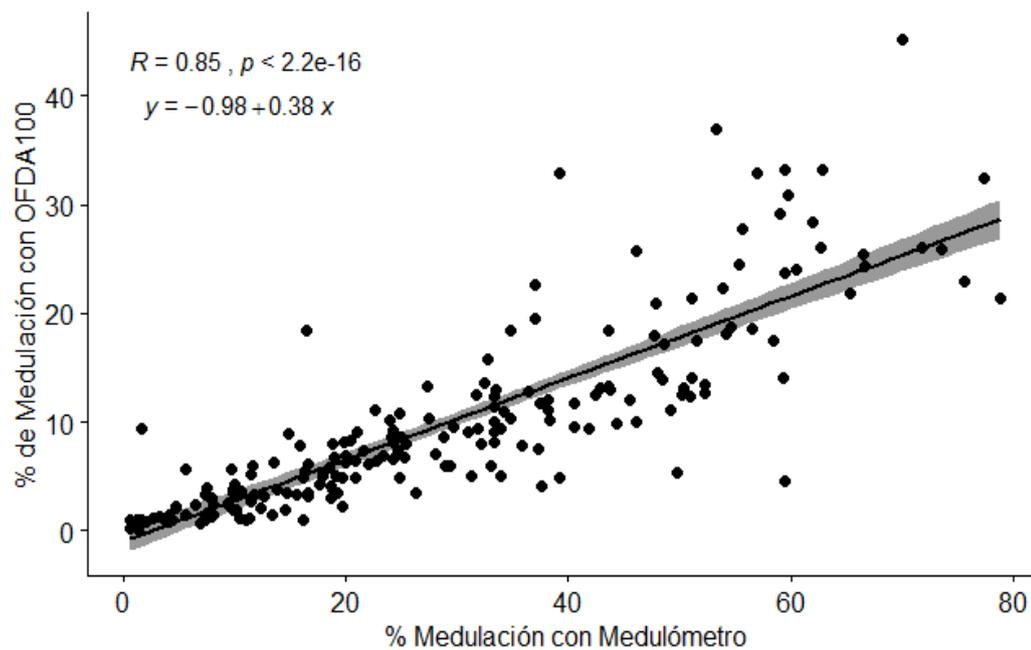
En el cuadro 4, se muestra el coeficiente de correlación de Pearson, Spearman y de Kendall entre las variables de Porcentaje de Medulación (PM) de las muestras de fibra de alpacas medidas con el Medulómetro y el OFDA 100.

Los resultados obtenidos por ambos equipos (Medulómetro y OFDA 100) referentes al porcentaje de medulación (PM) indican un alto grado de asociación positiva lo cual al análisis estadístico resulta altamente significativo. Sin embargo, tal como se indicó mediante el análisis del sesgo, y como ahora se evidencia en la Figura 11, el grado de asociación es más fuerte cuando los porcentajes de medulación son bajos (más o menos hasta 35% de medulación), sin embargo, cuando se tienen porcentajes de medulación más altos, el grado de asociación disminuye, observándose que a mayor de 35% de medulación los pares de coordenadas ploteados se encuentran más esparcidos.

Nuestros resultados de correlación resultan ser menores a los reportados por Lupton y Pfeiffer⁴² quienes compararon el Microscopio de Proyección y el OFDA 100 respecto al porcentaje de medulación en fibras de lana ($r > 0.95$), pero cuando trabajaron en fibras de mohair encontraron valores cercanos al nuestro (r varió entre 0.7 y 0.8).

Estos resultados (menores a lo encontrado por otros autores), se deberían a que el OFDA 100 es un equipo que mide la medulación en base al porcentaje de opacidad que ha sido calibrado en función a lanas de ovinos Merino⁵⁰ que tienen una tasa de medulación pequeña, mientras la fibra de alpacas ostenta una alta variabilidad del porcentaje de medulación. Asimismo, Pinares en el 2017 en su trabajo de investigación indica que el equipo OFDA 100, solamente mediría fibras con medulación continua y fuertemente medulada. Debido a la alta variabilidad del porcentaje de medulación en las fibras de alpaca, las estimaciones del OFDA 100 fueron poco correlacionadas con el porcentaje de medulación derivado del Microscopio de Proyección (0.56)³⁸.

Figura Nro. 11: Gráfico de dispersión del porcentaje de medulación (PM) de fibra de alpaca medidas usando el Medulómetro y el OFDA 100. En la parte superior se muestra la ecuación de regresión y el coeficiente de correlación.



Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

En base a los resultados a partir de los objetivos propuestos en el presente trabajo se llegó a las siguientes conclusiones:

1. Los promedios obtenidos para el diámetro de fibra (DF) y el diámetro de fibra medulada (DFM) de fibras de alpaca, según raza y sexo, utilizando el Medulómetro y el OFDA 100 tienen diferencias entre sí, sin embargo, estas no son significativas. Por tanto, para la evaluación del DF ambos instrumentos ofrecen similares resultados y pueden ser utilizados para fines comerciales, técnicos y de investigación.
2. Los resultados de la media y error estándar para el Porcentaje de Medulación, según raza fue de $30.16 \pm 1.95\%$ para la Huacaya y $27.26 \pm 1.93\%$ para el Suri analizados con el Medulómetro; y $10.94 \pm 0.92\%$ y $8.69 \pm 0.78\%$ para la Huacaya y Suri analizados con el OFDA 100; según sexo, en machos y hembras fue de $26.64 \pm 2.05\%$ y $30.79 \pm 1.82\%$ analizados con el Medulómetro y $8.78 \pm 0.85\%$ y $10.85 \pm 0.86\%$ analizados con el OFDA100, existiendo diferencia marcada entre los resultados de ambos equipos para esta variable.
3. Para las comparaciones del Porcentaje de Medulación medidas con el Medulómetro y el OFDA 100 se encontró diferencias altamente significativas ($p < 0.001$). Esto indica que los equipos arrojan valores muy diferentes, resultando ser el MEDULÓMETRO el equipo que más se acercaría al valor real de la tasa de medulación por utilizar una metodología directa y sus valores se encuentran dentro de los obtenidos por otros investigadores utilizando el microscopio de proyección.
4. El grado de relación o asociación entre el Porcentaje de Medulación obtenido con el Medulómetro y el Porcentaje de Medulación obtenido con el OFDA 100 tuvo un grado de asociación positiva de **0.85**, lo que nos indicaría que existe relación entre ambos equipos para esta variable, sin embargo, estos equipos aun dan valores muy diferentes según la prueba de regresión lineal de las diferencias contra el promedio ($p < 0.001$).

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que nos surgen a partir del presente estudio, son las siguientes:

1. Realizar otros trabajos de comparación entre el OFDA 100 y otro método directo (Microscopio de Proyección o Medulómetro), en fibras de llamas, vicuñas y guanacos.
2. Los fabricantes del OFDA 100 deberían calibrar en base a la opacidad obtenida en fibras de alpacas, para obtener valores más cercanos al real.
3. Se recomienda el uso del Medulómetro como método directo y objetivo de medición del diámetro de fibra y determinación del porcentaje de medulación en muestras de fibra de alpaca.
4. Encontrar tecnologías más sencillas y rápidas para determinar el porcentaje de medulación en fibras de alpacas y otros, para aperturar la posibilidad de uso práctico en la producción animal.

REFERENCIA

1. **Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).** IV Censo Nacional Agropecuario 2012 (IV CENAGRO).
2. **Wang X, Wang L, Liu X.** The Quality and Processing Performance of Alpaca Fibres: A report for the Rural Industries Research and Development Corporation. RIRDC Publication N° 03/128. Australia. 2003; p132.
3. **Cruz A, Morante R, Gutiérrez JP, Torres R, Burgos A, Cervantes I.** Genetic parameters for medullated fiber and its relationship with other productive traits in alpacas. *Animal*. 2018; in press.
4. **Kadwell M, Fernandez M, Stanley HF, Baldi R, Wheelerj C, Rosario R, Brufort MW** Genetic analysis reveals the wild ancestors of the llama and the alpaca. *Proc Biol Sci*. 2001; 268, 2575 - 2584.
5. **Von Bergen W.** Wool Handbook. Edit. wakpreting co. New York, U.S.A. 1967; p341.
6. **Carpio M.** La fibra de camélidos sudamericanos. Grafica Universidad Nacional Agraria la Molina - Perú. 1981; p359.
7. **Lira Eyzaguirre M.** Análisis científico de fibras arqueológicas. Universidad de Chile. 2000; 6, 49-57.
8. **Schmid Sarah.** The value chain of alpaca fiber in Perú, an economic analysis. fiber in, Institut für Agrarwirtschaft, ETH Zürich. 2006; p123.
9. **San Martin F. Howard, y Franco F. E. Febres.** Efecto del nivel alimenticio Sobre el rendimiento y calidad de fibra en alpacas. Edit. Sirivs Universidad Nacional Mayor de San Marcos Lima – Perú. 2007; p18.

10. **Rodríguez T.** Producción de fibra de camélidos, calidad de fibra de llama descordada y clasificada. Edit. Instituto de Investigaciones Agropecuarias Facultad de Agronomía, UMSA (Bolivia). 2006; p361 - 374.
11. **Bustinza V.** La alpaca, conocimiento del gran potencial andino. Edit. Univ. Nac. Del Altiplano, Puno, Perú. 2001; p113 - 126.
12. **Villarroel J.** Un estudio de la fibra de alpaca. Anales Científicos UNALM. 1963; 1(3): 246-274.
13. **Carpio M.** La fibra de camélidos. En C. Novoa y A. Flórez (Eds.), Producción de rumiantes menores: alpacas (pp. 295 - 356). RERUMEN. Lima. Perú. 1991.
14. **Czaplicki Z.** Properties and structure of polish alpaca wool. Fibres & Textiles in Eastern Europe. 2012; 20(90): 8-12.
15. **Balasingam A, Mahar TJ.** Status report on dark and medullated fibre testing of presale core samples and review of the detection threshold for contaminant medullation. International Wool Textile Organization. 2005; 4: p1-14.
16. **Frank EN, Hick MVH, Adot O.** Descriptive differential attributes of type of fleeces in Llama fiber and its textile consequence: 1 - Descriptive aspects. Journal of the Textile Institute. 2007; 98(3): p251-259.
17. **Hunter L, Smuts S, Botha AF.** Characterizing visually objectionable and non-objectionable medullated fibers in Mohair. Journal of Natural Fibers. 2013; 10(2): p112-135.
18. **Valbonesi A, Cristofanelli S, Pierdominici F, Gonzales M, Antonini M.** Comparison of Fiber and Cuticular Attributes of Alpaca and Llama Fleeces. Textile Research Journal. 2010; 80: 343-353.

19. **Holle SA.** Aspects of wool follicle morphology and cell proliferation in Romney sheep selected for high fleece production. Thesis of Ph.D in Veterinary Science at Massey University. 1992; p196.
20. **Frank EN.** Producción de fibra en camélidos sudamericanos. Avances en su procesamiento y mejoramiento genético. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. 2011; 19: p16-19.
21. **Sánchez AL, Urioste JI, Peñagaricano F, Neimaur K, Sienna I, Naya H, Kremer R.** Genetic parameters of objectionable fibers and of their associations with fleece traits in Corriedale sheep. Journal of Animal Science. 2016; 94: p13-20.
22. **Lupton CJ, Pfeiffer FA, Blakeman NE.** Medullation in Mohair. Small Ruminant Research. 1991; 5: 357-365.
23. **Scobie DR, Woods JL.** A review implicating a two compartment model for the processes of cell division and differentiation in the Wool Follicle. Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production. 1992; 52: 265-271.
24. **Wilson JF.** The medullated wool fiber. Hilgardia a Journal of Agricultural Science; 1929; 4(5): 135-152.
25. **Antonini M, Gonzales M, Valbonesi A.** Relationship between age and postnatal skin follicular development in three types of South American domestic camelids. Livestock Production Science. 2004; 90: 241-246.
26. **Antonini M.** Hair follicle characteristics and fiber production in South American Camelids. Animal. 2010; 4: 1460-1471.
27. **Gerken M.** Relationships between integumental characteristics and thermoregulation in South American camelids. Animal. 2010; 4(9): 1451-1459.

28. **Allain D, Renieri C.** Genetics of fibre production and fleece characteristics in small ruminants, Angora rabbit and South American camelids. *Animal*. 2010; 4(9): 1472-1481.
29. **Moore KE, Blache D, Maloney SK.** Fibre diameter and insulation in alpacas: The biophysical implications. *Small Ruminant Research*. 2011; 96: 165-172.
30. **Wang HM, Xin L, Wang X.** Internal structure and pigment granules in coloured alpaca fibers. *Fibers and Polymers*. 2005; 6: 263-268.
31. **Lupton CJ, McColl A, Stobart RH.** Fiber characteristics of the Huacaya Alpaca. *Small Ruminant Research*. 2006; 64: p211-224.
32. **Rodríguez T.** Producción de fibra de Camélidos, calidad de fibra de llama descerdada y clasificada. En A. Cardozo, *Camélidos* (pp. 361-374). Centro de Investigaciones en Forraje “La Violeta”. Cochabamba - Bolivia. 2007.
33. **Hunter L.** Mohair: a Review of its Properties, Processing and Applications. CSIR, South África. 1993. Disponible en:
researchspace.csisr.co.za/dspace/bitstream/10204/4733/1/Hunter%20L6_1993.pdf.
34. **Quispe JL.** Caracterización Fenotípica de Llamas del tipo T’amphulli Conservadas en Condición in situ en las Regiones de Quetena Grande Potosí y Calientes Cochabamba. [Tesis de Mg. Sc.]. Cochabamba: UMSS. Cochabamba, Bolivia. 2014; p105.
35. **Hack W, McGregor B, Ponzoni R, Judson G, Carmicheal I, Hubbard D.** Australian alpaca fibre: improving productivity and marketing. *Rural Industries Research and Development Corporation Research Paper Series No. 99/140*. 1999.
36. **Aylan-Parker J, McGregor BA.** Optimising sampling techniques and estimating sampling variance of fleece quality attributes in alpacas. *Small Ruminant Research*. 2002; 44: 53-64.

37. **Frank EN, Hick MVH, Prieto A, Castillo MF.** Metodología de identificación cualitativa y cuantitativa de fibras textiles naturales. SUPPRAD. Universidad Católica de Argentina. 2009.
38. **Pinares R.** Parámetros Genéticos para la medulación y el diámetro de fibra en alpacas (Vicugna pacos) Huacaya del fundo experimental Pacamarca. [Tesis Maestría]. Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina, Perú. 2017.
39. **Quispe MD, Quispe EC.** Innovaciones Tecnológicas Agropecuarias. Libro de Resúmenes del I Congreso Internacional de Innovaciones Tecnológicas Agropecuarias. Universidad Nacional Autónoma de Chota - Cajamarca. 2018; p30-34.
40. **International Wool Textile Organization.** IWTO-8: Fibre diameter distribution parameters and percentage of medullated fibres in wool and other animal fibres by the projection microscope. International Wool Textile Organization. Bruxelles, Belgium, 2011.
41. **Cameron H.** A Definitive Guide to Alpaca Fibre. Published by Selle Desing Group. Idaho 83864 USA; 2014.
42. **Lupton CJ, Pfeiffer FA.** Measurement of Medullation in Wool and Mohair using an Optical Fibre Diameter Analyser. Journal of Animal Science. 1998; 76: 1261-1266.
43. **Smith P, Crook BJ.** Isolated pigmented fibres in white alpaca mid-side samples. Proceedings of the Association Advancement of Animal Breeding and Genetics. 1999; 13: 464-467.
44. **Lee, J.A.** The measurement of opacity and medullation in wool using an optical fibre diameter analyser. MSc thesis, Lincoln University. 1999.
45. **Turpie DW, Steenkamp CH.** Objective Measurement of “Objectionable” Medullated Fibres in Commercial Mohair Tops using an optical fibre diameter analyser (OFDA) an introductory study. Report N° 1, presented to the IWTO Technical Committe, Harrogate (June 1995).

46. **Brims MA, Peterson AD.** Measuring Fibre Opacity and Medullation Using OFDA: Theory and Experimental Results on Mohair. IWTO Technical Committee Report N° 21, New Dehi. 1994.
47. **Zoccola M.** Fibras proteicas: Pelos finos (camélidos y cabra). Identificación, caracterización, clasificación y acondicionamiento. Proyecto mejora de las economías regionales y desarrollo local. Cuaderno tecnológico n° 14. Natioanal Research Council, Institute for Macromolecular Studies, Biella – Italy. 2014.
48. **Lappage J., Bedford J.** The WRONZ Medullameter, WRONZ Report No.107, WRONZ, Christchurch. 1983.
49. **Baxter BP.** Raw-wool Metrology: Recent dvelopments and Future directions. SGS Wool Testing Services, Wellington, New Zealand. Proceedings Wool Industry Science and Technology Conference, 2002.
50. **Balasingam A.** The Definitions of Medullation Threshold Values used by Different Testing Methods to Define an Objectionable Medullated Fibre in Merino Wool. AWTA. Australia. 2005
51. **Rui-wen F, Chang-sheng D, Jun-zhen Z, Xiao-yan H, Jun-ping H, Yu-hong R, Rui B.** A Study on the Structure and Characteristics of the alpaca (lama pacos) fibre. 2008. Act. Laser Biol. Sinic., 17(2): 224-228.
52. **Quispe EC, Poma A, Purroy A.** Características productivas y textiles de la fibra de alpacas de raza Huacaya. Revista Complutense de Ciencias Veterinarias. 2013; 7: 1-29.
53. **Contreras A.** Estructura cuticular y características físicas de la fibra de alpaca Huacaya (*Vicugna pacos*) de color blanco en la Región de Huancavelica. [Tesis Ing. Zoot.]. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica, Perú. 2009; 90 p.
54. **Martínez Z, Iñiguez LC, Rodríguez T.** Influence of effects on quality traits and relationships between traits of the llama fleece. Small Ruminant Research. 1997; 24: 203-212.

55. **Sierra I, Neimaur K, Kremer R, Urioste JI.** Medullated fibers and fleece characteristics in Corriedale hoggets from two flocks in Uruguay. *Animal Production Science*. 2011; 51(11): 1034-1038.
56. **Allain D, Roguet JM.** Genetic and non-genetic variability of OFDA medullated fibre contents and other fleece traits in the French Angora goats. *Small Ruminant Research*. 2006; 65:217-222.
57. **McGregor BA, Butler KL, Ferguson MB.** The relationship of the incidence of medullated fibres to the dimensional properties of Mohair over the lifetime of Angora goats. *Small Ruminant Research*. 2013; 115: 40-50.
58. **Iñiguez LC, Alem R, Wauer A, Mueller J.** Fleece types, fiber characteristics and production system of an outstanding llama population from Southern Bolivia. *Small Ruminant Research*. 1998; 30: 57-65.
59. **McGregor BA.** Production attributes and relative value of alpaca fleeces in southern Australia and implications for industry development. *Small Ruminant Research*. 2006; 61: 93-111.
60. **Quispe EC.** Estimación del progreso genético de seis esquemas de selección en alpacas (*Vicugna pacos* L.) Huacaya con tres modelos de evaluación en la región altoandina de Huancavelica. [Tesis de Ph.D.]. Lima: Univ. Nac. Agraria La Molina, Lima, Perú. 2010; 144 p.
61. **Frank EN, Hick MVH, Gauna C, Lamas H, Reniere C, Antonini M.** Phenotypic and genetic description of fiber traits in South American domestic camelids (llamas and alpacas). *Small Ruminant Research*. 2006; 61: 113-129.
62. **Paredes MM.** Caracterización fenotípica y molecular de poblaciones de alpacas (*Vicugna pacos*) de las comunidades alto andinas y aplicación al programa de mejora de calidad de la fibra. [Tesis Doctoral]. Cordova: Universidad de Córdoba, España. 2012; 139 p.

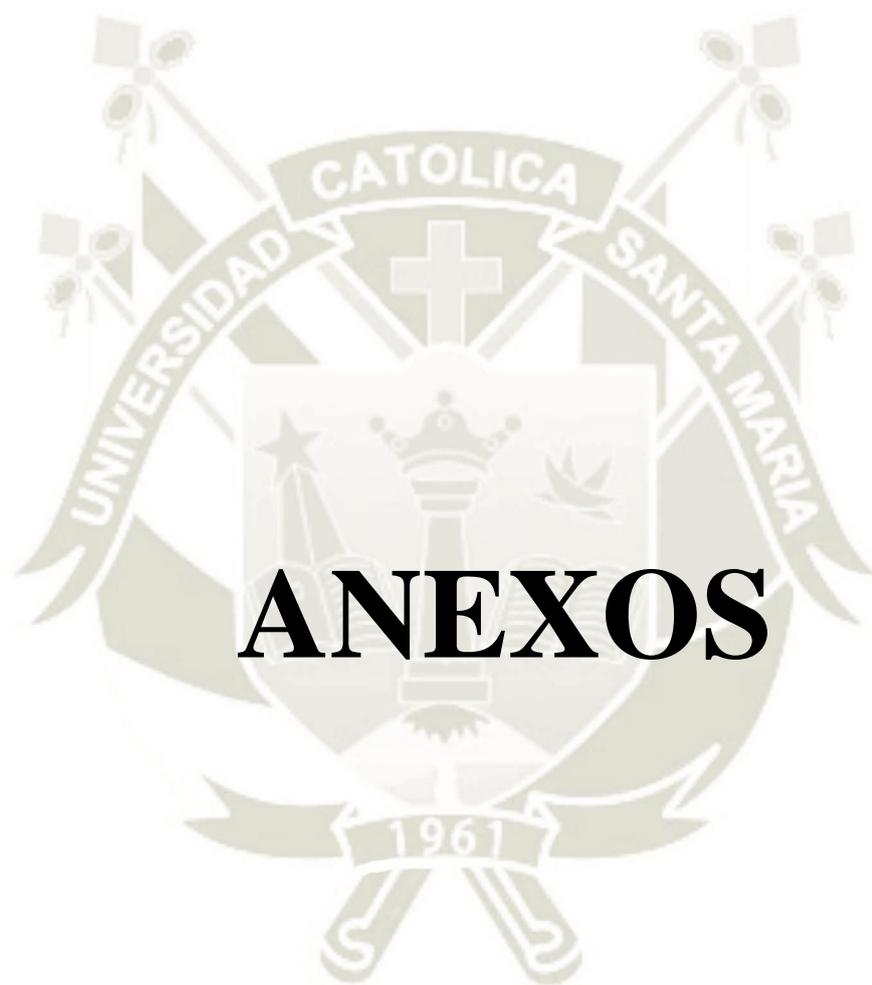
63. **Newman S-AN, Paterson DJ.** Variation in fleece characteristics over the body of alpacas. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production.* 1996; 56: 338-341.
64. **Gutiérrez JP, Goyache F, Burgos A, Cervantes I.** Genetic analysis of six production traits in Peruvian alpacas. *Livestock Science.* 2009; 123: 193-197.
65. **Cruz LA.** Estimación de parámetros genéticos para caracteres productivos en alpacas (*Vicugna pacos*). [Tesis de Maestría]. Madrid: Universidad Complutense de Madrid, España. 2011; p53.
66. **Ponzoni RW, Hubbard DJ, Kenyon RV, Tuckwell CD, McGregor BA, Howse A, Carmichael I, Judson GJ.** The inheritance of and association among some production traits in young Australian alpacas. *Proceedings of the Association Advancement of Animal Breeding and Genetics.* 1999; 13: 468-471.
67. **González H, León C, Rosadío R, García W, Gavidia C.** Evaluación de un método numérico de medición del diámetro de la fibra de alpaca. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú.* 2008; 1: 1-8.
68. **Cervantes I, Pérez-Cabal MA, Morante R, Burgos A, Salgado C, Nieto B, Goyache F, Gutiérrez JP.** Genetic parameters and relationships between fibre and type traits in two breeds of Peruvian alpacas. *Small Ruminant Research.* 2010; 88: 6-11.
69. **Vásquez RA, Gómez OE, Quispe EC.** Características Tecnológicas de la Fibra Blanca de Alpaca Huacaya en la Zona Altoandina de Apurímac. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú.* 2015; 26(2): 213-222.
70. **Montes M, Quicaño I, Quispe R, Quispe EC, Alfonso L.** Quality characteristics of Huacaya Alpaca fibre produced in the Peruvian Andean Plateau region of Huancavelica. *Spanish Journal of Agricultural Research.* 2008; 6(1): 33-38.
71. **Candío JR.** Caracterización de la fibra del plantel de alpacas de la SAIS Pachacutec Junín. [Tesis de Ing. Zoot.]. Lima: UNALM, Perú. 2011; p69.

- 72. McGregor, B.** Alpaca fleece development and methods of assessing fibre quality. A reprint of the given at Cria to Creation, The Association's. 1995. International Industry Seminar, In: Alpacas Australia, ISSUE N° 13.
- 73. McLennan N, Lewer R.** Wool Production Coefficient of Variation of Fiber Diameter (CVFD). Department of Employment, Economic Development and Innovation, The State of Queensland. 2005.
- 74. Manso C.** Determinación de la calidad de fibra de alpaca en Huancavelica: validación de los métodos de muestreo y valoración. [Tesis de Ing. Agro]. Navarra: UPNA, 2011; 121p.
- 75. Fernández E, Maquera Z.** Diámetro de fibra e índice de picazón y confort en alpacas hembras de raza suri en puna húmeda. Revista ALLPAK'A del Instituto de Investigación y Promoción de Camélidos Sudamericanos. 2012; 16: 59-67.
- 76. Sacchero DM.** Utilización de medidas objetivas en fibras textiles para determinar calidad. En EC. Quispe (Ed.), Biotecnología aplicada en camélidos sudamericanos (pp. 37-58). Huancavelica: Edición Gráfica Industrial E.I.R.L. Huancayo - Perú. 2008.
- 77. Stoffberg MS, Hunter L, Botha A.** The effect of fabric structural parameters and fiber type on the comfort-related properties of commercial apparel fabrics. Journal of Natural Fibers. 2015; 12: 505-517.
- 78. Frank EN, Hick MVH, Molina M, Prieto A, Castillo M.** Correlaciones genéticas, fenotípicas y heredabilidades de los componentes del diámetro de la fibra en llamas. Conferencia presentada en el XXXI Congreso Argentino de Producción Animal. San Luis, Argentina. 2008.
- 79. Frank EN, Hick MVH, Castillo MF, Prieto A, Adot OG.** Fibre-Based Components Determining Handle and Skin Comfort in Fabrics Made from Dehaired and Non Dehaired Llama Fibre. International Journal of Applied Science and Technology. 2014; 4(3): 51-66.

- 80. Garnsworthy RK, Gully RL, Kandiah RP, Kenins P, Mayfield RJ, Westerman RA.** Understanding the Causes of Prickle and Itch from Skin Contact of Fabrics, *Australasian Textiles*. 1988; 8(4): 26-29.
- 81. Sachero D.** Utilización de medidas objetivas para determinar la calidad de lanas. En: *Memorias del VII Curso: Actualización en Producción Ovinas*. Bariloche, Argentina. 2005; 207-221.
- 82. International Wool Textile Organisation (IWTO). IWTO-57:** Determination of medullated fibre content of wool and Mohair samples by opacity measurement using an OFDA. International Wool Textile Organisation. Brussels, Belgium, 2010.
- 83. International Wool Textile Organization (IWTO). IWTO-52:** Conditioning of procedures for testing textiles. In *Red Book Specifications*. 2006; p. 35.
- 84. Hardy JE.** A practical laboratory method of making thin crossection of fibers. United State. Department Agriculture. 1933; N° 378.
- 85. IWTO-0, APENDICE B.** Presentation of supporting technical data. Copyright © in this edition International Wool Textile Organisation. All rights reserved. 2002.
- 86. Solis R.H.** Tecnología de lanas y fibras animales especiales. Primera edición. Facultad de Ciencias Agropecuarias UNDAC. Cerro de Pasco – Perú. 1991.
- 87. Morante R, Goyache F, Burgos A, Cervantes I, Pérez-Cabal MA, Gutiérrez JP.** Genetic improvement for alpaca fiber production in the Peruvian Altiplano: The Pacamarca experience. *Animal Genetic Resources Information*. 2009; 45: 37-43.
- 88. Quispe EC, Alfonso L, Flores A, Guillén H, Ramos Y.** Bases to an improvement program of the alpacas in highland region at Huancavelica-Perú. *Archivos de Zootecnia*. 2009; 58(224): 705-716.

- 89. Pinares R, Gustavo A, Cruz A, Morante R, Cervantes I, Burgos A, Gutiérrez JP.** Heritability of individual fiber medullation in Peruvian alpacas, Small Ruminant Research. 2018; 165 (2018): 93–100, UNALM Lima (Perú).
- 90. Hornik Fibertech.** OFDA 100 Reference Manual (versión 2.10). Switzerland; 1997.
- 91. Pinares R, Cruz A, Morante R, Cervantes I, Burgos A, Gutiérrez G, Gutiérrez JP.** Heredabilidad estimada de fibras meduladas en alpaca huacaya. Advances in Fibre Production Science in South American Camelids and other Fibre Animals. Published in 2019 by Universitasts Verlag Gottingen.

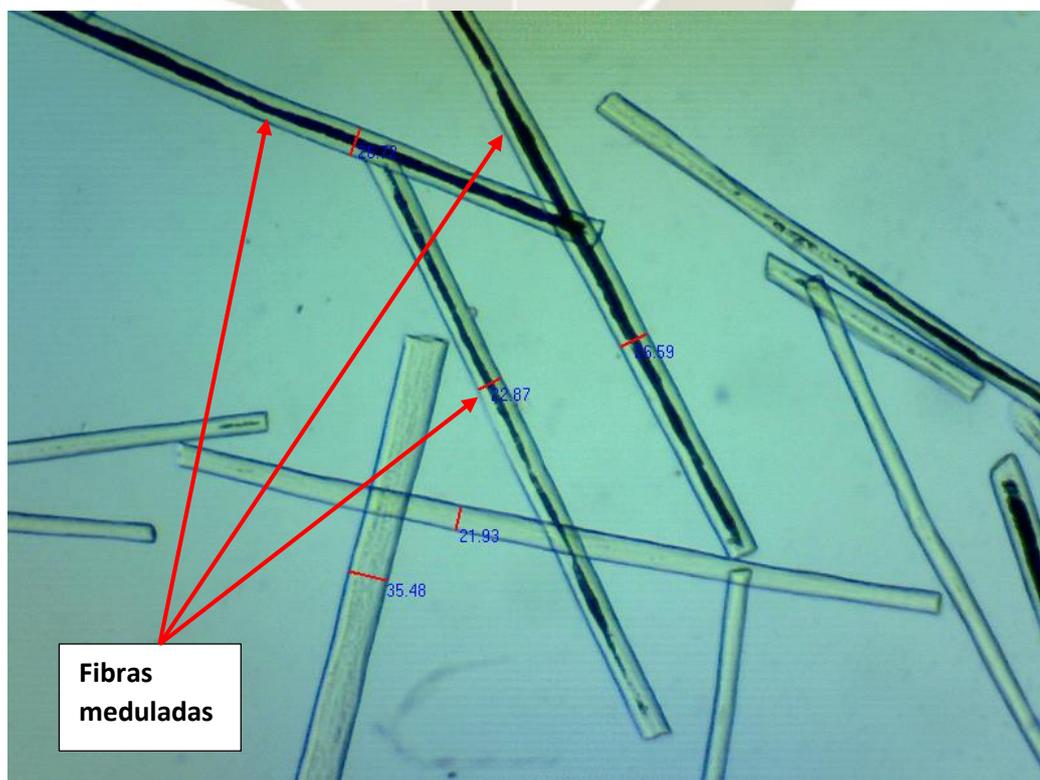
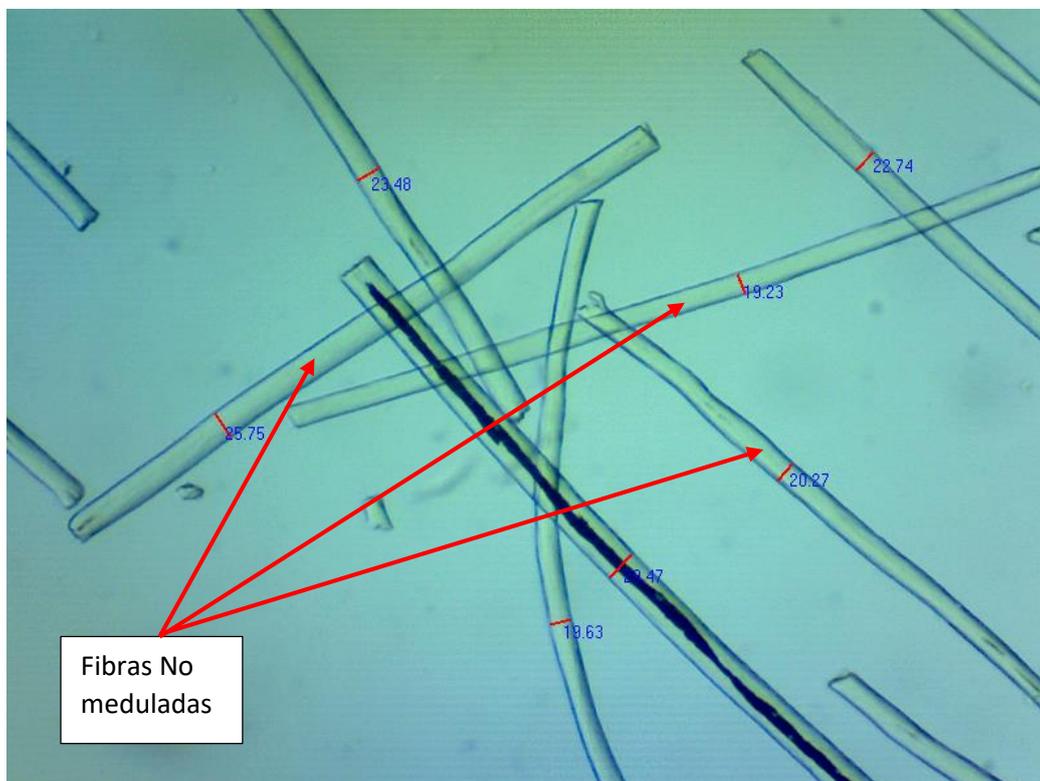




ANEXOS

ANEXO 1

Fotografías microscópicas de fibra de alpaca (Vicugna pacos): Fibras no meduladas y meduladas



ANEXO 2

Reporte detallado de los resultados del análisis de fibra según lectura del equipo Medulómetro.

#	ARETE	RAZA	SEXO	DF (μm)	DS (μm)	PM (%)	DFM (μm)	DSDFM (μm)
1	003-15	HU	H	20.71	6.03	28.00	28.02	5.20
2	009-16M	HU	M	19.02	4.62	39.17	22.12	4.75
3	013-13	HU	H	19.19	4.49	22.67	25.13	4.55
4	013-16M	HU	M	20.13	4.66	7.33	30.70	4.53
5	014-12M	HU	M	20.27	6.89	33.33	24.49	4.04
6	020-18	HU	H	16.77	5.18	24.33	24.28	3.73
7	021-18	HU	H	16.96	5.08	16.50	24.07	4.29
8	023-14M	HU	M	22.74	6.65	55.67	27.23	4.74
9	028-18	SU	H	18.30	4.15	15.67	25.33	3.05
10	033-16M	HU	M	19.72	5.08	18.67	27.78	3.47
11	034-13M	HU	M	20.94	5.53	65.33	23.91	3.50
12	034-14	SU	H	22.58	4.79	17.67	29.22	3.82
13	037-15M	HU	M	20.29	5.08	21.00	26.23	4.28
14	038-14	HU	H	18.89	6.34	18.83	26.93	4.34
15	039-14M	HU	M	26.83	8.31	34.83	29.00	4.42
16	041-15M	SU	M	23.52	5.56	24.67	27.19	3.71
17	050-17M	SU	M	23.14	5.47	52.33	24.76	2.84
18	052-16	HU	H	18.27	4.96	19.17	24.61	4.63
19	053-17M	HU	M	18.03	5.71	18.00	27.38	5.17
20	053-18M	HU	M	16.72	4.20	4.17	27.98	6.02
21	054-17	HU	H	19.67	5.44	37.33	24.75	4.78
22	057-15M	HU	M	20.59	6.35	20.83	30.64	4.63
23	057-16M	HU	M	19.01	5.07	31.33	25.09	4.38
24	061-12	SU	H	25.68	6.97	49.83	30.13	4.60
25	065-16M	HU	M	18.39	4.78	24.50	25.07	4.15
26	066-14	HU	H	23.34	6.48	47.67	27.96	5.16
27	066-15	HU	H	19.07	6.19	24.00	26.87	5.31
28	070-18	SU	H	17.49	4.58	9.83	25.90	3.27
29	071-17	HU	H	19.52	6.57	25.50	28.75	5.76
30	073-17	SU	H	21.07	5.40	33.33	25.43	4.52
31	074-18	HU	H	19.94	6.27	33.33	26.50	5.79
32	075-17M	SU	M	20.60	4.99	12.33	29.06	3.94
33	076-12	HU	H	24.26	4.50	75.67	25.85	3.79
34	081-17M	HU	M	17.77	5.53	23.33	25.93	5.74
35	082-17	SU	H	20.43	5.61	46.17	24.34	4.18
36	086-18	HU	H	15.47	5.26	14.67	25.34	4.58

37	088-17	SU	H	22.15	5.90	9.50	27.87	7.81
38	089-17	HU	H	19.66	6.00	20.50	27.22	3.91
39	095-18	SU	H	18.76	4.35	0.67	25.53	4.53
40	097-14M	HU	M	25.86	7.67	33.50	28.21	3.59
41	099-12M	HU	M	18.83	6.15	27.50	25.03	3.43
42	099-13M	HU	M	21.28	5.31	56.50	24.27	3.10
43	102-18	SU	H	19.22	6.43	21.67	27.78	4.42
44	107-18M	SU	M	19.32	4.88	13.83	26.33	4.74
45	118-15M	HU	M	23.20	6.62	59.50	26.26	4.64
46	123-17	SU	H	22.51	4.61	48.67	25.19	2.89
47	125-14M	SU	M	23.22	5.89	11.67	31.24	4.69
48	125-16	SU	H	19.69	5.91	31.83	25.96	4.06
49	128-18M	HU	M	16.37	5.02	8.17	29.36	7.24
50	129-17M	SU	M	23.12	7.45	46.17	24.54	3.19
51	132-15M	HU	M	25.02	5.49	66.67	27.62	4.50
52	133-16M	SU	M	25.84	7.91	1.33	26.58	3.10
53	134-18	SU	H	18.28	6.24	9.83	33.51	6.82
54	136-17M	HU	M	16.61	5.25	20.00	25.47	5.19
55	137-13M	SU	M	28.95	6.53	59.50	29.94	4.46
56	137-18	SU	H	19.97	4.75	5.67	29.91	3.41
57	138-15	HU	H	19.58	5.69	24.50	27.64	4.59
58	139-17	HU	H	18.49	4.82	15.83	27.67	3.97
59	140-18	SU	H	21.00	5.35	59.00	23.16	3.95
60	141-10	SU	H	21.19	4.15	4.67	31.80	3.22
61	144-17	SU	H	20.65	5.84	18.00	30.06	4.29
62	145-13M	SU	M	24.35	6.22	18.50	31.48	4.97
63	147-17M	SU	M	24.22	5.09	59.83	25.18	3.54
64	150-16M	HU	M	24.90	6.30	51.17	29.87	4.39
65	153-10	SU	H	24.89	5.44	71.83	27.31	3.98
66	158-13M	SU	M	19.54	5.66	4.17	33.79	7.10
67	161-15	HU	H	24.92	7.94	59.50	29.06	5.87
68	171-17M	HU	M	16.76	3.73	12.67	23.49	2.83
69	182-17M	HU	M	16.79	3.59	4.50	28.98	5.86
70	184-15M	HU	M	24.78	6.44	52.33	29.70	4.57
71	187-15	SU	H	20.76	5.10	9.67	25.79	3.79
72	194-17	HU	H	20.64	6.16	34.83	26.39	3.77
73	211-16	HU	H	22.97	7.41	39.17	25.08	3.23
74	211-18	SU	H	20.82	6.69	37.00	23.95	4.67
75	221-18M	SU	M	17.22	5.36	10.33	27.40	5.59
76	223-16	HU	H	19.39	5.21	22.83	25.01	3.37
77	224-16	HU	H	23.48	8.17	47.83	24.41	2.48
78	230-13	HU	H	18.05	5.09	16.67	26.38	5.13
79	232-15	SU	H	19.27	5.06	18.67	24.20	3.71
80	241-15M	SU	M	26.83	4.33	66.50	26.34	2.80
81	243-18M	HU	M	18.01	4.58	2.67	25.47	5.45

82	244-15M	SU	M	23.56	5.82	50.33	26.79	4.12
83	244-17M	SU	M	20.69	4.74	7.50	25.99	3.99
84	247-10M	SU	M	22.91	6.40	40.50	26.74	4.59
85	249-17	HU	H	19.07	4.26	8.00	29.36	3.61
86	254-15M	HU	M	23.83	5.06	73.50	24.98	3.13
87	256-13	SU	H	22.76	6.65	11.50	25.65	3.10
88	256-17	SU	H	21.03	5.89	16.67	26.15	3.33
89	258-17M	SU	M	20.73	4.56	10.67	28.32	3.13
90	263-15	HU	H	18.65	4.83	20.83	25.50	4.93
91	264-13	HU	H	22.69	6.39	45.50	25.60	4.73
92	265-17	SU	H	19.43	5.35	9.50	29.70	3.43
93	268-18	SU	H	18.31	5.46	31.00	24.11	3.78
94	269-18M	HU	M	18.46	4.28	2.67	28.18	4.70
95	275-17	SU	H	21.14	5.21	32.83	24.23	2.73
96	281-18M	HU	M	16.62	5.53	5.67	34.88	8.06
97	288-18M	SU	M	19.81	6.07	25.33	21.99	2.78
98	291-17	HU	H	19.02	5.89	34.17	25.77	3.76
99	292-12M	SU	M	23.36	5.81	59.33	26.76	4.01
100	292-13M	HU	M	21.59	5.65	19.67	30.73	4.08
101	297-18M	SU	M	20.79	5.99	41.83	25.70	4.63
102	302-14M	HU	M	23.29	7.18	53.33	26.19	4.03
103	305-15M	HU	M	25.67	6.80	51.00	28.17	3.99
104	308-13M	SU	M	28.45	6.19	43.67	26.82	4.27
105	309-16	HU	H	22.23	5.53	24.33	28.88	5.43
106	315-14	HU	H	17.96	4.66	9.83	28.05	5.21
107	315-18	SU	H	18.29	5.35	18.83	20.80	3.00
108	316-16M	HU	M	19.85	4.47	11.83	28.86	3.43
109	320-12	SU	H	25.75	7.96	62.67	27.64	5.16
110	320-16M	SU	M	20.10	6.16	6.50	32.78	4.13
111	320-18M	HU	M	17.50	5.04	28.83	23.84	3.18
112	325-17M	SU	M	22.28	5.56	42.85	25.01	4.05
113	331-14	HU	H	27.11	6.27	58.50	30.46	4.92
114	331-18	SU	H	18.96	6.05	34.00	24.48	5.35
115	336-17	SU	H	23.51	6.71	50.17	24.92	4.05
116	338-17M	SU	M	23.30	6.63	43.67	25.27	3.01
117	339-15	SU	H	23.86	5.95	62.83	26.17	4.06
118	341-13	SU	H	21.72	5.55	40.50	25.19	2.96
119	344-17M	HU	M	19.67	5.35	24.83	26.89	4.45
120	344-18M	HU	M	14.43	3.71	14.50	20.97	4.49
121	345-18	HU	H	16.55	5.30	3.33	32.11	7.77
122	347-13M	SU	M	26.88	6.40	10.17	27.69	3.57
123	347-18	SU	H	18.55	5.38	22.00	25.90	4.46
124	349-15	HU	H	22.64	5.99	54.67	26.79	4.28
125	349-18M	SU	M	18.43	4.39	33.33	22.43	2.42
126	351-16	HU	H	22.10	5.06	29.67	27.85	4.23

127	353-17M	SU	M	18.78	4.11	9.83	25.62	6.75
128	353-18M	SU	M	17.60	4.94	24.33	23.12	3.79
129	358-13	HU	H	23.20	7.61	43.83	26.74	4.43
130	363-15	HU	H	22.97	5.99	37.50	29.13	4.80
131	366-17	HU	H	17.19	4.29	16.67	24.97	3.65
132	368-18M	SU	M	18.31	5.48	7.00	23.97	2.29
133	369-15M	HU	M	27.74	5.35	78.83	28.96	3.93
134	369-16M	SU	M	22.64	5.21	11.00	30.54	4.52
135	370-13M	HU	M	21.61	5.62	27.33	29.08	4.84
136	370-16	HU	H	24.35	6.96	62.00	26.08	4.77
137	371-16M	HU	M	14.92	3.80	4.67	25.80	4.48
138	375-18	HU	H	16.12	5.13	25.00	23.59	4.19
139	377-18M	SU	M	18.59	4.90	7.50	24.62	2.81
140	384-15C	HU	H	19.50	5.96	32.50	24.27	3.57
141	387-18	SU	H	18.53	5.94	34.00	25.25	5.19
142	397-17	SU	H	21.40	5.28	10.50	31.15	6.25
143	405-16	HU	H	22.20	5.61	57.00	26.01	3.84
144	405-18M	HU	M	15.46	4.46	8.00	26.00	5.51
145	406-18	HU	H	17.46	5.45	8.17	27.43	5.75
146	412-18	HU	H	17.09	4.32	14.83	24.75	3.14
147	417-16M	HU	M	15.42	4.47	19.00	23.05	3.39
148	418-13M	SU	M	24.26	6.69	38.17	27.58	4.63
149	418-18M	SU	M	18.44	5.97	11.50	22.92	4.28
150	424-18	SU	H	19.04	6.84	44.33	25.21	4.42
151	426-16	SU	H	17.03	5.52	10.00	30.90	6.32
152	426-17	SU	H	24.11	5.08	54.17	25.85	3.15
153	431-13	HU	H	23.90	6.26	60.50	26.87	4.46
154	433-17M	HU	M	20.07	5.80	36.50	26.59	4.20
155	433-18M	SU	M	18.25	4.74	16.17	25.85	4.38
156	435-17M	SU	M	20.72	5.20	51.50	24.08	3.33
157	438-18	SU	H	17.09	3.89	11.33	24.40	3.92
158	444-17	HU	H	19.92	6.19	35.83	23.19	3.78
159	457-13M	HU	M	22.45	5.83	20.00	30.69	5.95
160	463-18	HU	H	16.19	4.77	7.33	30.41	6.48
161	466-18	HU	H	16.20	6.40	8.00	34.01	9.08
162	470-18	SU	H	16.73	3.97	26.33	21.87	3.12
163	488-13	SU	H	22.21	5.18	33.00	27.44	4.18
164	488-18	SU	H	19.71	5.62	32.17	25.05	4.24
165	489-17M	SU	M	20.75	6.57	29.00	29.57	4.05
166	490-17M	HU	M	16.12	4.50	16.17	24.60	3.86
167	492-18M	SU	M	19.14	4.30	2.17	25.56	3.74
168	497-16	HU	H	21.90	5.25	38.17	27.26	3.57
169	501-13	HU	H	22.25	5.32	42.50	26.78	4.05
170	501-16M	HU	M	18.41	3.64	19.67	23.49	2.75
171	501-17M	SU	M	20.39	6.17	13.50	31.26	6.55

172	508-12	HU	H	25.71	7.36	77.33	25.90	4.40
173	511-13M	HU	M	21.00	6.31	31.67	27.06	4.32
174	512-13	SU	H	19.82	6.92	37.00	27.18	5.03
175	515-17M	HU	M	21.65	5.68	70.00	21.94	2.20
176	516-16	SU	H	21.94	7.15	38.33	28.99	5.68
177	516-18M	SU	M	14.83	4.19	1.67	27.22	5.76
178	523-18M	HU	M	16.69	6.45	16.33	23.71	5.06
179	531-18M	SU	M	18.61	5.82	13.33	23.44	3.50
180	538-13	SU	H	23.88	5.37	37.67	28.16	3.96
181	541-18M	SU	M	19.38	4.74	1.67	23.71	3.45
182	548-18M	SU	M	19.48	6.02	53.83	21.96	4.25
183	550-17	SU	H	21.38	5.28	51.17	24.04	3.62
184	554-17M	SU	M	19.46	3.21	2.00	27.14	4.25
185	559-17	HU	H	16.68	4.80	19.83	24.45	4.16
186	566-18M	SU	M	19.51	4.61	7.33	27.03	3.40
187	585-10M	SU	M	21.31	6.18	33.33	28.22	4.62
188	589-17M	SU	M	21.18	3.92	1.67	28.32	3.87
189	590-16	HU	H	18.46	6.74	19.33	30.11	5.86
190	591-17	SU	H	23.93	5.75	48.00	27.23	4.17
191	593-17	SU	H	23.55	5.65	49.17	26.67	4.30
192	596-18M	SU	M	17.69	4.13	1.33	23.48	1.54
193	598-16M	SU	M	21.78	5.10	48.50	25.63	4.30
194	601-18	SU	H	16.89	4.06	0.67	21.67	1.31
195	602-13	SU	H	24.04	6.23	55.33	27.29	4.78
196	603-18M	SU	M	17.09	4.13	3.67	26.60	3.56
197	606-16	SU	H	20.83	7.37	29.33	29.10	3.80
198	611-18M	HU	M	17.03	4.72	1.17	25.19	3.60
199	642-17M	HU	M	17.08	5.82	24.17	23.04	3.72
200	MP-2627M	SU	M	21.84	5.38	24.83	28.74	4.54

DF: Diámetro de fibra; **DS:** Desviación estándar; **PM:** Porcentaje de Medulación;

DFM: Diámetro de fibra medulada; **DSDFM:** Desviación estándar del diámetro de fibra medulada.

ANEXO 3

Reporte detallado de los resultados del análisis de fibra según lectura del OFDA 100.

#	ARETE	RAZA	SEXO	DF (μm)	DS (μm)	PM (%)	DFM (μm)	DSDFM (μm)
1	003-15	HU	H	22.43	5.02	7.03	31.50	5.60
2	009-16M	HU	M	21.41	5.08	4.88	31.90	5.90
3	013-13	HU	H	22.89	5.48	11.15	32.80	5.30
4	013-16M	HU	M	21.73	4.72	3.33	31.60	5.50
5	014-12M	HU	M	22.14	6.85	12.40	27.60	7.70
6	020-18	HU	H	17.80	4.82	9.18	27.40	3.90
7	021-18	HU	H	19.75	5.56	18.43	27.90	5.20
8	023-14M	HU	M	24.80	6.23	27.70	31.50	5.30
9	028-18	SU	H	19.81	5.41	3.40	29.10	4.60
10	033-16M	HU	M	20.91	4.99	3.08	31.20	5.40
11	034-13M	HU	M	21.44	5.10	21.88	26.90	4.10
12	034-14	SU	H	24.38	5.19	4.22	33.30	5.30
13	037-15M	HU	M	22.54	5.15	9.10	30.90	4.80
14	038-14	HU	H	22.39	6.15	7.97	30.90	6.10
15	039-14M	HU	M	27.31	6.22	18.48	33.50	5.00
16	041-15M	SU	M	23.48	5.89	7.33	29.50	4.60
17	050-17M	SU	M	23.02	6.05	13.50	26.70	5.00
18	052-16	HU	H	20.34	4.45	5.00	29.50	4.40
19	053-17M	HU	M	19.88	5.60	5.03	31.70	10.40
20	053-18M	HU	M	17.70	4.63	0.90	34.10	7.60
21	054-17	HU	H	21.38	4.75	7.55	29.00	5.70
22	057-15M	HU	M	22.43	5.66	4.83	34.40	5.20
23	057-16M	HU	M	20.96	4.59	5.08	29.30	4.30
24	061-12	SU	H	22.92	6.59	5.33	31.50	7.10
25	065-16M	HU	M	20.55	4.49	8.80	28.10	4.50
26	066-14	HU	H	25.52	5.86	17.98	33.10	5.70
27	066-15	HU	H	21.50	4.88	10.10	28.70	6.10
28	070-18	SU	H	18.37	5.55	3.75	29.00	5.40
29	071-17	HU	H	21.17	5.36	7.92	31.60	5.60
30	073-17	SU	H	22.30	6.00	11.38	30.30	6.30
31	074-18	HU	H	21.33	5.79	8.10	32.00	5.80
32	075-17M	SU	M	20.85	5.37	2.02	32.30	8.00
33	076-12	HU	H	25.94	4.51	22.88	30.20	4.70
34	081-17M	HU	M	18.05	4.82	6.85	27.50	5.50
35	082-17	SU	H	23.65	5.94	25.73	28.30	5.00
36	086-18	HU	H	17.04	5.12	3.55	29.90	8.20
37	088-17	SU	H	23.28	6.38	2.38	31.10	9.50

38	089-17	HU	H	22.72	6.03	8.38	32.90	5.30
39	095-18	SU	H	19.31	4.73	0.93	29.50	10.20
40	097-14M	HU	M	27.05	5.66	12.97	33.10	4.90
41	099-12M	HU	M	19.77	5.86	10.35	29.10	4.60
42	099-13M	HU	M	21.47	4.62	18.62	27.00	3.70
43	102-18	SU	H	18.64	5.93	7.42	29.30	4.90
44	107-18M	SU	M	19.29	5.80	3.73	29.80	7.10
45	118-15M	HU	M	23.19	5.19	23.70	28.40	4.80
46	123-17	SU	H	23.71	5.02	17.20	28.00	4.70
47	125-14M	SU	M	24.30	6.39	6.03	29.00	7.20
48	125-16	SU	H	21.65	5.38	9.47	28.60	4.90
49	128-18M	HU	M	18.26	4.29	1.43	31.00	7.60
50	129-17M	SU	M	22.55	7.07	9.97	28.60	6.20
51	132-15M	HU	M	25.65	5.31	24.27	31.10	4.30
52	133-16M	SU	M	25.47	7.24	0.88	32.70	9.00
53	134-18	SU	H	20.24	5.73	1.98	35.30	6.90
54	136-17M	HU	M	17.95	4.83	6.85	28.30	7.90
55	137-13M	SU	M	26.24	5.92	4.60	32.30	5.90
56	137-18	SU	H	21.15	5.88	5.60	29.90	5.90
57	138-15	HU	H	21.93	5.26	6.95	31.50	5.20
58	139-17	HU	H	21.66	5.09	7.90	31.60	5.20
59	140-18	SU	H	21.12	5.61	29.12	25.50	4.90
60	141-10	SU	H	24.17	5.23	2.02	34.50	7.10
61	144-17	SU	H	22.53	5.79	5.20	33.00	5.50
62	145-13M	SU	M	25.05	7.21	5.88	34.70	7.90
63	147-17M	SU	M	25.08	6.16	30.88	28.20	4.50
64	150-16M	HU	M	25.02	6.05	14.10	33.10	5.10
65	153-10	SU	H	25.51	5.80	26.05	30.20	5.40
66	158-13M	SU	M	23.12	7.32	1.50	37.80	10.50
67	161-15	HU	H	26.81	7.81	33.27	32.40	6.40
68	171-17M	HU	M	19.19	3.91	3.15	25.90	3.60
69	182-17M	HU	M	18.21	4.07	1.05	33.60	7.30
70	184-15M	HU	M	25.79	6.03	12.70	33.20	6.50
71	187-15	SU	H	21.63	5.40	5.62	30.30	4.80
72	194-17	HU	H	23.50	5.50	10.38	31.30	6.40
73	211-16	HU	H	25.74	6.75	32.92	30.50	5.00
74	211-18	SU	H	20.10	6.26	22.55	24.40	5.60
75	221-18M	SU	M	17.05	5.49	3.30	29.70	6.40
76	223-16	HU	H	20.74	5.16	6.47	30.50	5.80
77	224-16	HU	H	22.99	5.24	20.98	27.20	4.20
78	230-13	HU	H	19.74	5.27	3.10	33.90	4.80
79	232-15	SU	H	21.70	5.45	4.08	28.70	8.10
80	241-15M	SU	M	27.83	6.41	25.40	28.60	4.80
81	243-18M	HU	M	19.92	5.15	1.10	33.90	12.50
82	244-15M	SU	M	23.64	6.17	13.15	30.60	5.40

83	244-17M	SU	M	22.97	4.94	4.00	29.40	5.80
84	247-10M	SU	M	22.32	6.21	9.62	29.60	5.40
85	249-17	HU	H	21.49	4.71	2.80	33.50	4.40
86	254-15M	HU	M	23.97	4.78	25.82	27.50	4.20
87	256-13	SU	H	25.02	7.57	5.15	29.60	6.60
88	256-17	SU	H	22.45	7.06	3.50	29.10	7.40
89	258-17M	SU	M	22.27	5.05	3.65	32.10	4.70
90	263-15	HU	H	20.73	4.46	6.50	28.90	5.00
91	264-13	HU	H	27.12	6.00	12.07	34.20	4.90
92	265-17	SU	H	21.58	6.26	2.50	31.30	4.90
93	268-18	SU	H	18.37	5.74	9.03	26.70	5.80
94	269-18M	HU	M	21.34	4.36	1.15	29.80	5.30
95	275-17	SU	H	22.57	6.30	15.85	27.00	4.50
96	281-18M	HU	M	16.63	4.36	1.50	35.10	8.70
97	288-18M	SU	M	19.12	6.12	6.78	24.10	4.10
98	291-17	HU	H	21.46	5.06	11.00	30.30	4.40
99	292-12M	SU	M	22.82	5.30	14.12	29.00	4.90
100	292-13M	HU	M	22.16	5.22	4.90	33.10	4.90
101	297-18M	SU	M	18.55	5.45	9.40	27.30	4.80
102	302-14M	HU	M	27.66	7.63	36.98	32.30	6.20
103	305-15M	HU	M	26.00	5.64	12.40	32.20	4.40
104	308-13M	SU	M	27.63	8.45	18.38	29.80	5.60
105	309-16	HU	H	24.57	5.16	6.58	32.10	4.80
106	315-14	HU	H	20.57	4.70	3.52	31.40	5.20
107	315-18	SU	H	18.50	6.04	3.83	24.60	3.50
108	316-16M	HU	M	23.61	4.87	3.35	33.40	4.30
109	320-12	SU	H	25.13	8.94	25.98	30.30	6.70
110	320-16M	SU	M	19.53	6.52	2.33	32.90	4.90
111	320-18M	HU	M	20.07	4.82	8.65	28.10	3.90
112	325-17M	SU	M	21.43	5.36	13.10	27.10	4.60
113	331-14	HU	H	28.39	5.76	17.45	35.40	6.00
114	331-18	SU	H	19.05	5.99	9.47	27.80	5.80
115	336-17	SU	H	22.56	5.62	12.47	26.60	4.40
116	338-17M	SU	M	23.74	7.21	13.35	28.60	6.10
117	339-15	SU	H	25.51	7.68	33.17	31.10	5.30
118	341-13	SU	H	22.37	6.24	11.68	28.40	4.50
119	344-17M	HU	M	22.36	4.67	4.95	31.40	5.30
120	344-18M	HU	M	15.67	4.14	1.95	28.10	7.00
121	345-18	HU	H	17.91	4.48	1.25	30.30	6.20
122	347-13M	SU	M	26.01	6.90	2.00	30.90	7.50
123	347-18	SU	H	17.74	4.96	6.12	27.80	4.60
124	349-15	HU	H	24.26	5.60	18.75	30.60	4.90
125	349-18M	SU	M	18.87	4.48	9.15	23.80	4.60
126	351-16	HU	H	24.40	5.07	9.53	32.40	4.90
127	353-17M	SU	M	20.82	5.05	3.60	28.60	5.10

128	353-18M	SU	M	19.26	5.09	8.12	26.90	4.50
129	358-13	HU	H	23.42	5.60	12.97	30.60	5.10
130	363-15	HU	H	24.88	5.46	11.68	34.50	5.90
131	366-17	HU	H	19.06	4.39	6.15	26.70	3.80
132	368-18M	SU	M	17.58	4.98	0.68	28.00	5.90
133	369-15M	HU	M	28.06	5.55	21.43	32.30	4.10
134	369-16M	SU	M	19.14	5.73	1.02	31.70	7.10
135	370-13M	HU	M	23.66	5.48	13.32	32.70	5.70
136	370-16	HU	H	24.25	5.71	28.38	29.70	5.00
137	371-16M	HU	M	17.74	4.70	2.20	32.40	7.10
138	375-18	HU	H	17.57	4.27	8.60	24.60	3.70
139	377-18M	SU	M	19.07	5.37	1.60	28.40	6.10
140	384-15C	HU	H	20.37	4.57	13.60	26.80	5.50
141	387-18	SU	H	17.64	5.42	5.03	29.20	6.00
142	397-17	SU	H	21.02	5.31	1.15	36.30	7.20
143	405-16	HU	H	24.80	5.35	32.88	29.80	4.10
144	405-18M	HU	M	16.56	4.50	3.08	27.40	6.40
145	406-18	HU	H	18.58	5.48	2.40	32.50	8.00
146	412-18	HU	H	18.95	4.84	8.93	28.00	4.20
147	417-16M	HU	M	17.12	4.47	6.75	26.30	5.40
148	418-13M	SU	M	22.97	6.14	12.00	31.10	6.30
149	418-18M	SU	M	18.44	6.47	2.67	25.80	8.00
150	424-18	SU	H	17.75	5.45	9.85	27.40	4.80
151	426-16	SU	H	18.63	5.29	4.28	32.10	7.50
152	426-17	SU	H	26.30	7.60	18.15	29.30	6.00
153	431-13	HU	H	25.28	6.12	24.10	30.60	5.60
154	433-17M	HU	M	21.94	5.11	12.78	30.10	5.00
155	433-18M	SU	M	17.20	4.25	0.95	27.10	3.10
156	435-17M	SU	M	20.21	4.82	17.45	24.90	4.10
157	438-18	SU	H	17.73	5.11	1.10	29.20	6.80
158	444-17	HU	H	20.69	4.98	7.83	28.50	5.20
159	457-13M	HU	M	23.16	5.17	6.30	32.40	5.20
160	463-18	HU	H	17.26	4.10	1.02	32.40	8.00
161	466-18	HU	H	16.06	5.05	1.35	35.50	16.40
162	470-18	SU	H	16.65	4.16	3.50	24.50	5.80
163	488-13	SU	H	22.64	4.71	5.92	30.30	5.50
164	488-18	SU	H	19.17	5.58	7.92	27.40	5.00
165	489-17M	SU	M	20.41	5.95	6.00	29.90	5.70
166	490-17M	HU	M	17.69	4.47	4.92	28.10	4.70
167	492-18M	SU	M	17.82	4.57	0.78	28.90	8.30
168	497-16	HU	H	24.27	4.70	11.18	31.10	4.50
169	501-13	HU	H	23.52	4.53	12.47	30.40	4.40
170	501-16M	HU	M	20.81	3.92	2.17	29.90	4.00
171	501-17M	SU	M	21.40	5.60	6.25	29.60	6.70
172	508-12	HU	H	25.36	6.29	32.45	29.40	5.20

173	511-13M	HU	M	24.56	6.17	12.50	31.50	4.80
174	512-13	SU	H	21.05	6.19	19.45	27.50	5.70
175	515-17M	HU	M	23.16	5.91	45.25	25.10	3.70
176	516-16	SU	H	20.79	6.18	10.25	31.10	6.60
177	516-18M	SU	M	18.72	5.61	9.35	27.80	5.30
178	523-18M	HU	M	16.23	5.38	5.55	23.40	4.90
179	531-18M	SU	M	17.49	5.42	1.43	26.90	5.70
180	538-13	SU	H	23.75	5.58	4.08	31.30	4.00
181	541-18M	SU	M	18.93	5.35	0.88	28.70	8.40
182	548-18M	SU	M	18.63	5.33	22.25	23.30	5.00
183	550-17	SU	H	22.31	5.29	21.43	26.60	4.80
184	554-17M	SU	M	20.64	4.06	0.80	29.50	6.20
185	559-17	HU	H	18.52	4.31	8.12	26.60	4.00
186	566-18M	SU	M	19.92	5.73	1.52	29.20	3.50
187	585-10M	SU	M	19.48	5.91	9.95	29.70	5.10
188	589-17M	SU	M	21.53	4.59	1.05	29.50	3.80
189	590-16	HU	H	21.78	5.02	3.45	32.20	7.60
190	591-17	SU	H	25.31	6.62	14.53	29.60	5.30
191	593-17	SU	H	21.43	5.46	11.03	28.40	4.70
192	596-18M	SU	M	18.08	5.09	0.08	30.30	3.30
193	598-16M	SU	M	21.19	5.26	13.93	28.50	5.40
194	601-18	SU	H	16.35	4.92	0.15	23.80	4.40
195	602-13	SU	H	23.72	5.87	24.55	29.10	5.30
196	603-18M	SU	M	18.62	5.15	1.00	27.90	3.60
197	606-16	SU	H	20.40	7.47	6.03	32.00	7.40
198	611-18M	HU	M	17.72	4.81	1.05	31.10	8.40
199	642-17M	HU	M	18.47	4.62	8.62	26.80	4.80
200	MP-2627M	SU	M	24.86	5.81	10.80	31.70	5.00

DF: Diámetro de fibra; **DS:** Desviación estándar; **PM:** Porcentaje de Medulación;

DFM: Diámetro de fibra medulada; **DSDFM:** Desviación estándar del diámetro de fibra medulada.

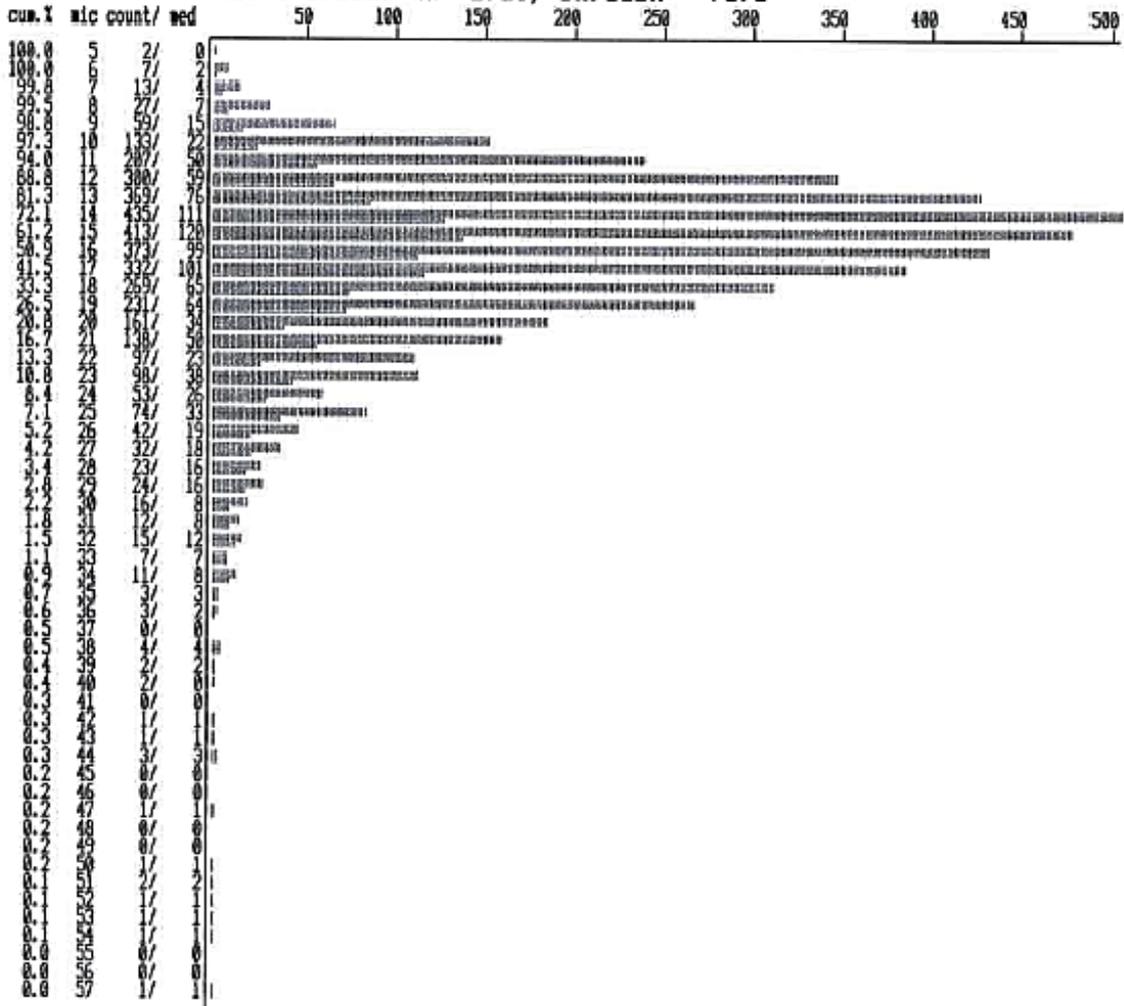


ANEXO 4

Histogramas: Reporte grafico del OFDA 100

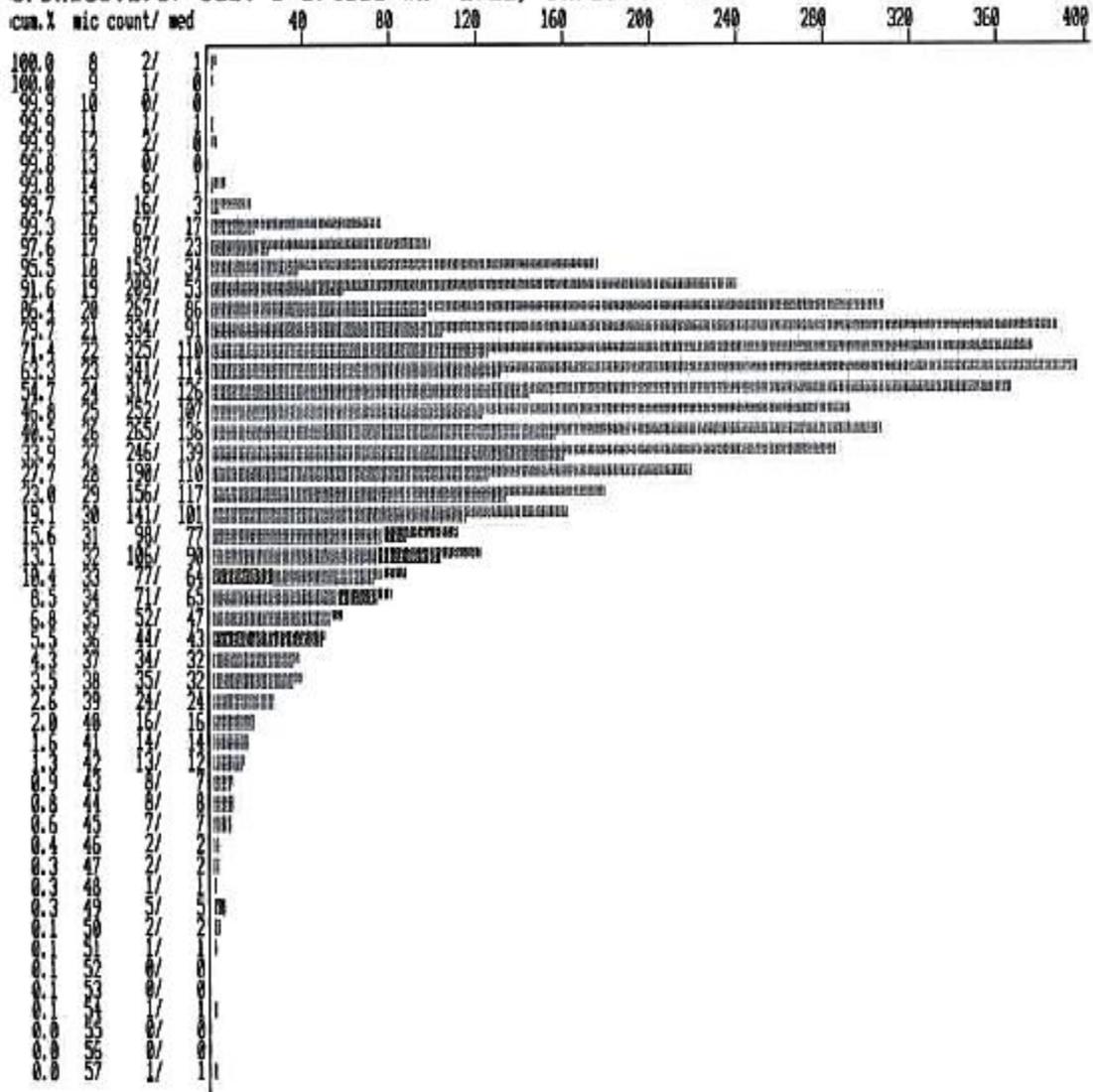
INCA TOPS S. A.

Date :
 Sample ID : 086-18 Mean = 16.51 u
 Description : ALPACAS VARIAS SD = 5.11 u
 Lot/Client : PACO07/DESTETE2018 CV = 31.0 %
 Operator : AJ Sample size = 4000
 5% of fibres 9.7 u above mean. Comfort factor= 98.2 %
 Num med= 1135(2838/10K)inc @flat,308obj/10K Mean opacity= 65.4[19.3] %
 Mean med diam= 18.2[6.6] u % med by vol= 35.5%, by wt= 23.6%
 Curve= 46.3[37] deg/mm Curve number = 1850
 OFDA161:2.17 Cal: D=5.3820*WH -2.29, DkFlash= 78.3



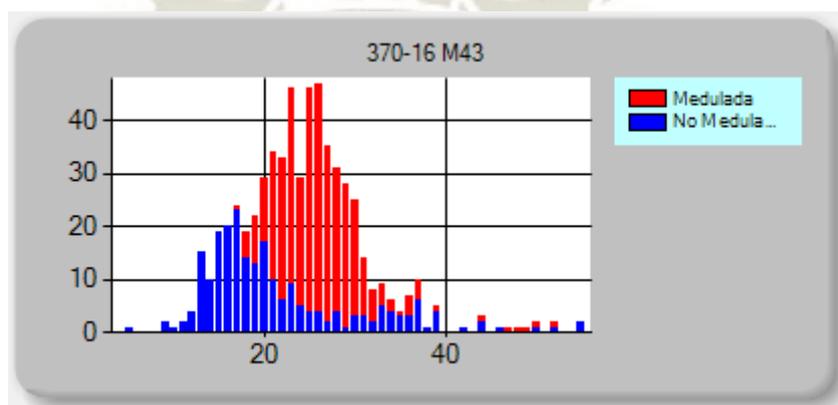
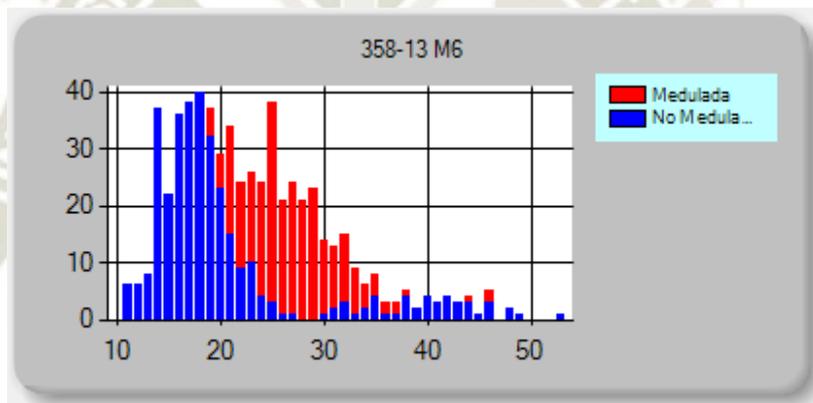
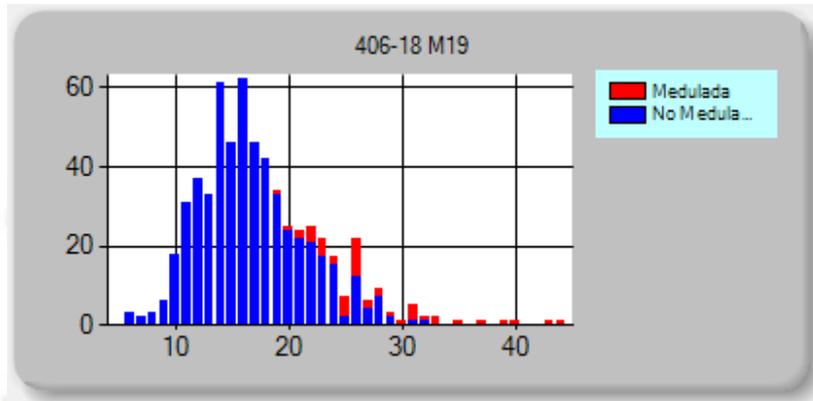
INCA TOPS S. A.

Date : ██████████ Mean = 25.09 u
 Sample ID : 066-14 SD = 5.68 u
 Description : ALPACAS MADRES CV = 22.6 %
 Lot/Client : PAC012/ WILBER 2018 Sample size = 4000
 Operator : AJ
 5% of fibres 11.3 u above mean. Comfort factor= 84.5 %
 Num med= 1923(4808/10K)inc 0flat, 2095obj/10K Mean opacity= 75.1[18.0] %
 Mean med diam= 27.6[6.2] u % med by vol= 58.2%, by wt= 43.9%
 Curve= 42.2[31] deg/mm Curve number = 1968
 OFDA161:2.17 Cal: D=5.4151*WH -2.22, DkFlash= 78.3



ANEXO 5

Histogramas: Reporte grafico del Medulómetro.



ANEXO 6

Pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza para la variable Porcentaje de medulación obtenida con el Medulómetro y el OFDA 100.

Prueba	Prueba de Kolmogorov-Smirnov del % de Medulación		Prueba de Shapiro del % de Medulación	
	Medulómetro	OFDA 100	Medulómetro	OFDA 100
<i>De Normalidad</i>				
D-valor/W-valor	0.10	0.13	0.95	0.86
p-valor	0.051	< 0.01	1.72x10 ⁻⁶	2.04 x 10 ⁻¹²
Significación	NS	**	***	***
<i>De Homogeneidad de Varianzas</i>	Prueba de Fligner-Killeen		Prueba de Bartlett	
Valor del estadístico	91.53		118.97	
p-valor	2.2x10 ⁻¹⁶		2.2x10 ⁻¹⁶	
Significación	***		***	

***= p<0.001, **= p<0.01, NS= no significativo

ANEXO 7

Registro fotográfico

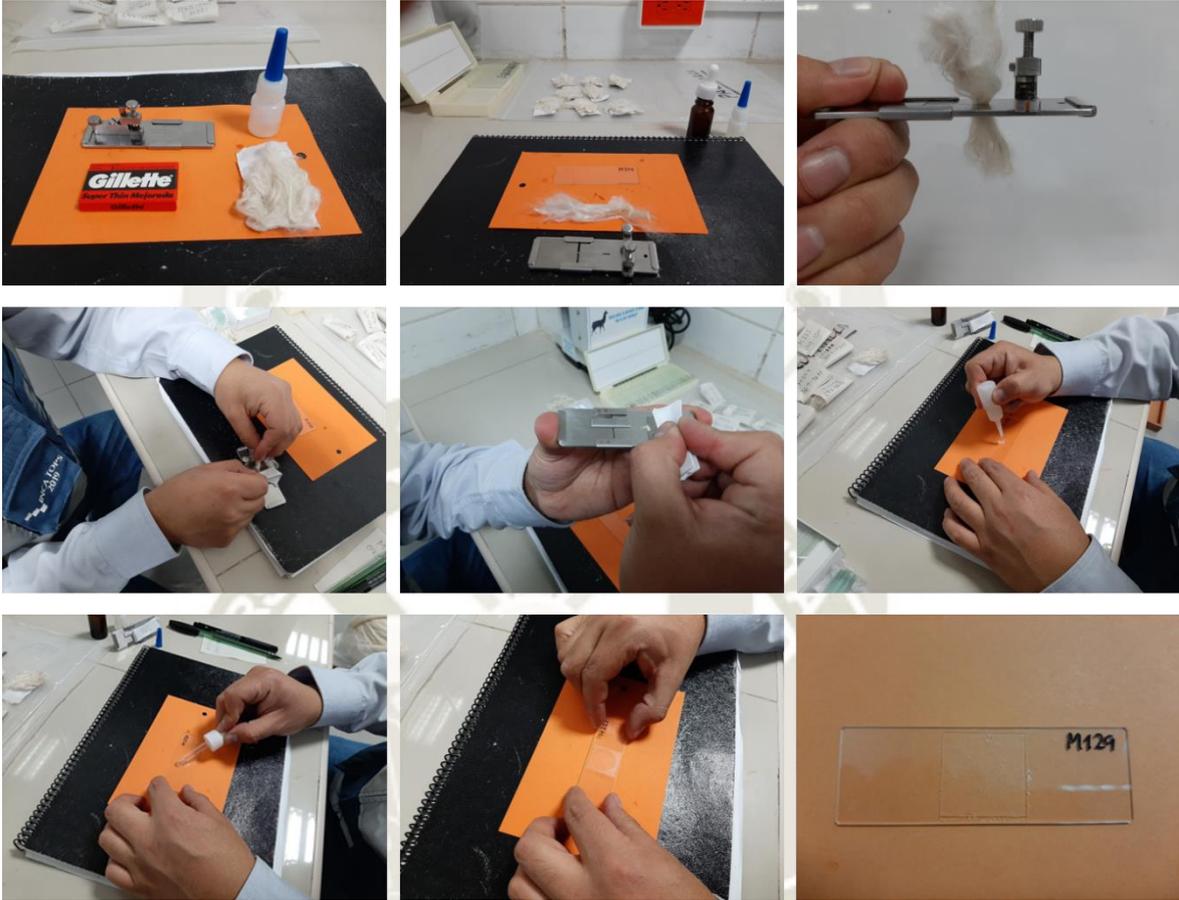
Muestras de fibra de alpaca



Acondicionamiento de las muestras en el laboratorio



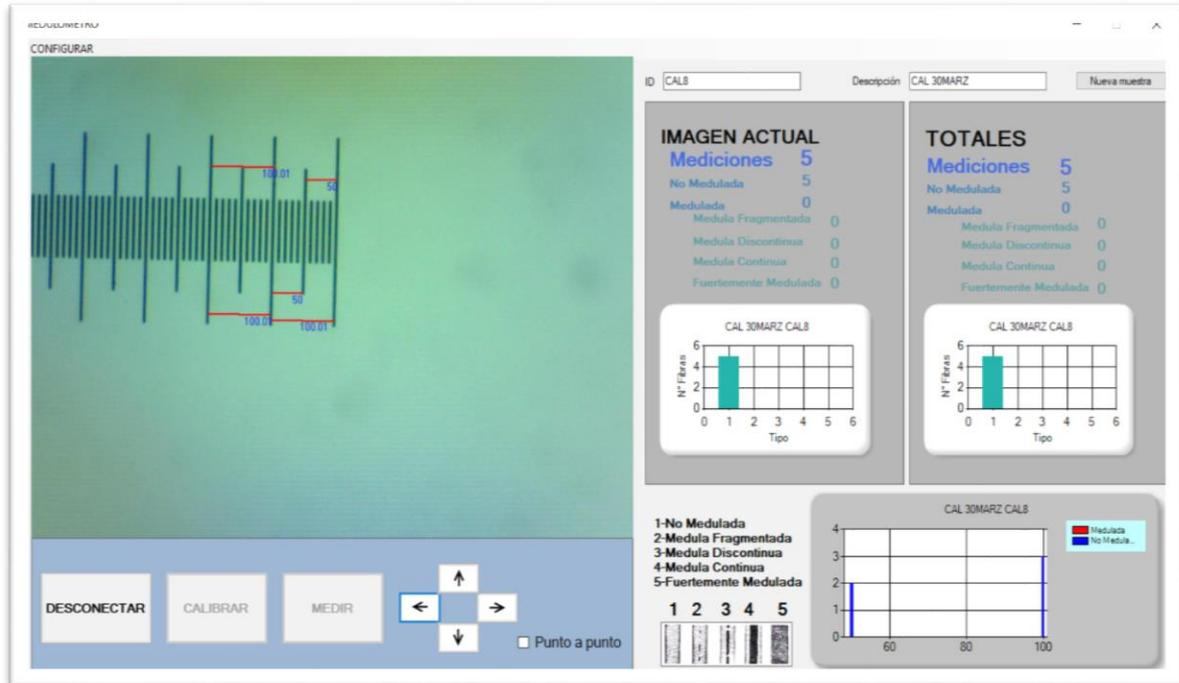
Preparación de las muestras (laminas) para la lectura en el Medulómetro



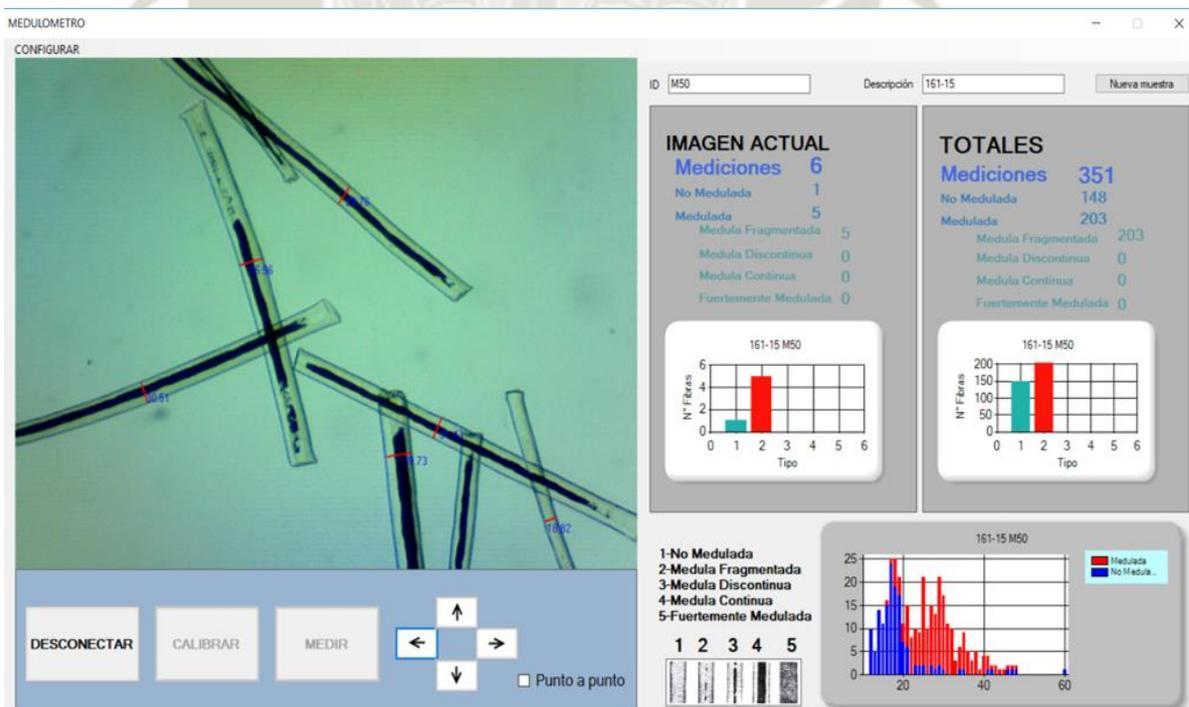
Medición de muestras de fibras en el Medulómetro



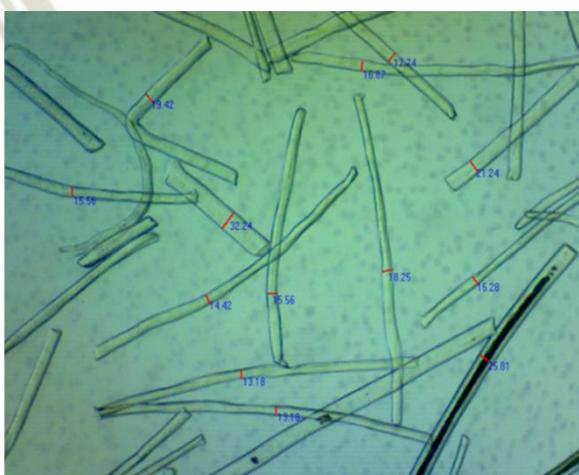
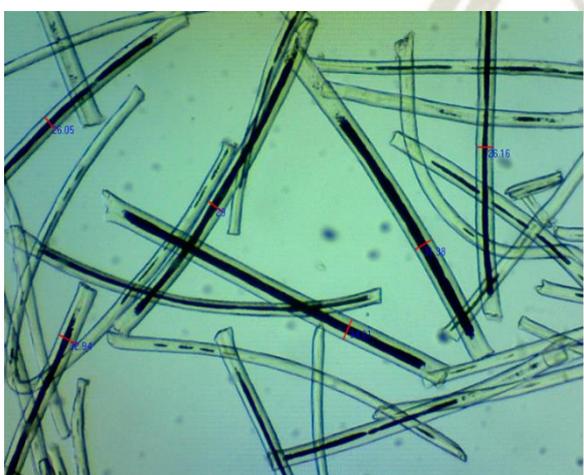
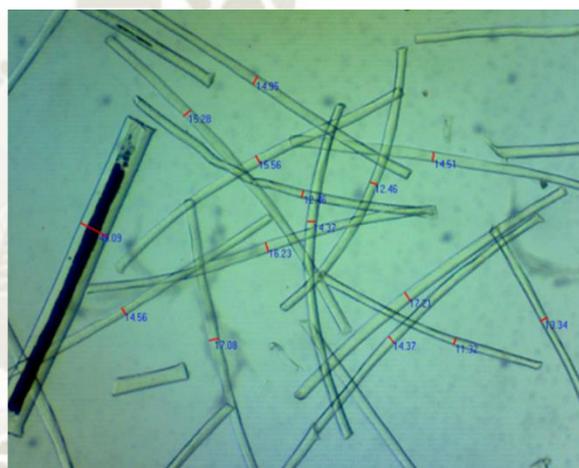
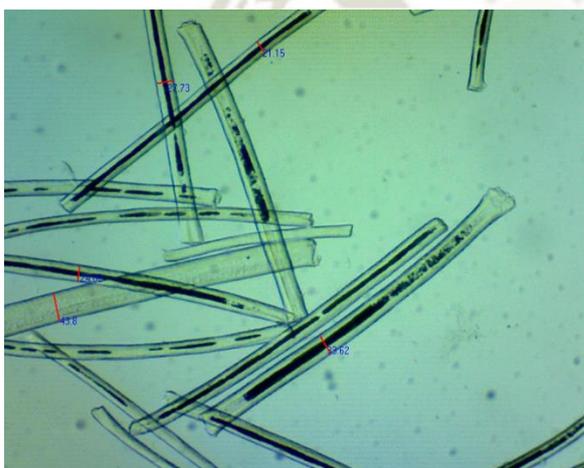
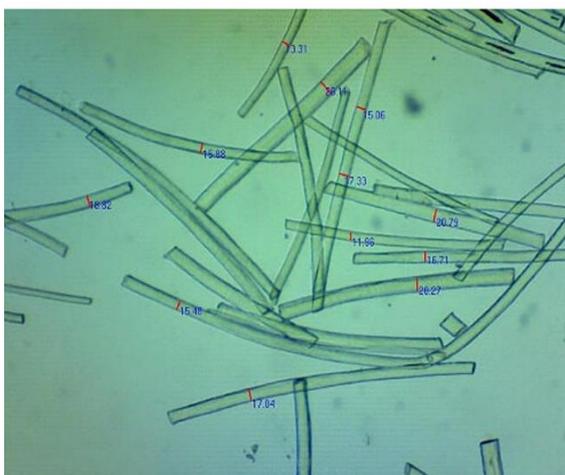
Calibración del Medulómetro.



Pantalla de lectura del Medulómetro (Software)



Conteo de fibras meduladas y no meduladas y medición del diámetro de fibra mediante el Medulómetro.



Medición de muestras de fibras en el OFDA 100

