

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN ANIMAL



**“PRECISIÓN Y EXACTITUD DE LOS EQUIPOS MINIFIBER-EC
Y FIBER-EC UTILIZANDO FIBRA DE ALPACA Y LANA”**

Presentada por:

DARWIN WASHINGTON CALDERON ANTEZANA

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO MAGISTER
SCIENTIAE EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

Lima - Perú

2019

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN ANIMAL

**“PRECISIÓN Y EXACTITUD DE LOS EQUIPOS MINIFIBER-EC
Y FIBER-EC UTILIZANDO FIBRA DE ALPACA Y LANA”**

Presentada por:

DARWIN WASHINGTON CALDERON ANTEZANA

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO MAGISTER
SCIENTIAE EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

Mg.Sc. María Elisa García Salas
PRESIDENTE

Ph.D. Gustavo Gutiérrez Reynoso
PATROCINADOR

Ph.D. Juan Chávez Cossio
MIEMBRO

Mg.Sc. Jorge Calderón Velásquez
MIEMBRO

DEDICATORIA

A mi querida madre Rosa Antezana, por la dedicación y esfuerzo en todo momento; por su amor y sus consejos que fueron pilares para mi formación personal y profesional; por el gran ejemplo de nunca rendirse y siempre superarse cada momento, este logro te lo dedico a ti madre querida.

A mis queridos hermanos Darcy y Erika por el apoyo y afecto incondicional, por sus consejos en todo momento.

A mis familiares por su apoyo y aliento en todo momento, a mi abuelita Candelaria que siempre me cuida desde el cielo; a mis tíos y tías: Augusto, Luis y Luz Marina; a mis primos Diego, Denisse, Paola y Fabricio.

A mis amigos que siempre me acompañaron en todo momento; que siempre me brindaron su amistad y afecto: Jorge, Carmen, Camilo, Jorge Dick, Thalía, Carito y Carlos Blas.

AGRADECIMIENTOS

Al Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA), del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), por aportar gran parte del financiamiento de mis estudios de maestría y el desarrollo del presente trabajo de investigación; a través del Proyecto: “Construcción de novedosos equipos para estudio de fibras, lanas, pelos y piel de animales: Su impacto en el mejoramiento genético y conservación de camélidos sudamericanos”, financiaron gran parte de este trabajo (Contrato N° 026-2016-INIA-PNIA/UPSMI/IE).

Al Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA), por haber financiado parte de mis estudios de maestría y el desarrollo del presente trabajo de investigación; mediante contrato “Becas de Posgrado-Maestrías 2017, contrato N.º 10-2017-INIA-PNIA-MAESTRIA”

Al Dr. Gustavo Gutiérrez Reynoso y Dr. Edgar Quispe Peña, por el apoyo brindado y paciencia en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Al Programa de Investigación y Proyección Social en Ovinos y Camélidos Americanos (POCA) de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Especialmente al Laboratorio de Fibras Textiles, Pieles y Cueros “Alberto Pumayalla Díaz” de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Al proyecto VLIR “Mejorando los Sistemas de Producción de Alpacas em Pastizales de la Sierra Central del Perú”, por el apoyo brindado en el desarrollo del trabajo de investigación satisfactoriamente.

A la Empresa MAXCORP S.A., por ser parte del grupo de trabajo, y por facilitar el equipo utilizado en la presente investigación.

A la Universidad Nacional Autónoma de Chota, socia estratégica de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM), en el emprendimiento que dio lugar al desarrollo del Proyecto de Innovación y presente trabajo de investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1.	El Microscopio de Proyección.....	4
2.2.	OFDA (Optical Fiber Diameter Analyser)	5
2.3.	Laserscan.....	6
2.4.	Características de la fibra de alpaca.....	7
2.4.1.	Diámetro de fibra.....	8
2.4.2.	Tacto y suavidad.....	9
2.4.3.	Desviación estándar.....	9
2.4.4.	Coefficiente de variación	10
2.4.5.	Longitud de mecha	11
2.4.6.	Finura al hilado.....	12
2.4.7.	Lustre y brillo	12
2.4.8.	Rizo.....	13
2.4.9.	Fibras Meduladas.....	14
2.4.10.	Factor confort y picazón.....	15
2.5.	Precisión.....	16
2.6.	Exactitud	17
2.7.	Error y sesgo	18
2.8.	Repetibilidad.....	19
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
3.1.	Localización.....	20
3.2.	Material de campo.....	20
3.3.	Materiales de laboratorio	20
3.4.	Equipos utilizados.....	21
3.5.	Metodología de la investigación	22
3.5.1.	Colección de muestras en campo.....	22
3.5.2.	Colección de muestras de tops	22
3.5.3.	Lavado de muestras	22
3.5.4.	Acondicionamiento del laboratorio y muestras.....	22
3.5.5.	Metodología de evaluación de los equipos.....	23
a.	Laserscan.....	23

b. Microscopio de proyección	25
c. Fiber-EC	28
d. MiniFiber-EC	31
3.6. Evaluaciones de precisión, exactitud y repetibilidad.....	35
3.7. Correlación entre equipos	37
3.8. Análisis estadístico.....	37
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
4.1. Precisión y exactitud de tops de fibra de alpaca	38
4.2. Precisión y exactitud de tops de lana	40
4.4. Correlación de resultados entre equipos con muestras de fibra de alpaca.....	44
4.5. Correlación de resultados entre equipos con muestras de lana.....	49
4.6. Relación entre equipos según IWTO-0 en muestras de fibra de alpaca	52
4.7. Variación de un componente (slide) de medición entre el MiniFiber-EC y Fiber-EC.....	54
V. CONCLUSIONES	56
VI. RECOMENDACIONES	57
VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	58
VIII. ANEXO	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de la fibra de alpaca según la industria peruana.	8
Tabla 2: Representación esquemática del "punto blanco" de exactitud y precisión	18
Tabla 3: Valores de la media del diámetro de fibra, desviación estándar y coeficiente de variación de tops de lana y fibra de alpaca.	21
Tabla 4: Descripción de los componentes del Laserscan	24
Tabla 5: Descripción de los componentes del microscopio de proyección.....	27
Tabla 6: Descripción de los componentes del Fiber-EC	31
Tabla 7: Descripción de los componentes del MiniFiber-EC	33
Tabla 8: Medidas repetidas del MiniFiber-EC y Fiber-EC para la validación.....	34
Tabla 9: Precisión y exactitud de los parámetros medidos en los 4 equipos utilizando tops de alpaca.	38
Tabla 10: Precisión y exactitud de los parámetros medidos en los 4 equipos utilizando tops de lana.	40
Tabla 11: Repetibilidad de los equipos utilizando tops de fibra de alpaca y lana.	43
Tabla 12: Correlación de los equipos utilizando fibra de alpaca del diámetro de fibra. 45	
Tabla 13: Correlación de los equipos utilizando fibra de alpaca de la desviación estándar.....	46
Tabla 14: Correlación de los equipos utilizando fibra de alpaca del coeficiente de variación.	47
Tabla 15: Correlación de los equipos utilizando fibra de alpaca del factor confort.....	48
Tabla 16: Relación de la media del diámetro de fibra, desviación estándar, coeficiente de variación y factor confort utilizando muestras de lana.	50
Tabla 17: Evaluación del sesgo entre MiniFiber-EC y Laserscan.	52
Tabla 18: Evaluación del sesgo realizadas entre el Fiber-EC y el Laserscan.....	53
Tabla 19: Estimación de las variaciones del número y lado del slide en el diámetro de fibra, utilizando en tops de fibra de alpaca.	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Altura y disposición de las células cuticulares de fibra de alpaca y lana.....	9
Figura 2: Fibras distribuidas en paralelo, con un alto y bajo coeficiente de variación. .	11
Figura 3: Medida de longitud de mecha de fibra de alpaca.....	11
Figura 4: Fibras de alpaca con lustre de Suri y brillo de Huacaya.	13
Figura 5: Comparación de la superficie cuticular entre la fibra de Huacaya y Suri.....	13
Figura 6: Representación bidimensional de la forma de una fibra de lana.....	14
Figura 7: Muestras de fibra de alpaca Huacaya con diferentes tipos de rizo.	14
Figura 8: Vista de fibras no meduladas, meduladas y pelo de protección y tipos de fibras meduladas presentes en la fibra de alpaca.	15
Figura 9: Estructura nerviosa de la piel y el factor picazón.	16
Figura 10: Diagrama del Laserscan.....	25
Figura 11: Fotografía del Laserscan.....	25
Figura 12: Diagrama del microscopio de proyección.....	28
Figura 13: Fotografía del microscopio de proyección.....	28
Figura 14: Diagrama de medición del Fiber-EC.....	29
Figura 15: Fotografía del Fiber-EC V4.0.....	30
Figura 16: Fotografía del MiniFiber-EC V2.0	32
Figura 17: Partes del MiniFiber-EC.	33
Figura 18: Regresión lineal simple y coeficiente de determinación de la calibración del MiniFiber-EC y Fiber-EC.....	34
Figura 19: Gráfico de puntos de la media de diámetro de fibra de muestras de fibras de alpaca obtenidos en el MiniFiber-EC, Fiber-EC, microscopio de proyección y Laserscan.	44
Figura 20: Gráficos de puntos de la desviación estándar de muestras de fibra de alpaca obtenidos en el MiniFiber-EC, Fiber-EC y Laserscan.	46
Figura 21: Gráficos de puntos del coeficiente de variación de muestras de fibra de alpaca obtenidos en el MiniFiber-EC, Fiber-EC y Laserscan.	47
Figura 22: Gráficos de puntos del factor confort de muestras de fibra de alpaca obtenidos en el MiniFiber-EC, Fiber-EC, Laserscan y microscopio de proyección.....	48
Figura 23: Gráficos de puntos de la media de diámetro de fibra y la desviación estándar de muestras de lana en comparación con el MiniFiber-EC, Fiber-EC y Laserscan.	

49	Figura 24: Gráficos de puntos del coeficiente de variación y el factor confort de muestras de lana en comparación con el MiniFiber-EC, Fiber-EC y Laserscan.	50
	Figura 25: Gráficos de puntos obtenidas con el MiniFiber EC y Laserscan.	52
	Figura 26: Gráficos de puntos obtenidas con el Fiber EC y el Laserscan.	53

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Datos de Calibración del MiniFiber-EC.....	63
Anexo 2: Datos de Calibración del Fiber-EC	64
Anexo 3. Datos de Error Estándar, Intervalo de Confianza, Exactitud y promedio de mediciones de cada equipo utilizando fibra de alpaca	65
Anexo 4. Datos de Error Estándar, Intervalo de Confianza, Exactitud y promedio de mediciones de cada equipo utilizando lana	67

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la precisión y exactitud del MiniFiber-EC y Fiber-EC en comparación con el Laserscan (LSN) y Microscopio de Proyección (MP) para medir la Media del Diámetro de Fibra (MDF), Desviación Estándar (DS), Coeficiente de Variación (CV) y Factor Confort (FC) se emplearon 5 tops de fibra de alpaca de 16.8 a 31.4 μ m de diámetros conocidos y 8 tops de lana de 15.71 a 35.37 μ m de diámetros conocidos; y 214 muestras de fibra de alpaca y 35 muestras de lana obtenidas del costillar medio. El estudio se realizó en el Laboratorio de Fibras Textiles, Piel y Cueros de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria la Molina en un ambiente controlado, a una humedad de 65 \pm 3% y temperatura de 20 \pm 2°C. Para la calibración y validación de los equipos se utilizaron patrones top de lana del 2017-II proporcionado por la International Association of Wool Textile Laboratories (INTERWOOLLABS); el LSN y MP fue calibrado y validado de acuerdo con lo establecido en la International Wool Textile Organization, (IWTO-12 e IWTO-08) respectivamente y el MiniFiber-EC y Fiber-EC como indica Quispe *et al* (2018). Se utilizó estadística descriptiva para determinar la precisión y exactitud de los resultados de cada equipo. Un diseño anidado se utilizó para evaluar el efecto de la variación del número y lado de slide entre el MiniFiber-EC y Fiber-EC. Los resultados del MiniFiber-EC y Fiber-EC, empleando muestras de fibra de alpaca y lana mostraron una buena precisión y una exactitud moderada, mediante la evaluación de la MDF, DS, CV y FC. Se observó una alta correlación en los resultados de los 4 equipos en muestras de fibra de alpaca y una correlación moderada en muestras de lana; por lo tanto, los cuatro equipos reportan resultados similares cuando se evalúa fibra de alpaca y lana. Se encontró diferencias significativas entre el MiniFiber-EC y Fiber-EC cuando se evaluó la media del diámetro de fibra, pero no se observó diferencia significativa para el número y lado de slide entre el MiniFiber-EC y Fiber-EC para el mismo parámetro evaluado.

Palabras clave: precisión, exactitud, lana, fibra de alpaca

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the precision and accuracy of the MiniFiber-EC and Fiber-EC compared to the Laserscan (LSN) and Projection Microscope (MP) for measuring the Mean Fiber Diameter (MFD), Standard Deviation (SD), Coefficient of Variation (CV) and Comfort Factor (CF) were used five tops of alpaca fiber (16.8 to 31.4 μ m) and eight wool tops (15.71 to 35.37 μ m) of known diameters; and 214 samples of alpaca fiber and 35 samples of wool obtained from the midside were used. The study was carried out in the Laboratory of Textile, Skins and Leather of the Animal Science College of the National Agrarian University la Molina under controlled environment, at a humidity of $65 \pm 3\%$ and a temperature of $20 \pm 2^\circ\text{C}$. For the calibration and validation of the equipment, top wool patterns of 2017-II provided by the International Association of Wool Textile Laboratories (INTERWOOLLABS) were used; the LSN and MP were calibrated and validated according to the provisions of the International Wool Textile Organization, (IWTO-12 and IWTO-08) respectively and the MiniFiber-EC and Fiber-EC as indicated by Quispe et al (2018). Descriptive statistics were used to determine the precision and accuracy of each equipment's results. A nested design was used to evaluate the effect of the variation of the number and side of slide between the MiniFiber-EC and Fiber-EC. The results of the MiniFiber-EC and Fiber-EC, using samples of alpaca fiber and wool showed good accuracy and moderate accuracy, by evaluating the MFD, DS, CV and CF. A high correlation was observed in the results of the 4 equipments in samples of alpaca fiber and a moderate correlation in wool samples; therefore, the four equipments report similar results when evaluating alpaca and wool fiber. Significant differences were found between the MiniFiber-EC and Fiber-EC when the mean fiber diameter was evaluated, but no significant difference was observed for the number and side of the slide between the MiniFiber-EC and Fiber-EC for the same parameter evaluated.

Keywords: precision, accuracy, wool, alpaca fiber

I. INTRODUCCION

La caracterización más completa de las fibras de origen animal como materia prima textil ha llevado a desarrollar tecnologías cada vez más sofisticadas para evaluar el diámetro de fibra, su distribución y parámetros asociados. Se considera como la característica de mayor importancia la media del diámetro de fibra, que sirve de base para la toma de decisiones sobre sus aplicaciones industriales y en consecuencia la búsqueda de mayor valor económico. En la actualidad, se utilizan diversos equipos para evaluar el diámetro, pero los principales son el Optical Fibre Diameter Analyser (OFDA), Laserscan y Microscopio de Proyección.

Hubo énfasis creciente en el período 1932-1954, en el uso del microscopio de proyección, que define la finura de la fibra de lana en términos del ancho promedio de la imagen proyectada de la fibra. El microscopio de proyección fue más preciso que el método gravimétrico antes utilizado y, además, también proporcionó información sobre la distribución del diámetro de las muestras. En 1950 la American Society of Testing Materials (ASTM) produjo un borrador de especificaciones para evaluar la finura de la fibra basada en el microscopio de proyección y la primera especificación de la Internacional Wool Textile Organisation (IWTO) para microscopio de proyección fue aprobada en 1954 (ASTM, 2001).

La microscopía de proyección es una técnica que, además de ser laboriosa, es relativamente imprecisa cuando depende de un solo operador que realiza mediciones en un laboratorio. Una mayor precisión solo se logra cuando la evaluación se realiza en varios laboratorios y operadores. A pesar de estas dificultades, no existe un método alternativo para la medición directa de la fibra, y el microscopio de proyección todavía se usa ampliamente en algunas partes del mundo, como Asia, especialmente para el control de calidad de tops e hilados. En consecuencia, sigue siendo el método de referencia frente a los demás métodos, específicamente cuando el Air Flow, Laserscan y OFDA, deben ser calibrados (Cottle y Baxter, 2015).

Estos equipos evolucionaron en diferentes partes del mundo, especialmente en Australia con el objetivo de medir fibras en campo On-Farm Fibre Measurement (OFFM) y surgieron nuevas versiones, las cuales compiten por precisión y exactitud con otros en el mundo. La exactitud es la relación entre la medida realizada con el equipo y la verdadera medida, es decir, el grado de definición en el caso de los microscopios, y la precisión, son las medias o promedios de las sucesivas medidas que se acercan a las obtenidas previamente (Huang y Xu, 2002).

La evaluación de la fibra animal es importante para la producción animal, información que se utiliza para la mejora genética de rebaños, selección de animales, comercialización e industria textil. Por esta razón, se ha desarrollado una gran cantidad de equipos para la medición de la calidad de fibra, diámetro, variabilidad, factor confort, índice de curvatura, rendimiento, color, y entre otros. El uso del microscopio de proyección como método de referencia principal para determinar el diámetro de la fibra, es factible en laboratorios certificados y dedicados a la estandarización de equipos. Sin embargo, debido al gran trabajo que requiere la técnica y además tiene un alto costo para lograr una precisión y exactitud aceptable, cuando se realiza mediciones de rutina (Cottle y Baxter, 2015).

Pocos son los equipos de campo que evalúan fibra de alpaca y lana; la evaluación de la precisión y exactitud es un tema importante cuando se requiere obtener resultados precisos y confiables, que permita ser utilizado como una base de información sólida; para cubrir las necesidades de criadores como el de evaluar el diámetro de la fibra de sus animales *in situ*; para seleccionarlos, para comercializar y/o clasificar su fibra.

En el Perú se han construido dos equipos caracterizadores de fibra denominados Fiber-EC y MiniFiber-EC, que permiten la evaluación de las siguientes características de la fibra: Media de Diámetro de Fibra (MDF), Desviación Estándar (DS), Coeficiente de Variación (CV), Factor Confort (FC) y otras características de interés. Sin embargo, antes de la propagación de dichos equipos al mercado, es preciso realizar pruebas de precisión y exactitud, para determinar si son confiables para realizar tales evaluaciones de finura y demás características.

En tal sentido, el objetivo general del presente estudio es evaluar la precisión y exactitud de dos equipos MiniFiber-EC y Fiber-EC, evaluando fibra de alpaca y lana. Para cumplir este objetivo se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la precisión de ambos equipos empleando muestras de fibra de alpaca y de lana a través de la evaluación de los siguientes parámetros: media del diámetro de fibra, desviación estándar, coeficiente de variación y factor confort.
- Determinar la exactitud de ambos equipos empleando muestras de fibra de alpaca y de lana a través de la evaluación de los siguientes parámetros: media del diámetro de fibra, desviación estándar, coeficiente de variación y factor confort.
- Determinar la similitud existente entre las medidas de media del diámetro de fibra, desviación estándar, coeficiente de variación y factor confort en muestras de fibra de alpaca y lana obtenidas mediante el Minifiber-EC y Fiber-EC, respecto a las obtenidas con el microscopio de proyección y Laserscan.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. El Microscopio de Proyección

Se reportó el primer uso de un microscopio de proyección como instrumento para medir la media del diámetro de fibra en el año 1777. Con la reaparición del microscopio entre 1927 a 1949, hizo que el año 1950, la American Society of Test Materials (ASTM) propusiera un método de prueba tentativo basado en este instrumento (ASTM, 2001).

Debido al trabajo tedioso de la técnica del microscopio de proyección y el alto costo incurrido para lograr una precisión aceptable, se utiliza cada vez más instrumentos más rápidos, precisos y rentables, para realizar las mediciones de rutina. La microscopía de proyección es muy lenta; y, es relativamente imprecisa cuando es realizado en un laboratorio por un solo operador. Una mayor precisión sólo se logra utilizando varios laboratorios y operadores (Cottle y Baxter, 2015).

El microscopio de proyección es el único método de referencia primario para la determinación de las características de distribución de diámetro de la lana. Siendo el método de referencia con el cual se calibran los equipos que emplean todos los demás métodos de medición moderna, específicamente el Air Flow, el Laserscan y el OFDA (ASTM, 2001).

La IWTO y ASTM, se basan en la medición de las dimensiones transversales de fragmentos recortados a partir de muestras de fibras. Aunque los métodos IWTO y ASTM son muy similares, hay diferencias sutiles en las longitudes de los fragmentos y en los procedimientos de medición que pueden dar lugar a resultados diferentes. Ambos métodos requieren la distribución de una submuestra aleatoria del conjunto de fibras, o la distribución de fragmentos preparados a partir del conjunto de fibras, utilizando un micrótopo o dispositivo similar, sobre un portaobjetos de vidrio. Estas fibras o fragmentos se distribuyen en un medio de montaje, bajo una placa de cubierta y usualmente vistos en el modo de transmisión, proyectados sobre una pantalla (ASTM, 2001).

Los métodos de análisis están diseñados para asegurar que los fragmentos medidos se seleccionan al azar y que cada fragmento se mide sólo una vez en un solo punto situado al azar a lo largo de su longitud. Los fragmentos deben estar enfocados cuando se miden. Para minimizar el efecto del sesgo del operador, requiere que la medición sea realizada por al menos dos observadores, cada uno midiendo al menos 300 fragmentos (IWTO-08, 2011).

2.2. OFDA (Optical Fiber Diameter Analyser)

Se usa una imagen de una muestra de un material como base para determinar una característica en particular. El análisis de imagen fue utilizado por primera vez en la industria de la lana, en la década de 1930; sin embargo, sólo con la llegada de la tecnología informática se pudo lograr un progreso real en su aplicación; los investigadores buscaban sistemas cada vez más rápidos para medir automáticamente el diámetro de la fibra; en 1973 se describió un sistema, el FIDAM (Fiber Image Display and Measurement), para medir la distribución del diámetro de las fibras, de manera rápida y precisa, con mínima participación del operador (Cottle y Baxter, 2015).

El FIDAM escanea imágenes fotográficas de fragmentos de fibra alineados por una cámara de TV conectada a circuitos de clasificación, para dar una impresión automática de la distribución de frecuencia del diámetro de fibra. Los resultados obtenidos con este sistema en tops estándar de la IWTO mostraron valores aceptables. (Edmunds et al., 1973 citado por Cottle y Baxter, 2015).

El origen de las actuales tecnologías de imagen, OFDA 100, OFDA 2000 y OFDA 4000, tuvo inicios en el año 1980, cuando Australian Wool Testing Authority (AWTA). Evaluaron el potencial para la medición del diámetro de lana. El Laserscan se ha clasificado como un dispositivo fotométrico, el sistema de discriminación que utiliza para seleccionar las fibras es esencialmente un sistema de análisis de imágenes, por lo que podría considerarse un híbrido de ambas tecnologías (ASTM, 2001).

El OFDA100 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. 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 histograma similar al Laserscan (Cameron, 2014).

El OFDA2000 proporciona un reporte basado en una muestra de mecha de fibra en toda su longitud; produce un gráfico, que muestra el diámetro promedio de la fibra; medida a diferentes distancias a lo largo de la mecha, desde su raíz (piel) a la punta. Las variaciones del diámetro de la fibra a lo largo de la mecha pueden interpretarse como las variaciones debido a la alimentación, la salud, la gestación, la nutrición o el clima que enfrentó el animal durante el periodo que tomó el crecimiento del vellón. También imprime un histograma estándar (Cameron, 2014).

En común con las mediciones del microscopio de proyección y Sirolan-Laserscan; el sistema OFDA proporciona un recuento de las lecturas agrupadas en clases de diámetro. Debido a que los fragmentos de fibra se miden automáticamente mediante un sistema óptico y de procesamiento de imágenes, proporciona controles en el software para minimizar la inclusión de mediciones múltiples en la misma fibra y lecturas de diámetros falsos que surgen de materiales que no son fibras (IWTO-47, 2007).

Los instrumentos basados en el análisis de imágenes han sido diseñados para reducir el efecto de diferencias de habilidades entre operadores, y para acelerar el proceso de medición mientras se mantienen niveles aceptables de precisión y exactitud. Además, una gran ventaja del análisis de imágenes es la posibilidad de que el operador pueda ver los diferentes puntos de medición y detener el proceso si es necesario (IWTO-47, 2007).

2.3. Laserscan

Fue diseñado en la División de Tecnología de Lana de CSIRO, para la evaluación rápida de la distribución del diámetro de fibra de muestras de lana. También se le ha encontrado aplicación similar en la evaluación de las fibras de cachemira y mohair. Lynch y Michie en 1976 describieron al prototipo, conocido como Analizador de Distribución de Finura de Fibra (FFDA). Se produjeron modelos comercialmente disponibles como el FDA200 y uno mejorado el Sirolan-Laserscan (IWTO-12, 2011).

La diferencia entre el prototipo de FFDA y el comercial FDA200, fue la forma de la celda de medición. La celda divergente utilizada en el FDA200 fue una mejora en la medición de la media del diámetro de fibra. Similar a las mediciones de microscopio de proyección, los analizadores de diámetro de fibra proporcionan un recuento de lecturas agrupadas en clases de diámetro. Además, dado que las fibras se miden automáticamente mediante un sistema fotoeléctrico, proporciona una discriminación para minimizar la inclusión de lecturas, de muy bajo y alto diámetro en el recuento (IWTO-12, 2011).

El Laserscan es usado para una rápida medida y reporte de la distribución del diámetro de fibra. Mediante la preparación de snippets de una longitud de fibra (menor a 2 mm), se ponen en una mezcla de alcohol isopropílico/ con agua, donde se dispersan los fragmentos. Los snippets pasan por el haz de láser, estos, interceptan las fibras, midiendo la cantidad de luz dispersada; relacionada directamente con el diámetro de la fibra, la maquina puede calcular el diámetro de la fibra en micras. Son calculados la media de diámetro de fibra, desviación estándar, coeficiente de variación, curvatura de fibra, etc. También imprime las variaciones en el histograma (Cameron, 2014).

2.4. Características de la fibra de alpaca

La fibra de alpaca es una estructura organizada, formada principalmente por proteína llamada queratina que crece desde la raíz de la dermis. 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 en el mercado mundial (Kadwell et al., 2001). Está compuesta por la cutícula, corteza, y medula, ya que emerge de los folículos dentro de la piel. La fibra de alpaca, como la lana, mohair y la cachemira son proteína de queratina formado de elementos: carbón, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y azufre (Anderson et al., 2011).

La superficie externa de cada fibra está compuesta por una serie de células cuticulares superpuestas, al igual que las escamas de pescado, mostrando una superficie aserrada. Los bordes expuestos de las células de la cutícula apuntan desde la raíz, a lo largo del eje, hasta la punta de la fibra. Estos bordes de las células cuticulares facilitan la unión de las fibras en el hilado. Las células de la cutícula también sirven para proteger el vellón, como un repelente del agua, para prevenir otras injurias del medio ambiente. El patrón de la cutícula afecta

muchas las cualidades táctiles y visuales de la fibra de alpaca y acentúa algunas de las diferencias entre lana y la fibra de alpaca (Anderson et al., 2011)

2.4.1. Diámetro de fibra

La medición del diámetro de la fibra representaba un problema de coste y de accesibilidad dados los métodos tradicionales existentes, especialmente para los pequeños productores (Hoffman y Fowler, 1995).

En ovinos, desde 1947 existen métodos aceptados para evaluar el diámetro de fibra, longitud de mecha, densidad de fibra y rizo. La toma de muestra se realiza en la zona del costillar medio “midside” localizada horizontalmente en la tercera costilla y perpendicularmente en la parte media entre las líneas superior dorsal e inferior ventral (Turner et al., 1953). Basado en este método, se demostró que en alpacas la zona del costillar medio también resulta representativa para evaluar la finura y peso del vellón, constituyéndose por lo tanto en un buen criterio de selección para trabajos de mejora del diámetro de la fibra y del peso de vellón (Aylan-Parker y McGregor, 2002).

La media del diámetro de fibra es una medida de tendencia central y expresa el promedio del diámetro de las fibras de una muestra expresado en micras. El diámetro determina la finura del hilo y cuando se usa fibras finas se pueden producir tejidos suaves y ligeros. La fibra de alpaca tiene ciertas características, que la distinguen de otras fibras, especialmente de la lana (Cameron, 2014).

Tabla 1: Características de importancia para la fibra de alpaca según la industria peruana.

Huacaya	Suri
Finura (Diámetro de fibra) **	Finura (Diámetro de fibra) **
Longitud **	Longitud **
Color (uniformidad) **	Lustre ***
Compacticidad *	Suavidad **
Rizo *	Color (uniformidad) *
Brillo *	No presenta rizo *

Mayor importancia (***), menor importancia (*). Fuente: Cameron, 2014

2.4.2. Tacto y suavidad

Esta característica, es uno de los principales activos de la fibra de alpaca. La suavidad generalmente se debe al diámetro de la fibra, pero al compararlo con la lana, tiene una gran diferencia. Las células de la cutícula de la lana sobresalen aproximadamente en 0.8 micras (altura de la escala cuticular) en comparación con la fibra de alpaca que sobresale aproximadamente en 0,4 a 0,3 micras (en el Suri es mucho menor). Esto da una sensación de alrededor de 2/3 de micras más fina (más suave) que el diámetro equivalente en lana (Figura 1). Una fibra brillante de Huacaya y Suri, también se puede obtener una sensación más resbaladiza debido a que la frecuencia de escala mucho menor (Cameron, 2014).

Tales características son ventajosas para la alpaca, no solo por el lado de suavidad, sino también por la capacidad de llevar fibra de alpaca en la piel. Se podría suponer que el factor de picazón que se aplica a la lana con un 5% de fibras de más de 30 micras puede no ser tan severo en la fibra de alpaca equivalente, aunque si el hilo tiene muchas fibras gruesas, este puede no ser el caso. Los extremos de la fibra gruesa tocan la piel, estimulando a los receptores de dolor de la epidermis que causan picazón (Cameron, 2014).

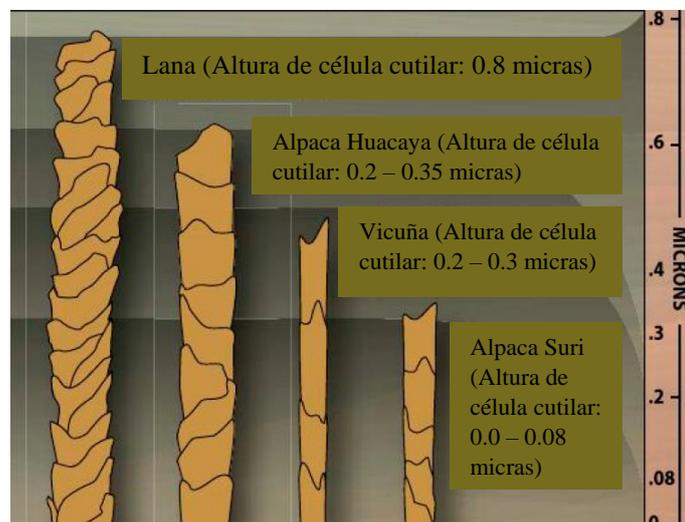


Figura 1: Altura y disposición de las células cuticulares de fibra de alpaca y lana.

Fuente: (Hoffman, 2003 citado en Alpaca Culture, 2012)

2.4.3. Desviación estándar

La desviación típica o estándar mide el grado de dispersión de los valores encontrados en una característica respecto a su valor promedio. Es simplemente el "promedio" o variación

esperada del diámetro de fibra respecto a la media del diámetro de fibra (McLennan y Lewer, 2005); esto indica que el diámetro de la fibra en la muestra varía respecto a la media. Cuanto menor es la desviación estándar, menor será la variación respecto a la media. Una desviación estándar (+1, -1 a cada lado de la media), representará el 68% de las fibras medidas (Cameron, 2014).

2.4.4. Coeficiente de variación

El coeficiente de variación (CV) es una medida de la heterogeneidad del diámetro de las fibras dentro de un vellón y se expresa como el cociente entre la desviación estándar y el promedio multiplicado por 100, por lo tanto, su magnitud se expresa en porcentaje. Un vellón con CV bajo indica una mayor uniformidad entre los diámetros de las fibras individuales que lo componen (McLennan y Lewer, 2005).

Para obtener una medida exacta del CV, es necesario evaluar varias fibras; lo cual se convirtió en una exigencia viable luego de la introducción del Laserscan y del OFDA, que pueden medir rápidamente muchas fibras. La ventaja de usar CV para describir la distribución del diámetro, en lugar de desviación estándar, para una aproximación de primer orden, no es tan dependiente de la media del diámetro de fibra (Marler y Baxter, 2004).

Las muestras en cuadrantes pueden tener un CV más alto sobre el cuerpo del animal. Un sitio único debe ser más uniforme (costillar medio), por lo tanto, debe tener un CV más bajo que el cuadrante. Se observó que el CV era independiente del diámetro de la fibra; es decir, no se observó que el diámetro de la fibra tuviera ningún efecto y/o influencia en la CV. El CV permite comparar diámetros de varias poblaciones entre sí. Ambos, la desviación estándar y el CV miden el grado de variación del promedio en micras en la muestra analizada (Cameron, 2014). Asimismo, el límite para rendimientos textiles acorde a su diámetro no debe superar el 24%, y este se encuentra asociado al rendimiento del hilado, propiedad conocida también como finura al hilado (Quispe et al., 2009).

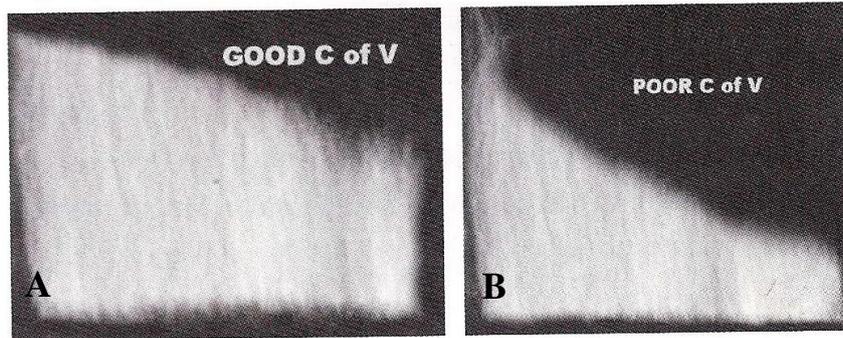


Figura 2: Fibras distribuidas en paralelo, con un alto (A) y bajo (B) coeficiente de variación, Fuente: Cameron, 2014.

2.4.5. Longitud de mecha

La longitud básicamente controla el método de procesamiento de fibra de alpaca (cardado o peinado), es decir, las fibras de longitud más corta se procesarán en el sistema de cardado (por ejemplo, 2 "-3" o 50-75mm) y la más larga (3 "-5.5" o 75-140mm) por el proceso de peinado. La longitud promedio en el top contribuye a la resistencia del hilo al aumentar la adhesión de las fibras durante el hilado. Es muy importante en el procesamiento que la longitud sea relativamente uniforme. Es difícil configurar el equipo de procesamiento cuando la longitud es variable. Al igual que las micras, un menor coeficiente de variación de la longitud producirá un mejor producto (Cameron, 2014).

En la comercialización el término longitud de mecha, es el promedio de longitud que describe desde la base de la mecha hasta las fibras más largas. En cada grupo de fibras existen fibras cortas, medias y largas, debido a que la fibra no crece uniformemente desde que se origina en la piel, como consecuencia de factores como la edad, alimentación y el medio ambiente (Bustanza, 2001).

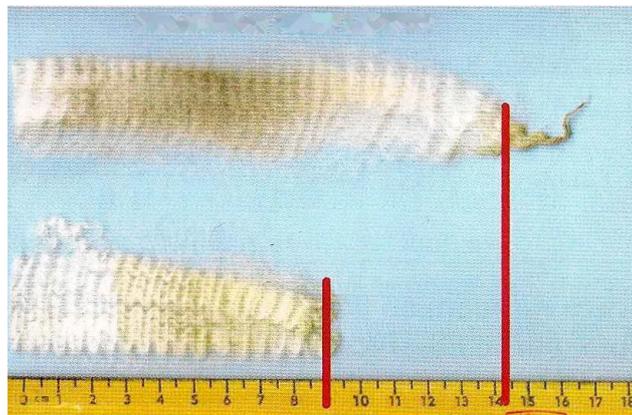


Figura 3: Medida de longitud de mecha de fibra de alpaca, Fuente: Cameron, 2014.

2.4.6. Finura al hilado

Esta es una medida (usando el diámetro y CV) para estimar el rendimiento de la fibra cuando se obtiene en hilo. Se ha demostrado en la industria ovina que, si puede reducir su CV en alrededor de un 5%, entonces logrará un hilo que se comporta como un hilo de un diámetro más fino (finura al hilado). También puede ocurrir lo contrario. Aquellos con un alto CV pueden no solo indicar que la fibra varía mucho del promedio, sino que también puede indicar un mayor número de fibras gruesas (que pueden o no ser pelos) a lo largo de la mecha o vellón. Esto suele ser identificado por la forma de histograma. Los tipos de fibra "elite" deberían producir un hilo al tacto más suave. Algunos compradores de lana toman en consideración la "finura al hilado" cuando compran fibra, pero la mayoría todavía compra de acuerdo con la finura (Cameron, 2014), Por ejemplo:

- 22 micras - CV 24% = finura de hilado aprox. 22um;
- 22 micras - CV 19% = finura de hilado aprox. 21um;
- 22 micras - CV 29% = finura de hilado aprox. 23um.

La fórmula que se observa para estimar finura al hilado, en función de la media del diámetro de fibra y coeficiente de variación es la siguiente:

$$\text{Finura al hilado} = 0.881 \text{ MDF} \sqrt{1 + 5 \left(\frac{\text{CV}\%}{100} \right)^2}$$

2.4.7. Lustre y brillo

El lustre (Suri) y el brillo (Huacaya) son características importantes en la fibra de alpaca. El lustre para Suri es probablemente su característica principal; porque sin esto, no es nada en el mercado de la alta moda. La mayoría de las telas de Suri están cepilladas para resaltar el acabado brillante. En Huacaya, también se desea el brillo (Figura 4). Pero no se quiere el "lustre del Suri" en una fibra Huacaya. Un buen brillo / brillantes permite expresar colores de tinte delicados, mientras que un vellón opaco y sin brillo no lo puede hacer. Hay muchos atributos que crean este efecto, sin ningún orden en particular:

- Longitud y altura de escala;
- Forma de la fibra;

- Vellón opaco/ altamente medulado/ excesivos pelos de protección;
- Frecuencia de rizo en Huacaya;
- Impurezas – amarillamiento (cera / suint) y polvo.



Figura 4: Fibras de alpaca con lustre de Suri (A) y brillo de Huacaya (B), Fuente: Cameron, 2014.

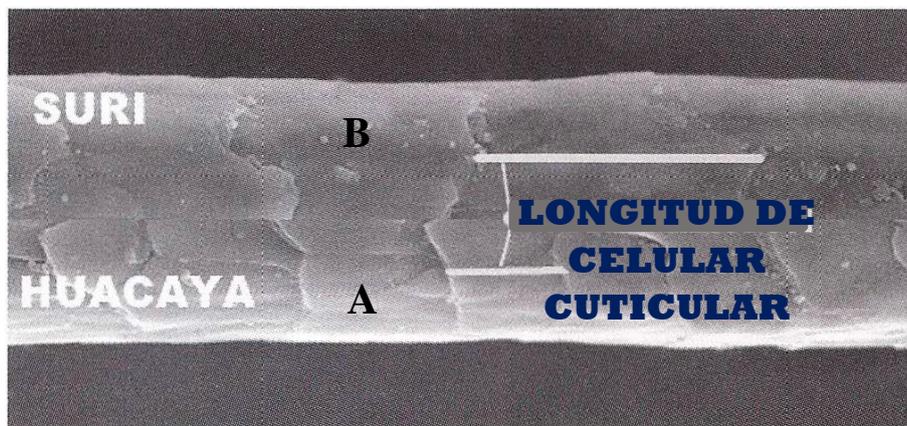


Figura 5: Comparación de la superficie cuticular entre la fibra de Huacaya (A) y Suri (B), Fuente: Cameron, 2014.

2.4.8. Rizo

El rizo es la formación de onda natural que se encuentra en el vellón de la alpaca Huacaya. Es una estructura multidimensional, y su expresión está determinada por la genética (células corticales - estructura bilateral), la amplitud, la frecuencia de rizo y el diámetro. La frecuencia, es el número de veces que la fibra se ondula por pulgada; la amplitud, es la altura (profundidad) de la onda; se dice que el rizo profundo tiene una gran amplitud. En la industria de la lana, se dice que un vellón bien rizado indica que la oveja está bien criada y es más probable que se reproduzca fiel al tipo de rizo. La variación en el rizo también puede

indicar cómo el animal ha prosperado durante el período de crecimiento del vellón (Cameron, 2014).

El índice de curvatura de la fibra es una característica textil adicional que puede ser utilizado para describir la propiedad espacial de una masa de fibras de lana. Esta propiedad, que es común a todas las fibras textiles, es de interés para los fabricantes de alfombras y prendas de vestir. Los fabricantes de fibras sintéticas introducen rizados a sus fibras y filamentos a fin de mejorar la densidad de sus productos textiles (Fish et al., 1999). El rizado de la lana, expresado como curvatura de fibras, se puede medir utilizando el OFDA y LaserScan, ambos de fabricación australiana (Quispe et al., 2008).

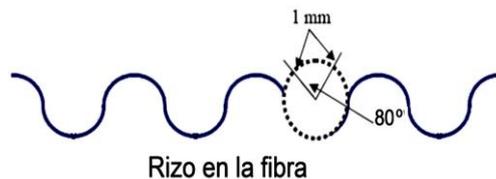


Figura 6: Representación bidimensional de la forma de una fibra de lana. (Tomado de Fish et al., 1999).

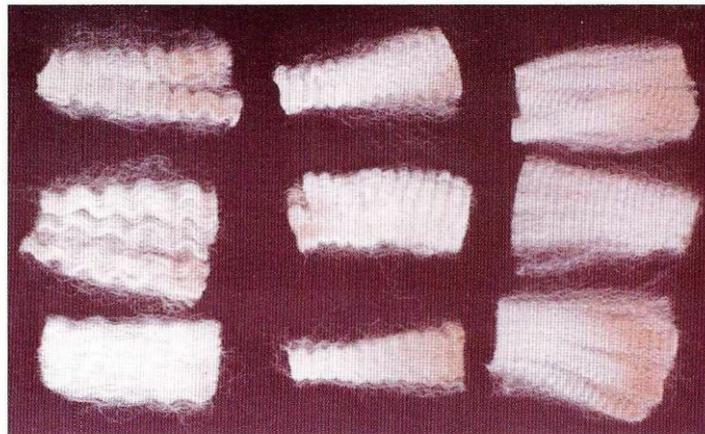


Figura 7: Muestras de fibra de alpaca Huacaya con diferentes tipos de rizo. Fuente: Cameron, 2014.

2.4.9. Fibras Meduladas

Las de muchos animales, incluyendo las alpacas, tienen un tercer tipo de célula conocida como médula. Estas células, son huecas y redondeadas, se encuentran a lo largo del eje principal de la fibra y pueden recorrer continuamente de un extremo a otro de la fibra. Los pelos de protección (fibras meduladas) son verdaderas fibras capilares, y por lo tanto no tienen las mismas propiedades de hilado y teñido como "fibras similares a las lanas". La

estructura encontrada en las fibras meduladas es probablemente una herencia de animales primitivos silvestres anteriores que utilizaron estas fibras para su protección. Las células medulares se forjan en la cúpula de la papila y se limitan a la región central de la fibra a medida que se desarrolla en el folículo (Cameron, 2014).

La fibra de alpaca, aparte de la cutícula y corteza, una médula en la parte central con un efecto aislante; de modo que las prendas confeccionadas con estas fibras mantienen el calor en quienes los usan (Wang et al., 2005). Sin embargo, para fines de 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 claras (Rodríguez, 2006).

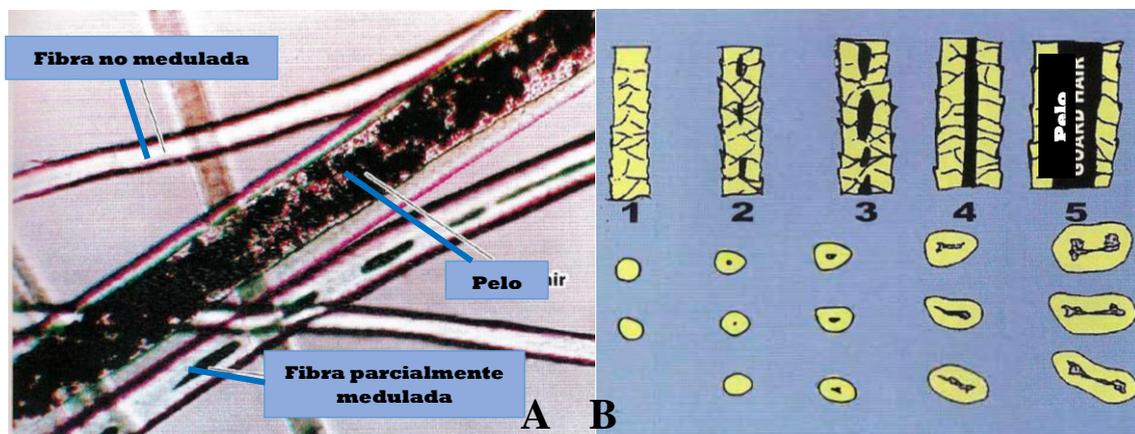


Figura 8: Vista de fibras no meduladas, meduladas y pelo de protección (A). Tipos de fibras meduladas presentes en la fibra de alpaca (B), (adaptado de Villaroel, 1963).

2.4.10. Factor confort y picazón

El factor confort se define como el porcentaje de las fibras menores a $30\mu\text{m}$ que tiene un vellón, conocido también como factor de comodidad. Si más del 5% de las fibras son mayores a $30\mu\text{m}$, la prenda resulta no ser confortable para su uso por la picazón que se siente en la piel. Por tanto, la industria textil prefiere vellones con un factor confort igual o mayor a 95% (McLennan y Lewer, 2005). Esta característica lo determina los equipos OFDA (Optical Fiber Diameter Analyzer) y el Sirolan LaserScan cada vez que estos determinan la media del diámetro de fibra de una muestra de vellón (Naylor, 1997).

Es un término dado a las sensaciones percibidas por el contacto de la ropa con la piel. La sensación principal es la picazón o picor que pocas personas identifican como molestias e

incomodidad. El picor no es una alergia, sino una respuesta de los receptores nerviosos de la piel, causada por las fibras gruesas (más de 30 micras) que sobresalen del hilo en la tela (Figura 11). Las fibras gruesas son las fibras que sobresalen de la tela y ejercen una fuerza de 100mg o más. Esto pica la piel activando posteriormente los receptores del dolor en la dermis. Las fibras más finas y flexibles no crean el mismo problema. Es una punzada o picazón que se percibe y no un dolor. El hilo con un alto contenido de fibra gruesa medulada producirá una incomodidad mucho mayor para el usuario. Holt y Scott en 1998, encontraron una ligera diferencia entre la fibra Huacaya y la fibra Suri para esta característica, demostraron que una lana de un diámetro medio de 21 micras y un coeficiente de variación que tenga menos del 5% de fibra de más de 30 micras no debe percibirse como un problema de picazón (Cameron, 2014).

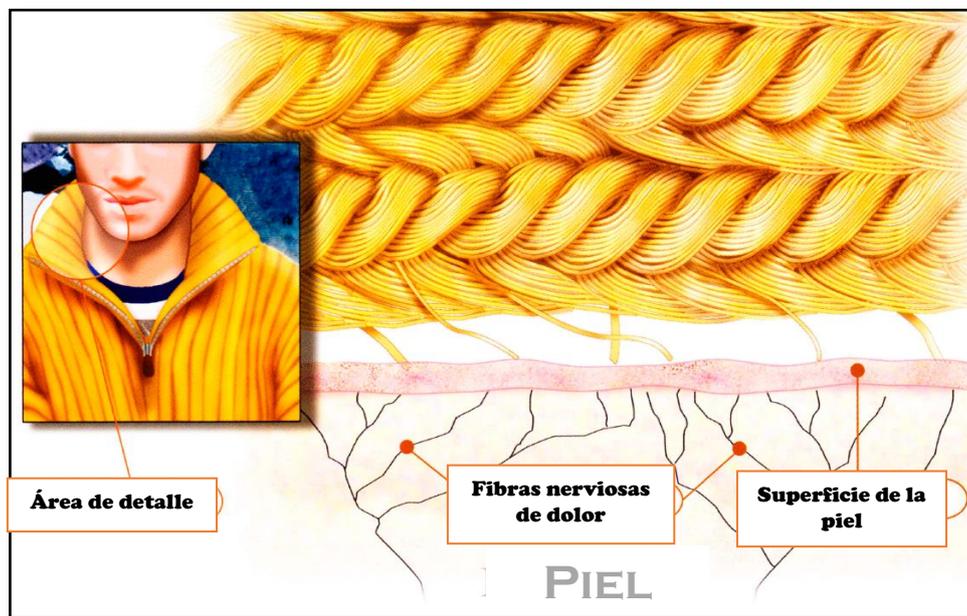


Figura 9: Estructura nerviosa de la piel y el factor picazón (Fuente: Anderson *et. al*, 2011).

2.5. Precisión

La precisión describe la capacidad de repetir de manera muy cercana los resultados de una medición, cuando el instrumento de medida tiene la habilidad para repetirlo más de una vez; ósea la concordancia entre valores numéricos de dos o más mediciones replicadas o que fueron hechas exactamente de la misma manera (Figura 12). La precisión de la medida de un conjunto de datos replicados generalmente es evaluada mediante la varianza, desviación estándar y coeficiente de variación (Marler y Baxter, 2004).

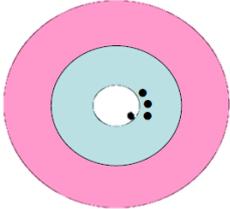
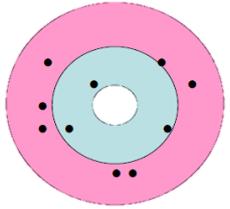
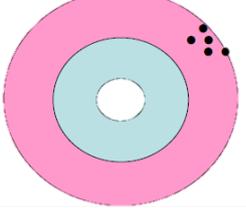
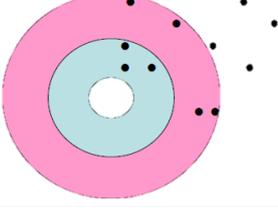
Es decir, una prueba precisa dará continuamente la misma respuesta cada vez que se complete la prueba en la misma muestra. Por ejemplo, si se mide una muestra de fibra varias veces en un mismo equipo y las mediciones son las mismas, esta será precisa (Hygate, 2002).

2.6. Exactitud

La exactitud describe la similitud de un resultado con el "valor verdadero" (Figura 12). Estrictamente hablando la única medición que puede ser completamente exacta es contar objetos; cualquier otra medición contiene errores y es solo una aproximación o estimaciones. Estudios realizados en Australia en el año 2004 indican que su valor "verdadero" de cada vellón de ovino esquilado por muestreo múltiple, produjo dos muestras de 70g, basados en la IWTO para OFDA100 (Marler y Baxter, 2004).

La exactitud es la capacidad de una prueba para predecir el valor verdadero de lo que se mide (es decir, el valor de prueba es el valor verdadero). Por ejemplo, al usar una cinta métrica para medir la longitud de un trozo de madera; si las medidas impresas en la cinta se derivan de una organización de medidas estándar y la cinta está alineada correctamente con la madera, las medidas serán exactas (Hygate, 2002).

Tabla 2: Representación esquemática del "punto blanco" de exactitud y precisión

	
<p style="text-align: center;">Exacto y Preciso</p> <p>Los resultados son similares y cercanos al verdadero resultado.</p>	<p style="text-align: center;">Exacto pero Impreciso</p> <p>El promedio es cercano al verdadero resultado, pero los resultados individuales están dispersos.</p>
	
<p style="text-align: center;">Inexacto pero Preciso</p> <p>El promedio de resultados no es cercano al resultado verdadero, pero los resultados individuales son similares.</p>	<p style="text-align: center;">Inexacto e Impreciso</p> <p>Los promedios de resultados no están cerca del valor verdadero y los resultados individuales están dispersos.</p>

Fuente: (Marler y Baxter, 2004)

2.7. Error y sesgo

El sesgo es el resultado de errores sistemáticos y tiene efecto significativo sobre la exactitud. En cambio, el error de un número de mediciones replicadas es igual a la suma de los tipos de errores (errores aleatorios y errores sistemáticos). Por ejemplo, los errores aleatorios impactan principalmente en la precisión. Estos errores actúan siempre en una misma dirección resultando en valores consistentemente mayores o menores que el que provee el método de referencia. Los sesgos pueden ocurrir por diversas causas, pero se pueden clasificar dentro de grupos (Sacchero, 2005).

Hygate (2002) indica que el sesgo, es un error de muestreo sistemático. Un resultado sesgado dará, en promedio, una estimación más alta (o más baja) del valor verdadero para todas las muestras que se analizan. Para nuestro ejemplo de una cinta métrica, si la cinta métrica se imprime de modo que 1 mm sea en realidad 0,9 mm, el resultado siempre tendrá un sesgo,

ya que las medidas que obtenga siempre serán más altas (en este caso) que las medidas reales. En esta situación, el sesgo también se puede introducir al no colocar la cinta directamente en cada extremo del objeto que se deba a medir.

2.8. Repetibilidad

La repetibilidad puede ser expresada cuantitativamente en términos de la dispersión característica de los resultados. La misma se define, de acuerdo con el Vocabulario Internacional de Metrología (VIM), como la proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mensurando bajo las mismas condiciones de medición. Estas condiciones son llamadas condiciones de repetibilidad. Las condiciones de repetibilidad incluyen, el mismo procedimiento de medición, el mismo observador, el mismo instrumento de medición, utilizado bajo las mismas condiciones, el mismo lugar, repetición en un período corto de tiempo (Portuondo, 2010).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización

El trabajo se realizó en el Laboratorio de Fibras, Pieles y Cueros “Alberto Pumayalla Díaz” del Programa de Ovinos y Camélidos Americanos (POCA), de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM), ubicado en el Distrito de La Molina, Provincia y Departamento de Lima, en el Perú; en un ámbito de desierto costero con las características geográficas y meteorológicas siguientes: altitud media de 154 m.s.n.m., temperatura promedio anual de 18.5 °C (29 –12 °C), ausencia total de precipitaciones y humedad relativa de 100%, bajo las coordenadas 12°04'55"S 76°56'53"O.

3.2. Material de campo

Se utilizaron 8 muestras de tops de lana con diámetros conocidos, de la ronda 2017-II de la International Wool Textile Organisation (IWTO), (Cuadro 02); y 5 tops de fibra de alpaca, con fibras de diámetro conocido (Cuadro 03). El total de muestras de fibra de alpaca fue de 213, entre machos y hembras, y de 35 en ovinos. Los materiales de campo empleados fueron: bolsas de polietileno, lapicero, plumón indeleble y una tijera de esquila.

3.3. Materiales de laboratorio

En la preparación de todas las muestras de fibra, y tops de fibra de alpaca y lana, se utilizaron: una guillotina, micrótopo modelo Hardy, placas Petri, brochas, portaobjetos, cubreobjetos, aceite de inmersión, cinta adhesiva, pinzas y lapicero.

3.4. Equipos utilizados

- Psicómetro digital estático;
- Psicómetro digital portable;
- Deshumificador;
- Humidificador;
- Aire acondicionado;
- Sirolan Laserscan;
- Microscopio de Proyección;
- MiniFiber-EC;
- Fiber-EC;
- Leviatan;
- Estufa;
- Laptop.

Tabla 3: Valores de la media del diámetro de fibra, desviación estándar y coeficiente de variación de tops de lana y fibra de alpaca.

N.º Top	Media Diámetro de Fibra (μm)	Desviación Estándar (μm)	Coefficiente Variación (%)
*Tops de lana			
1	15.71	3.14	20.00
2	18.47	3.86	20.89
3	20.66	4.19	20.69
4	24.29	5.45	22.43
5	26.57	6.19	23.29
6	31.65	7.02	22.18
7	32.60	8.34	25.57
8	35.37	8.87	25.07
Tops de fibra de alpaca			
1	16.80	3.90	23.40
2	18.70	4.60	24.70
3	21.40	6.20	29.20
4	24.50	7.20	29.40
5	31.40	9.70	30.70

Fuente: *INTERWOOLLABS (2017)

En alpaca no existen tops patrones de fibra de alpaca que se pueda utilizar, como se hizo con los tops patrones de lana; por lo tanto, se escogió 5 tops de un total de 30 tops de fibra de alpaca, con valores conocidos; para poder utilizarlos como patrones estándar. El criterio de selección fue por el diámetro de fibra (patrones finos, intermedios y gruesos). Se utilizó el Laserscan como equipo estándar para confirmar sus valores conocidos, realizando 3 mediciones por cada top; y se escogió, aquellos que tenían valores cercanos entre si (buena precisión), y mediante la desviación estándar se evaluó la uniformidad del top.

3.5. Metodología de la investigación

3.5.1. Colección de muestras en campo

Se realizó el muestreo de fibra de alpaca y lana, empleando una tijera de esquila, se cortó un conjunto de mechas del costillar medio; seguidamente se registró la identificación de cada animal muestreado, y en una bolsa de polietileno donde se conservó hasta su análisis de laboratorio.

3.5.2. Colección de muestras de tops

Se utilizaron 8 muestras de tops de lana, de la ronda 2017-II de la INTERWOOLLABS, y 5 tops de fibra de alpaca; con una tijera se obtuvo una muestra representativa de cada top, la misma que se colocarán en una hoja de papel bond cubriéndola en su totalidad, se marcó y almacenó en una bolsa de plástico (ziploc).

3.5.3. Lavado de muestras

Las muestras de fibra de alpaca y de lana se realizó en un equipo Leviatán, en cuatro fases: **fase 1:** las muestras se sumergieron en agua, a una temperatura de 50-55°C, siendo agitada durante 5-10 minutos con el objetivo de liberarla de impurezas y grasa; **fase 2:** lavado en una solución de agua con detergente TINOVETINA®, a una temperatura de 50-55 °C, siendo agitada durante 5-10 minutos; **fase 3:** lavado en solución de agua y jabón BP-NID® a 50-55 °C; y **fase 4:** enjuagado con agua a temperatura ambiente. Luego las muestras se exprimieron y secaron a la misma temperatura, permaneciendo en una estufa, a 105°C, durante 2 horas; aplicando la especificación IWTO-52, que señala los procedimientos de acondicionamiento para evaluaciones textiles. (IWTO-52, 2006).

3.5.4. Acondicionamiento del laboratorio y muestras

Las condiciones del laboratorio se ajustaron a las especificaciones de la IWTO-52 (IWTO-52, 2006). Se trabajó en un ambiente cerrado y controlado, con humedad relativa de 65% y una tolerancia de $\pm 3\%$; la temperatura fue de 20°C, con una tolerancia de $\pm 2^\circ\text{C}$. Para obtener estas condiciones se graduó el aire acondicionado en modo “DRY” y a temperatura de 20°C; Asimismo, el deshumidificador se graduó en el modo “deshumidificación normal”, a una

humedad de 65%; manteniéndose encendido el psicómetro. Una vez que la humedad y temperatura se mantuvieron constantes, las muestras de tops fueron sacadas de las bolsas, colocándolas en un lugar seco y se extendió sobre un papel bond. Luego de dos horas fueron volteadas, con la finalidad de lograr un acondicionamiento homogéneo en toda su extensión. Este procedimiento se realizó para los tops y muestras de lana y fibra de alpaca.

3.5.5. Metodología de evaluación de los equipos

a. Laserscan

Para la calibración del Laserscan se utilizó 8 tops patrones de lana proporcionados por INTERWOOLLABS. Se siguió el protocolo establecido en la IWTO-12 (IWTO-12, 2011). Se configuró el software para 10000 mediciones aceptables en un rango de 0-80, una vez encendido el equipo 04 horas antes. Primeramente, se cortó las muestras de tops con una guillotina, a un tamaño de 2.0mm; asegurando que no haya sobre posición u omisión de fibras; debajo de la plataforma de la guillotina se coloca una placa Petri para el depósito de los fragmentos cortados.

La limpieza de la guillotina y plataforma se realizó con una brocha, por encima y debajo sin provocar corrientes de aire que puedan ingresar fibras residuales al próximo corte de la siguiente muestra. Seguidamente se digita la identificación de la muestra en el software del Laserscan, y con una pinza se colocó una pequeña cantidad de fragmentos de fibra en la botella de dispersión de fibras del Laserscan para su medición. El tiempo de medición en promedio fue de 1 minuto por muestra.

La muestra evaluada ingresa en la botella de dispersión donde se dispersa en un fluido de transporte desde un tanque colector. El fluido transporta las fibras a hacia un rayo láser. Un detector responde al cambio en el rayo láser causado por un fragmento de fibra que pasa; estos cambios son vistos como impulsos eléctricos que se convierten en forma digital. Si la imagen recibida simultáneamente en el discriminador de fibra óptica se evalúa como un fragmento único, se le asigna una clase de micrómetro de acuerdo con la tabla de transformación en uso. Al final de la medición, se muestra una tabla de frecuencias para esta clase de micrómetros y puede imprimirse junto con estadísticas calculadas como la media y la desviación estándar para la distribución (Cuadro 4). Los filtros retiran las fibras

del fluido de transporte que es recirculado por una bomba de acuerdo con lo establecido en la IWTO-12 (IWTO, 2011).

Tabla 4: Descripción de los componentes del Laserscan

Componentes	Descripción
Fuente de alimentación	110/220/240 voltios de CA; 200 vatios
Requisitos de la computadora	Una PC compatible con IBM con al menos 733 MHz de CPU Pentium III, 128 MB de RAM, video de 800x600x 16 bits, unidad de CD-ROM y 40 MB de espacio libre en el disco.
Tableros de computadora adicionales	Tarjeta de adquisición de datos 6025E de National Instruments
Cable del Laserscan a la computadora	Cable blindado. Conector AMP de 100 vías en la PC, Shell D de 50 vías en la PC
Plomería: <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de sumidero; • Filtros. 	<ul style="list-style-type: none"> • 2,3 litros de propanolol + 8% de volumen de agua; • Filtro primario: filtro de tela; secundario: filtro de carbón en línea reemplazable, poros de capsula SARTOPURE 5µm.
Sistema de medida: <ul style="list-style-type: none"> • Técnica; • Rangos; • Calibración; • Numero de fibras medidas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Difracción Fresnel; • 0-80, 0-160 micras de diámetro de fibra; • Tops estándar de Interwoollabs; • 1000, 2000, 10000 fibras.
Ambiente	Temperatura de funcionamiento: de 16°C a 25°C; humedad: 20% a 80% humedad relativa.

Fuente: Laserscan Technical Manual, 2008

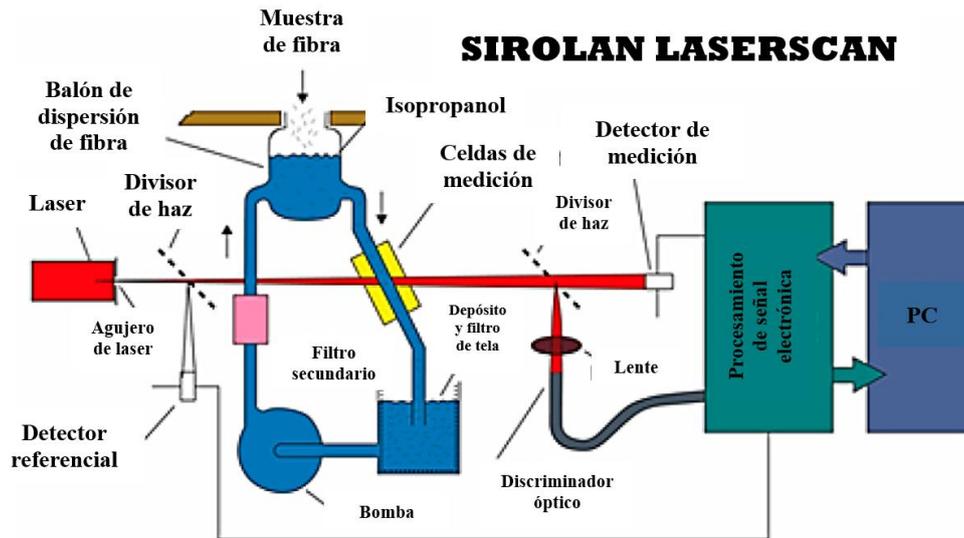


Figura 10: Diagrama del Laserscan. (Fuente: Sommerville, 2007)



Figura 11: Fotografía del Laserscan.

b. Microscopio de proyección

El microscopio de proyección se calibró de acuerdo con las especificaciones de la IWTO-08, indica que debe calibrarse donde no excedan los 12 meses de uso, pero siempre inmediatamente después del servicio del equipo, con una escala certificada (el tamaño de escala conveniente es de 1mm dividido en 0.01 mm) y la ampliación ajustada a 500 ± 1 . La ampliación se ajustó a 0,1 mm de la escala de la regla de 50 mm en la pantalla. El aumento

debe medirse como un promedio de 5 mediciones tomadas después reenfocando la imagen de la regla en diferentes posiciones dentro del área de medición. Todos los valores individuales deben estar dentro de ± 5.0 unidades de aumento (IWTO-08, 2011).

Primero con un micrótopo de Hardy se realizó varios cortes del top, y sobre un portaobjetos se colocó los fragmentos cortados, se les adiciono aceite de inmersión y con una bagueta se homogenizó la mezcla sin provocar burbujas de aire que pueda dificultar la observación de las fotos capturadas. Luego se colocó un cubreobjetos sobre la mezcla y se marcó con un plumón indeleble el código de la muestra. El enfoque del microscopio se realizó con el micrométrico para capturar las fotos con el programa Motic 3.1. Luego se realizó la medición de 600 fibras por muestra, en este caso se realizó 02 repeticiones para el caso de los tops de fibra de alpaca y lana. Finalmente se procesó las fotos medidas en el programa VICUGNA para la obtención de los parámetros como la media del diámetro de fibra, desviación estándar, coeficiente de variación y factor confort.

El microscopio debe comprender una fuente de luz, un condensador de luz, una plataforma que soporte la muestra montada de fibras, un objetivo, un ocular y una pantalla de visualización. La plataforma debe poder moverse en 2 direcciones en ángulo recto mediante mecanismos de deslizamiento capaces de desplazamientos sucesivos en escalas de 1,0mm. El objetivo y el ocular deben ser capaces de proporcionar una ampliación de 500x en la pantalla. La pantalla debe estar marcada en un área de medición de aumento uniforme, que debe confirmarse con una regla certificada. La pantalla debe tener un sistema de medición asociado, capaz de medir la imagen proyectada del fragmento de fibra en la pantalla con una precisión de ± 1 mm en cualquier orientación y posición dentro del área de medición (IWTO-08, 2011).

Tabla 5: Descripción de los componentes del microscopio de proyección

Componentes	Descripción
Fuente de alimentación del Microscopio	110/220/240 voltios de CA; 200 vatios
Requisitos de la computadora	Una PC compatible con IBM con al menos 733 MHz de CPU Pentium III, 128 MB de RAM, video de 800x600x 16 bits, unidad de CD-ROM y 40 MB de espacio libre en el disco.
Microscopio óptico: <ul style="list-style-type: none"> • Sistema óptico; • Sistema mecánico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dos binoculares, objetivos de 5x, 10x, 40x y 100x; • Lentes de iluminación; • Porta objetos con desplazamiento en direcciones a la recta de X y Y.
Sistema de medida: <ul style="list-style-type: none"> • Técnica; • Rangos; • Calibración; • Numero de fibras medidas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Proyección de imágenes; • 0 - a lo máximo de micras encontradas en la imagen proyectada; • Tops estándar de Interwoollabs; • 600 fibras por muestra.
Ambiente	Temperatura de funcionamiento: de 16°C a 25°C; humedad: 20% a 80% humedad relativa.
Software	Para la captura de imágenes y el procesamiento de los datos; diagrama de distribución e información estadística.
Accesorio	Microtomo de Hardy (para corte de muestras en fragmentos de 0.8mm).

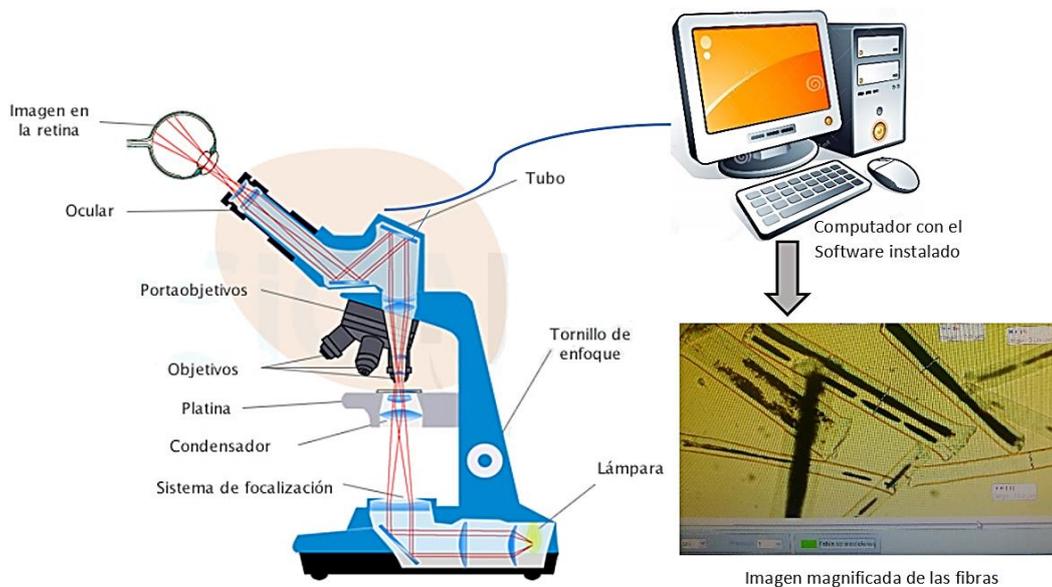


Figura 12: Diagrama del microscopio de proyección



Figura 13: Fotografía del microscopio de proyección

c. **Fiber-EC**

La calibración y validación del Fiber-EC V.4. se realizó de acuerdo con las especificaciones de (Quispe et. al, 2018), se utilizó 8 top estándar de la ronda 2018-I de la INTERWOOLLABS. En la calibración, se midieron 4 submuestras de cada top, el tamaño de los fragmentos fue de 2.0mm, cortados con una guillotina, colocados en porta fibras de 7x8cm luego se realizó una ponderación y transformación de pixeles a micrones, mediante una regresión lineal simple en el programa Excel®-2016. Se obtuvieron los promedios de

cada submuestra y se realizó el ploteo (Gráfico 02) con los valores conocidos de cada top patrón, estableciendo la regresión lineal. La ecuación fue introducida al algoritmo del equipo, obteniendo así un equipo calibrado; luego se midió las mismas submuestras comprobándose que el valor dado del top estándar sea el mismo, para obtener un equipo validado (Cuadro 03).

El diseño fue desarrollado y construido del Fiber-EC se llevó a cabo en el Laboratorio de Electrónica y Mecánica de MAXCORP Technologies S.A.C., ubicado en Lima, Perú. El Fiber-EC comprende cuatro componentes: Electrónico, Mecánico, Óptico y el Software; se basó en la captura de imágenes de fibras dispersas mediante un componente óptico, que mediante un software son procesadas, utilizando tecnología de visión artificial que involucra: conversión de las imágenes a escala de grises (preprocesado-realce), segmentación y suavizado, binarización de imágenes para distinguir fibra y fondo (1=muestra, 0=fondo), operaciones morfológicas de erosión y dilatación (para eliminar restos no deseados y homogenización de las imágenes), y esqueletización y podado de las imágenes de las fibras, para luego utilizar la transformación de «Hough», con el fin de hallar rectas a lo largo de la curvatura de las muestras de imágenes de fibra (Quispe, et al., 2018).

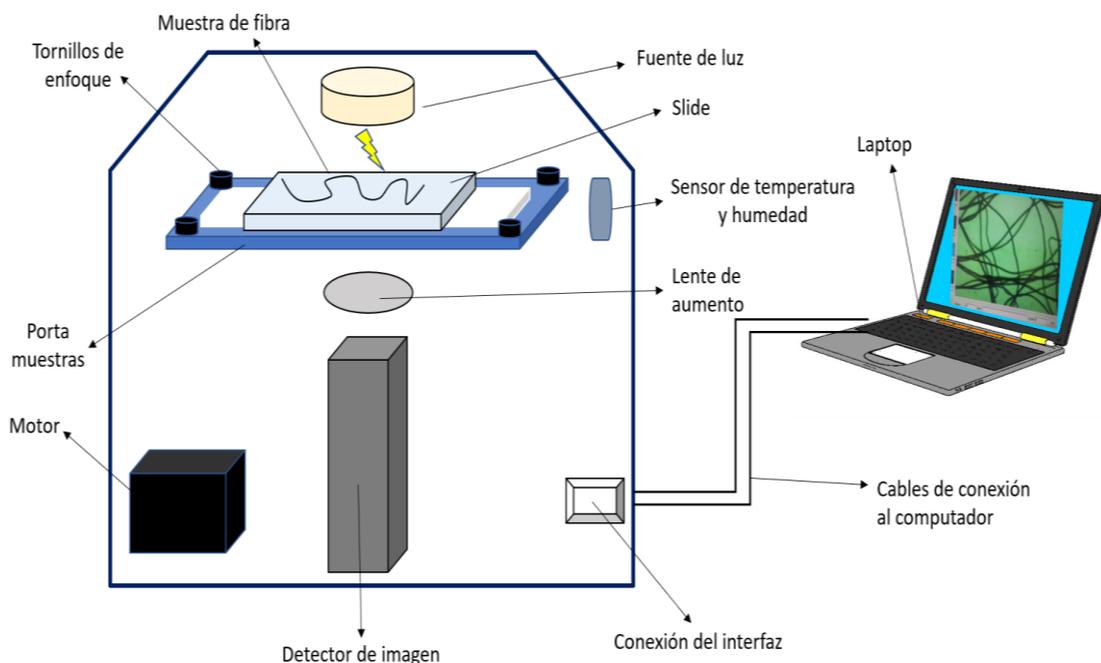


Figura 14: Diagrama de medición del Fiber-EC

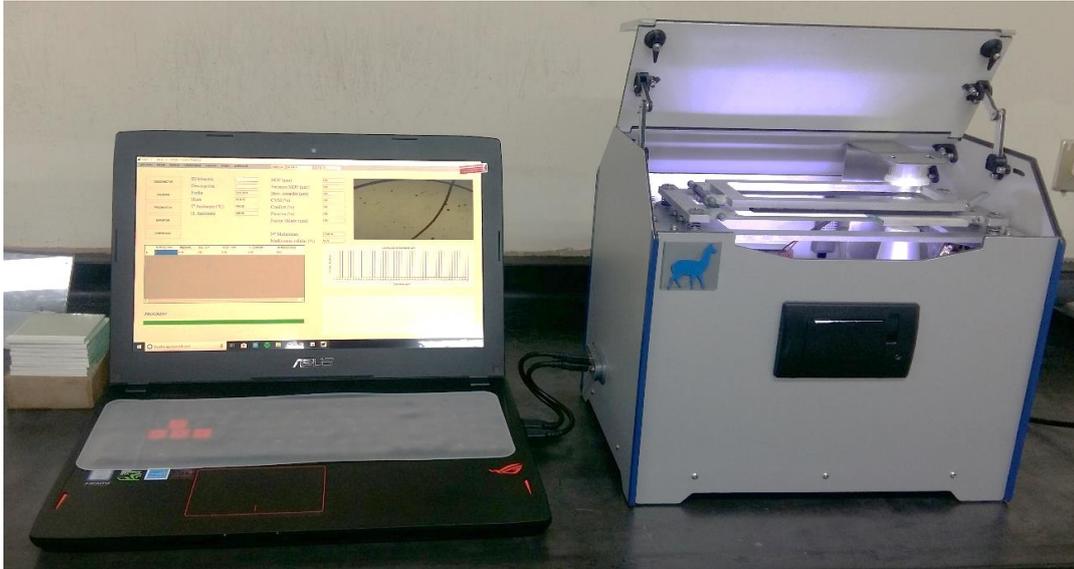


Figura 15: Fotografía del Fiber-EC V4.0

Finalmente, la detección de bordes para definir la distancia del diámetro de la fibra expresado en pixeles. A fin de captar la mayor cantidad de imágenes de fibras dentro del componente mecánico se consideró una parte móvil donde se colocaron las muestras que permitía realizar un barrido en dos direcciones de la recta X e Y, gobernado por el componente electrónico. El Fiber-EC trabaja en “modo de fragmentos” (para uso en laboratorio), siguiendo el procedimiento de IWTO-47, también puede medir mechas en “modo mechas”, para uso en campo (Quispe, et al., 2018).

El equipo tiene la capacidad de trabajo en campo, en condiciones de altitud hasta 5300 metros sobre el nivel del mar y a temperaturas hasta de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, de medir fibras en diferentes rangos de diámetro, existiendo procedimientos específicos para la evaluación de fibras de vicuñas, alpacas, llamas, ovinos, cachemira, mohair y pelo de vacuno, con capacidad de incorporación de procedimientos para otros tipos de fibras (Quispe, et al., 2018).

Tabla 6: Descripción de los componentes del Fiber-EC

Función/componente	Descripción
Función principal	Performance: Mide 6 características de la fibra animal: promedio del diámetro de fibra, desviación estándar, coeficiente de variación, varianza, factor confort y picazón. El sistema de visión permite ver las fibras medidas en tiempo real.
	Portabilidad: Diseño rectangular, dada para ser transportada fácilmente desde el laboratorio hasta la granja.
	Bajo costo de producción < US\$ 5000: Es más bajo que el de los competidores (OFDA, Sirolan Laserscan).
Estructura del material	El material resistente evita la corrosión durante el trabajo de campo. El peso total es de 16,5 kg.
Calidad de resultados	Precisión: Error bajo para fibras finas (0.034 para muestras de 15 μ m) y alto para fibras gruesas (1.317 para muestras de 32 μ m)
	Exactitud: Las mediciones tienen una baja diferencia con el valor real para las fibras finas y es mayor con las fibras gruesas (entre \pm 0.075 y \pm 0.347 μ m).
Cantidad de fibras medidas	En promedio 10465, y como máximo 15766 y mínimo 6675 fibras contadas y medidas.
Velocidad de medida	36 segundos con fragmentos y 70 segundos con mechas.
Energía eléctrica	La fuente de energía eléctrica: Batería de 220V. puede conectarse directamente a la batería del carro. La corriente eléctrica de los enchufes no debe exceder de 1.5A

Fuente: Quispe *et. al.* 2018

d. MiniFiber-EC

La calibración y validación del MiniFiber-EC V.2. se realizó de la misma forma que el Fiber-EC descrito anteriormente de acuerdo con las especificaciones de (Quispe *et. al.*, 2018), se utilizó 8 patrones top de la ronda 2018-I de la INTERWOOLLABS. Cabe indicar que la calibración y validación del MiniFiber-EC y Fiber-EC se realizó al mismo tiempo con los mismos fragmentos de tops y con los mismos slides. Se obtuvieron los promedios de cada submuestra y se realizó el ploteo (Gráfico 01), estableciendo la regresión lineal. La ecuación fue introducida al algoritmo del MiniFiber-EC, obteniendo así un equipo calibrado; luego se

midió las mismas submuestras comprobándose que el valor dado del top estándar sea el mismo, para obtener un equipo validado.

El MiniFiber-EC también fue diseñado, desarrollado y construido en el Laboratorio de Electrónica y Mecánica de MAXCORP Technologies S.A.C., ubicado en Lima, Perú. El proceso de calibración y validación se llevó a cabo en el Laboratorio de Fibras, Textiles Pielés y Cueros de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima. El desarrollo del MiniFiber-EC también comprende cuatro componentes: Electrónico, Mecánico, Óptico y el Software al igual que el Fiber-EC; la descripción del equipo es similar a lo descrito en el Fiber-EC.

El MiniFiber-EC trabaja en “modo de fragmentos”, par uso en laboratorio y “modo mechas”, para uso en campo. El MiniFiber-EC, está dedicado para el trabajo en campo por el tamaño pequeño, además el empaquetado en forma de mochila lo hace fácilmente trasportable a cualquier lugar; tiene la capacidad de trabajar en condiciones de altitud hasta 5300 m.s.n.m. y a temperaturas hasta de -10 °C, y de medir fibras con diferentes rangos de diámetro (Quispe, et al., 2018).



Figura 16: Fotografía del MiniFiber-EC V2.0

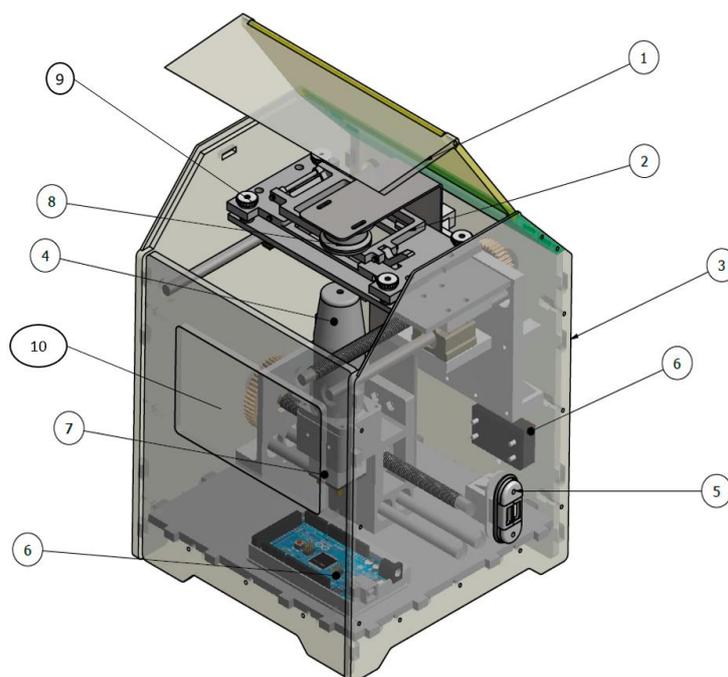


Figura 17: Partes del MiniFiber-EC: 1) Tapa de la cubierta, 2) Porta muestras, 3) Cubierta lateral, 4) Objetivo o lente de aumento, 5) Conexión del MiniFiber-EC que permite la conexión con la laptop, 6) Controladores electrónicos, 7) Cámara digital, 8) Fuente de luz, 9) Tornillos de enfoque, 10) Impresora.

Tabla 7: Descripción de los componentes del MiniFiber-EC

Función/componente	Descripción
Función	Mide 6 características de la fibra similar la Fiber-EC: promedio del diámetro de fibra, desviación estándar, coeficiente de variación, varianza, factor confort y picazón. Visión de las fibras medidas en tiempo real.
Portabilidad	Diseño cuadrangular, de fácil transporte hacia el campo.
Estructura del material	Material resistente evita la corrosión durante el trabajo de campo. El peso total es de 4,5 kg.
Cinemática	36 segundos con fragmentos y 70 segundos con mechas.
Fuente de energía eléctrica	Batería de 220V, conexión directa a la batería del carro. La corriente eléctrica de los enchufes no debe exceder de 1.5A
Cantidad de fibras medidas	En promedio 4060, como máximo 5218 y mínimo 2628 fibras contadas y medidas.

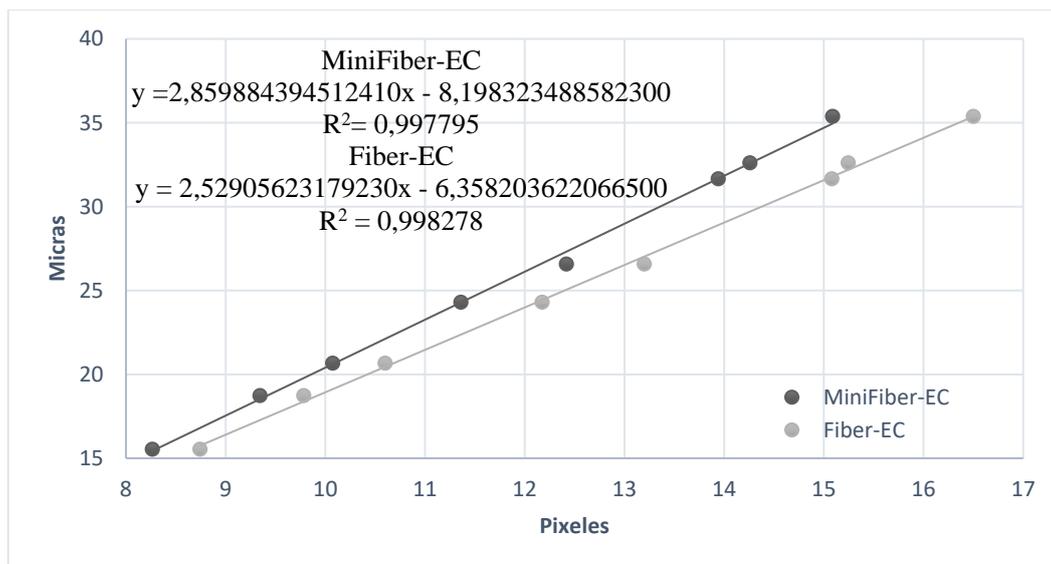


Figura 18: Regresión lineal simple y coeficiente de determinación de la calibración del MiniFiber-EC y Fiber-EC.

La validación de ambos equipos se realizó midiendo nuevamente 4 submuestras de cada uno de los ocho tops patrones de lana, y posteriormente verificando la coincidencia o cercanía de los promedios obtenidos con los valores reales (valores conocidos) de cada top patrón se detalla en la Cuadro 2.

Tabla 8: Promedio de medidas repetidas realizadas con el MiniFiber-EC y Fiber-EC para el proceso de validación.

Valor real del Top (µm)	n	MiniFiber-EC		Fiber-EC	
		Promedio de repeticiones	Diferencia	Promedio de repeticiones	Diferencia
15,53	4	15,23	-0,30	16,00	0,47
18,73	4	18,44	-0,29	18,71	-0,02
20,66	4	19,82	-0,84	20,72	0,06
24,29	4	24,58	0,29	25,04	0,75
26,57	4	26,25	-0,32	27,14	0,57
31,65	4	31,44	-0,21	32,03	0,38
32,60	4	32,27	-0,33	32,71	0,11
35,37	4	35,18	-0,19	35,57	0,20

Para el corte de fragmentos se utilizó una guillotina, el tamaño de los cortes (2.0mm). Asegurándose que no haya sobre posición u omisión de las fibras. Se colocó la muestra de fibra perpendicularmente por debajo de la cuchilla, y se realizó el corte; por debajo de la plataforma se ubicó una placa Petri para el depósito de los fragmentos cortados. La limpieza

de la cuchilla y plataforma se realizó con una brocha por encima y debajo de la misma, sin provocar corrientes de aire que puedan ingresar fibras al siguiente corte. Con una pinza se puso una pequeña cantidad de los fragmentos cortados en un dispersor electrónico de fibras, el cual mediante un rotor que gira en ambos sentidos, va cubriendo de fibras al porta-fibras (slide) de vidrio de 7x8cm, se verifico una densidad adecuada y homogénea en todo el vidrio.

La densidad de fibras alcanzada por el dispersor sobre el área del slide está entre el 15-25% de área cubierta el cual representa el rango óptimo para la medición. Preparado los slide con los fragmentos contenidos, se colocó en un extremo del soporte del equipo, se escribió la identificación y la descripción de la muestra en el programa, y presionando la tecla “enter” del teclado de la laptop se realizó la medición. Finalmente, todos los datos medidos se registraron y guardaron automáticamente en una hoja Excel.

3.6. Evaluaciones de precisión, exactitud y repetibilidad

Las 5 muestras de tops de fibra de alpaca, tuvieron 8 repeticiones, se utilizaron 02 slides, teniendo un total de 16 repeticiones. Cuatro repeticiones para los tops de lana, se utilizaron 02 slides, teniendo un total de 8 repeticiones.

Las muestras en los slides se evaluaron en el siguiente orden, primero en el MiniFiber-EC, luego en el Fiber-EC, y finalmente en el Laserscan; al mismo tiempo, se midió cada top patrón directamente en el Laserscan. Las muestras restantes de cada top se utilizaron para la evaluación en el microscopio de proyección; obteniendo 03 repeticiones para cada top en cada equipo.

Adicionalmente, se realizó una variación en uno de los componentes (slide) de medición del MiniFiber-EC y Fiber-EC; el cual consistió, en evaluar el número (slide 1 o slide 2) y lado (lado A o lado B) del slide, para evaluar si esta variación afecta en los resultados obtenidos por el MiniFiber-EC y Fiber-EC. Cada slide se repitió 02 veces, de igual forma cada lado se repitió 02 veces. Cabe mencionar que se utilizaron los mismos slide para el MiniFiber-EC y Fiber-EC.

La precisión estadística se evaluó mediante el error estándar e intervalo de confianza a un nivel de confianza del 95 %; el error estándar se calculó a partir de la desviación estándar, multiplicado por la raíz del número de repeticiones (n). Para obtener un intervalo de confianza con un nivel de confianza o seguridad del 95%, se multiplico por 1.96 (valor de Z a un nivel de confianza de 95%) (Marler y Baxter, 2004), la siguiente ecuación detalla cómo se obtuvo el error estándar y el intervalo de confianza.

$$\text{Error Estándar: } EE = DS\sqrt{n}$$

Donde:

EE = Error estándar

DS= Desviación estándar

n = Número de repeticiones

$$\text{Intervalo de confianza al 95\% (IC) = EE x 1.96}$$

La exactitud se determinó mediante la diferencia absoluta entre las mediciones sucesivas con el valor verdadero o real de cada top patrón de fibra de alpaca y lana.

$$\text{Exactitud} = P - V$$

Donde:

V = Valor real del top

P = Promedio de las repeticiones de cada top.

La repetibilidad se determinó mediante la división de las varianzas entre las muestras y dentro de las muestras de tops de fibra de alpaca y lana. Se utilizó la siguiente formula:

$$R = \frac{E}{E + D}$$

Donde:

R: Repetibilidad

E: Varianza entre las muestras de top

D: Varianza dentro de las muestras de top

3.7. Correlación entre equipos

Para determinar el grado de relación lineal entre las medidas realizadas de los equipos se utilizó la correlación de Pearson, mediante el procedimiento COR.TEST del programa estadístico R versión 3.4.3. Aplicando la siguiente formula:

$$r = \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[N \sum x^2 - (\sum x)^2] [N \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

Donde:

r = Coeficiente de Correlación entre X e Y.

X = Variable del Equipo A.

Y = Variable del Equipo B.

N = Tamaño de la muestra.

3.8. Análisis estadístico

Se utilizó un modelo de bloque anidado, el cual presenta muestras y submuestras, que se analizó mediante el procedimiento PROC GLM del programa estadístico SAS 9.4. El modelo fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + E_i + T_{ij} + \varepsilon_{ij} + \delta_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} : Es la respuesta de la media del diámetro de fibra, desviación estándar, coeficiente de variación y factor confort al i-ésimo equipo del j-ésimo top.

μ : es la media general de las muestras.

E_i : efecto del i-ésimo equipo.

T_{ij} : efecto del j-ésimo top patrón dentro de cada equipo.

ε_{ij} : efecto del error asociado al j-ésimo top patrón del i-ésimo equipo.

δ_{ijk} : es el error asociada con la k-ésima submuestra en el j-ésimo top patrón del i-ésimo equipo de la media del diámetro de fibra, desviación estándar, coeficiente de variación y factor confort.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Precisión y exactitud de tops de fibra de alpaca

La precisión y exactitud estadística de los resultados de la media del diámetro de fibra, desviación estándar, coeficiente de variación y factor confort medidos en los cuatro equipos se muestra en el Cuadro 9; mediante el Intervalo de Confianza (IC) al 95% se evaluó la precisión y la exactitud mediante el valor absoluto de la Exactitud (E).

Tabla 9: Precisión y exactitud de los resultados de parámetros medidos en los 4 equipos utilizando tops de alpaca.

Equipos evaluados		MiniFiber-EC			Fiber-EC			Laserscan			Microscopio Proyección		
Parámetro	Patrón	M	IC	E	M	IC	E	M	IC	E	M	IC	E
Media Diámetro de Fibra (um)	16,8	16,29	0,16	-0,51	16,84	0,29	0,04	16,7	0,2	-0,10	17,36	0,08	0,56
	18,7	18,76	0,82	0,06	19,04	0,25	0,34	18,9	0,35	0,20	18,72	0,14	0,02
	21,4	21,55	0,16	0,15	22,03	0,08	0,63	21,6	0,24	0,20	22,06	0,14	0,66
	24,5	25,01	0,65	0,51	24,85	0,57	0,35	24,8	0,14	0,30	24,84	0,04	0,34
	31,4	30,93	0,59	-0,47	30,91	0,27	-0,49	32,6	0,9	1,20	30,58	0,92	-0,82
Desviación Estándar (um)	3,9	5,66	0,14	1,76	6,38	0,18	2,48	3,38	0,14	-0,52	4,8	0,31	0,9
	4,6	5,91	0,18	1,31	6,96	0,2	2,36	4,83	0,37	0,23	4,78	0,22	0,18
	6,2	6,84	0,25	0,64	7,95	0,41	1,75	6	0,18	-0,20	6,63	0,9	0,43
	7,2	7,54	0,06	0,34	8,87	0,31	1,67	6,6	0,24	-0,60	6,75	0,18	-0,45
	9,7	9,34	0,14	-0,36	11,2	0,59	1,5	10,2	0,69	0,50	8,45	0,65	-1,25
Coeficiente de Variación (%)	23,4	34,75	1,22	11,35	37,9	1,45	14,5	22,8	0,43	-0,60	27,68	1,69	4,28
	24,7	31,54	2,18	6,84	36,5	0,90	11,8	25,6	1,67	0,90	25,54	0,92	0,84
	29,2	31,76	1,37	2,56	36,1	1,90	6,90	28,2	0,67	-1,00	30,03	3,84	0,83
	29,4	30,17	0,59	0,77	35,7	0,53	6,30	26,7	0,74	-2,70	27,21	0,8	-2,19
	30,7	30,21	0,14	-0,49	36,1	1,57	5,40	31,2	1,49	0,50	27,62	1,25	-3,08
Factor Confort (%)	-	97,32	0,12	-	96,69	0,43	-	99,2	0,24	-	98,09	0,80	-
	-	95,71	0,47	-	93,87	0,94	-	97,7	0,33	-	97,59	0,18	-
	-	90,61	0,37	-	86,31	0,76	-	92,4	0,53	-	90,00	0,98	-
	-	79,58	2,65	-	73,75	2,51	-	83,1	2,27	-	81,67	2,63	-
	-	51,42	2,47	-	44,16	4,55	-	47,9	3,63	-	51,58	3,43	-

M: promedio; IC: intervalo de confianza al 95%; E: exactitud

El Microscopio de Proyección (MP) muestra una mejor precisión en la Media del Diámetro de Fibra (MDF) en fibras finas de 16.8 μm , seguido del MiniFiber-EC, luego por el Laserscan (LSN) y finalmente por el Fiber-EC. En cuanto a fibras gruesas de 31.4 μm el equipo con mayor precisión fue el Fiber-EC seguido del MiniFiber-EC, luego el LSN y MP. Sin embargo, observando la precisión general, el equipo con mayor precisión al medir tops de fibra de alpaca fue el MP, Fiber-EC, LSN y MiniFiber-EC.

Consecuentemente, el Fiber-EC y MiniFiber-EC no reflejan diferencias respecto a los equipos referenciales LSN y MP, que tienen un protocolo y metodología establecida en la IWTO. En relación a la exactitud el LSN y el Fiber-EC muestran una mejor exactitud para fibra finas seguido del, MiniFiber-EC y MP; mientras que, para las fibras gruesas, el MiniFiber-EC y Fiber-EC tuvieron mayor exactitud, siendo el LSN el menos exacto.

Para el caso de la Desviación Estándar (DS), el equipo con mejor precisión fue el MiniFiber-EC, seguido del LSN, Fiber-EC y MP; sin embargo, se puede indicar que el LSN fue menos preciso para fibras gruesas de 31.4 μm ; pero el equipo más exacto fue el LSN, seguido del MP, MiniFiber-EC y Fiber-EC. Respecto al Coeficiente de Variación (CV) el equipo con mayor precisión para este parámetro fue el LSN, seguido del MiniFiber-EC, Fiber-EC y MP; así mismo, el equipo con mayor exactitud para el CV fue el LSN, MP, MiniFiber-EC y Fiber-EC respectivamente. Para el Factor Confort (FC) en orden de acuerdo con la mayor precisión reportada, se ubicó el MiniFiber-EC seguido, del LSN, MP y Fiber-EC.

Quispe et al (2018) reportó una precisión estadística para la MDF, representado por la desviación estándar, de 0.09, 0.11, 0.35, 0.09, 0.12 y 0.18 μm , y un IC de 0.06, 0.07, 0.23, 0.17, 0.08 y 0.11 μm en fibras de 13.5, 13.8, 13.9, 14.3, 14.4 y 14.5 μm , respectivamente en muestras de fibra de vicuña medidas en el Fiber-EC. El mismo autor Quispe et al (2017) reportó un EE de 0.03 μm y un IC al 95% de 0.07 μm , evaluando 40 muestras de fibra de alpaca medidos en el Fiber-EC. De la misma forma reportó una exactitud de 0.005, 0.52, 0.74, 0.78, 0.57 y 0.69 μm en fibras de 13.5, 13.8, 13.9, 14.3, 14.4 y 14.5 μm respectivamente en muestras de fibra de vicuña medidos en el Fiber-EC.

4.2. Precisión y exactitud de tops de lana

La precisión y exactitud de los resultados de la media del diámetro de fibra, desviación estándar, coeficiente de variación y factor confort medidos en los cuatro equipos utilizando muestras de lana; en el Cuadro 10; mediante el Intervalo de Confianza (IC) al 95% se evaluó la precisión y la exactitud mediante el valor absoluto de la Exactitud (E).

Tabla 10: Precisión y exactitud de los resultados de parámetros medidos en los 4 equipos utilizando tops de lana.

Equipos evaluados		MiniFiber-EC			Fiber-EC			Laserscan			Microscopio Proyección		
Parámetro	Patrón	M	IC	E	M	IC	E	M	IC	E	M	IC	E
Media Diámetro Fibra (um)	15,71	15,79	0,14	0,08	16,02	0,16	0,31	15,83	0,18	0,12	15,18	0,27	-0,53
	18,47	18,41	0,24	-0,06	18,67	0,08	0,20	18,6	0,29	0,13	18,39	0,04	-0,08
	20,66	20,53	0,16	-0,13	20,91	0,27	0,25	20,76	0,06	0,10	20,92	0,18	0,26
	24,29	23,6	0,39	-0,69	23,86	0,22	-0,43	24,4	0,12	0,11	24,35	0,27	0,06
	26,57	26,08	0,33	-0,49	26,22	0,27	-0,35	26,16	0,35	-0,41	26,41	0,02	-0,16
	31,65	31,20	0,31	-0,45	31,33	0,10	-0,32	31,93	0,51	0,28	30,72	0,63	-0,93
	32,60	32,33	0,61	-0,27	31,86	0,29	-0,74	32,66	0,35	0,06	31,86	0,88	-0,74
	35,37	34,63	0,53	-0,74	34,35	0,39	-1,02	35,33	0,74	-0,04	36,02	1,14	0,65
Desviación Estándar (um)	3,14	4,37	0,24	1,23	3,95	0,16	0,81	3,30	0,12	0,16	3,12	0,02	-0,02
	3,86	5,08	0,12	1,22	4,81	0,12	0,95	4,07	0,06	0,21	3,91	0,18	0,05
	4,19	5,42	0,20	1,23	5,14	0,16	0,95	4,33	0,14	0,14	4,36	0,53	0,17
	5,45	7,02	0,39	1,57	6,50	0,08	1,05	6,10	0,20	0,65	6,65	2,20	1,20
	6,19	7,16	0,35	0,97	6,48	0,16	0,29	6,40	0,20	0,21	6,10	0,24	-0,09
	7,02	8,18	0,08	1,16	7,25	0,06	0,23	7,13	0,37	0,11	7,26	0,55	0,24
	8,34	8,98	0,84	0,64	8,83	0,20	0,49	9,13	0,37	0,79	8,96	1,10	0,62
	8,87	9,60	0,31	0,73	8,84	0,16	-0,03	8,97	0,06	0,10	9,20	0,55	0,33
Coeficiente Variación (%)	20,00	27,68	1,71	7,68	24,64	1,16	4,64	20,87	0,71	0,87	20,60	0,55	0,60
	20,89	27,57	0,49	6,68	25,75	0,55	4,86	21,93	0,57	1,04	21,20	0,98	0,31
	20,69	26,42	1,02	5,73	24,59	0,69	3,90	21,03	0,61	0,34	20,80	2,69	0,11
	22,43	29,72	1,22	7,29	27,23	0,37	4,80	25,00	0,78	2,57	23,20	0,65	0,77
	23,29	27,43	1,00	4,14	24,71	0,37	1,42	24,47	0,33	1,18	23,10	0,88	-0,19
	22,18	26,45	0,31	4,27	23,14	0,18	0,96	22,4	0,69	0,22	27,55	1,00	5,37
	25,57	28,40	2,47	2,83	27,71	0,41	2,14	27,97	1,16	2,40	27,86	1,35	2,29
	25,07	28,16	1,33	3,09	25,74	0,61	0,67	25,47	0,51	0,40	26,84	1,25	1,77
Factor Confort (%)	-	98,92	0,16	-	99,20	0,14	-	99,77	0,06	-	99,67	0,31	-
	-	98,06	0,33	-	97,98	0,18	-	99,00	0,29	-	99,29	0,41	-
	-	95,65	1,20	-	95,59	0,57	-	97,30	1,08	-	96,83	0,98	-
	-	85,28	1,96	-	84,75	1,67	-	84,87	0,61	-	86,36	1,27	-
	-	74,60	2,35	-	74,92	1,71	-	76,90	2,20	-	74,50	1,96	-
	-	47,29	1,02	-	43,96	0,37	-	44,00	3,25	-	42,51	2,70	-
	-	45,14	0,74	-	43,15	1,45	-	43,47	2,72	-	44,09	3,49	-
	-	34,93	2,43	-	33,03	1,74	-	31,83	3,96	-	32,82	5,23	-

M: promedio; IC: intervalo de confianza al 95%; E: exactitud

Se realizó la evaluación de los tops de ovino, se observó que el equipo con mayor precisión para la Media del Diámetro de Fibra (MDF) en fibras de 15.71 μm , fue el MiniFiber-EC, seguido del Fiber-EC, LSN y MP respectivamente. Sin embargo, para fibras gruesas de 35.37 μm el equipo con mayor precisión fue el Fiber-EC con IC al 95% de 0.39 μm seguido del MiniFiber-EC, LSN y MP. De la misma forma el MiniFiber-EC presentó una mayor exactitud en fibras finas seguido del LSN, Fiber-EC y por último el MP.

Para la Desviación Estándar el equipo con mejor precisión fue el MP en fibras finas, seguido por el LSN, Fiber-EC y MiniFiber-EC. Una mayor exactitud reportó el LSN seguido del MP, Fiber-EC y, por último, el MiniFiber-EC. Para el caso del Coeficiente de Variación (CV) el equipo más preciso fue el Fiber-EC, seguido del LSN, MP y finalmente el MiniFiber-EC; pero el LSN presentó mayor exactitud, seguido del MP, Fiber-EC y MiniFiber-EC. Finalmente, para el Factor Confort (FC) el equipo con mayor precisión fue el Fiber-EC luego el MiniFiber-EC, seguido del LSN y finalmente el MP.

Cabe señalar que las muestras de tops patrones de lana son utilizadas para calibrar y validar los equipos inscritos en la IWTO; como son el OFDA2000, LSN, MP y Airflow, por lo que estas muestras son bastante uniformes respecto a los tops de alpaca evaluados. Consecuentemente, se puede decir que los equipos MiniFiber-EC y Fiber-EC tienen la capacidad de medir fibras de alpaca y lana, manteniendo una buena precisión en condiciones controladas de laboratorio.

Nuestros resultados del Fiber-EC y MiniFiber-EC son ligeramente mayores en comparación a Quispe et al (2017) reportó un EE de 0.03, 0.07, 0.06, 0.12, 0.13 y 0.17 μm y un IC al 95% de 0.07, 0.15, 0.13, 0.18, 0.24, 0.27 y 0.34 μm , para fibras de 15.71, 18.47, 20.66, 24.29, 26.57, 31.65 y 32.60 μm con muestras tops patrones de lana medidos con el Fiber-EC. Quispe et al. (2018) reportó mediante la DS de 0.24, 0.10, 0.21, 0.23, 0.48, 0.17, 0.44 y 0.27 μm e IC al 95% de 0.15, 0.07, 0.14, 0.15, 0.31, 0.11, 0.29 y 0.18 μm para evaluar la precisión de la MDF; de la misma manera el Fiber-EC reportó mediante la DS de 0.11, 0.08, 0.11, 0.10, 0.15, 0.13, 0.40 y 0.63 μm , e IC al 95% fue de 0.07, 0.05, 0.07, 0.06, 0.10, 0.08, 0.26 y 0.41 μm para el OFDA2000, en modo 100 para fibras de 15.71, 18.47, 20.66, 24.29, 26.57, 31.65, 32.60 y 35.37 μm .

Quispe et al (2017) reportaron una exactitud de 0.03, 0.05, 0.31, 0.25, 0.67, 0.55 y 1.31 μm para el Fiber-EC y 0.72, 0.89, 0.23, 0.43, 0.13, 0.07, y 0.68 μm para el OFDA2000, en fibras de 15.71, 18.47, 20.66, 24.29, 26.57, 31.65, y 32.60 μm , respectivamente en muestras de tops de lana; resultados similares obtenidos en el presente trabajo. De igual manera Quispe et al. (2018) reportaron una exactitud de 0.15, 0.02, 0.03, 0.06, 0.08, 0.36, 0.006 y 0.53 μm , para el Fiber-EC; y, 0.41, 0.20, 0.16, 0.10, 0.20, 0.01, 0.59 y 0.40 μm para el OFDA2000 en modo 100 para fibras de 15.71, 18.47, 20.66, 24.29, 26.57, 31.65, 32.60 y 35.37 μm , respectivamente, en muestras de tops de lana. Marler y Baxter (2004) reportaron una menor exactitud, de -0.42, -0.40, -0.49 y 0.16 para el LSN y -0.33, -0.28, -0.37 y 0.10 para el OFDA100 en fibras de 17.91, 17.96, 20.89 y 21.35 μm respectivamente en muestras de ovino merino muestreadas del costillar medio.

Sommerville et al (2002) obtuvieron una menor precisión, reportando un IC al 95% de 0.87, 0.45, 0.36 y 0.32 μm , para fibras de 20 μm y 1.07, 0.80, 0.67 y 0.70 μm para fibras de 30 μm en muestras de lana medidos en el MP, Airflow, OFDA y LSN respectivamente. También Cottle y Baxter (2015) reportaron un IC al 95% de 0.9 μm contando 400 fibras de 22 μm , 1.1 μm contando 1000 fibras de 35 μm en muestras de lana medidas en MP; también 0.21, 0.35, 0.48, 0.60, 0.73 y 0.85 μm para fibras de 15, 20, 25, 30, 35 y 40 μm respectivamente, medidos en el LSN y 0.25, 0.37, 0.48, 0.60, 0.70 y 0.82 para fibras 15, 20, 25, 30, 35 y 40 μm respectivamente, medidos en el OFDA con las mismas muestras de lana. Valores altos reportaron Marler y Baxter (2004) con un IC al 95% de 0.58, 0.66, 0.96 y 0.99 μm , para el OFDA100 y 0.57, 0.69, 0.95 y 0.99 μm , y para el LSN en fibras de 17.9, 18.0, 20.9 y 21.4 μm respectivamente, en muestras de ovino merino obtenidas del costillar medio.

4.3. Repetibilidad de mediciones de la media del diámetro de fibra

La repetibilidad evaluada en las muestras de tops de fibra de alpaca y lana, se obtuvieron mediante mediciones sucesivas de la misma muestra del top bajo similares condiciones de medición, conforme se refiere en el Cuadro 11.

Tabla 11: Repetibilidad de los resultados medidos en los cuatro equipos utilizando tops de fibra de alpaca y lana.

Características de la fibra	MiniFiber-EC	Fiber-EC	Laserscan	Microscopio de Proyección
Tops de Fibra de alpaca				
Media del Diámetro de fibra (um)	0,996	0,997	0,997	0,998
Desviación Estándar (um)	0,961	0,986	0,990	0,970
Coefficiente de Variación (%)	0,698	0,789	0,951	0,641
Factor Confort (%)	0,989	0,996	0,996	0,997
Tops de Lana				
Media del Diámetro de Fibra (um)	0,992	0,999	0,998	0,998
Desviación Estándar (um)	0,994	0,997	0,995	0,953
Coefficiente de Variación (%)	0,844	0,933	0,962	0,951
Factor Confort (%)	0,998	0,994	0,997	0,994

La repetibilidad del MiniFiber-EC y Fiber-EC tuvo una variación alrededor de 0,9617 a 0,9969 y 0,7894 a 0,9975 para muestra de tops de fibra de alpaca, respectivamente; en comparación, el Laserscan y microscopio de proyección mostraron valores de 0,9518 a 0,9979 y 0,6418 a 0,9984 respectivamente. Los valores de repetibilidad fueron menores para el coeficiente de variación; siendo posible que esta característica sea dependiente del diámetro de fibra y de la desviación estándar, una causa probable de variación expresada en esta característica. Respecto a los tops de lana, los valores de repetibilidad fueron ligeramente más altos lo cual se puede deber a que la fibra de alpaca presenta pelos de protección (fibras gruesas), que le hace más variable en comparación a la lana.

En muestras de fibra de alpaca en 20 repeticiones, en un rango de 0.959 a 0.998, para las características de diámetro de fibra, desviación estándar, coeficiente de variación, factor confort, factor picazón y finura al hilado medidos en el Fiber-EC (Quispe et al, 2017).

Resultados similares reportaron con el Fiber-EC, a partir de muestras de fibra de alpaca, de las mismas características mencionadas, a excepción del factor picazón, con un rango de 0,912 a 0,999 (Benavidez, 2017).

4.4. Correlación de resultados entre equipos con muestras de fibra de alpaca

La regresión lineal se definió empleando 214 muestras de fibra de alpaca, medidos en tres equipos (MiniFiber-EC, Fiber-EC y LSN) y se empleó cuatro equipos (MiniFiber-EC, Fiber-EC, MP y LSN) para definir la regresión lineal de 25 muestras de fibra de alpaca. El gráfico de dispersión (Figura 19) muestra la distribución de las medidas, obsérvese los puntos del gráfico.

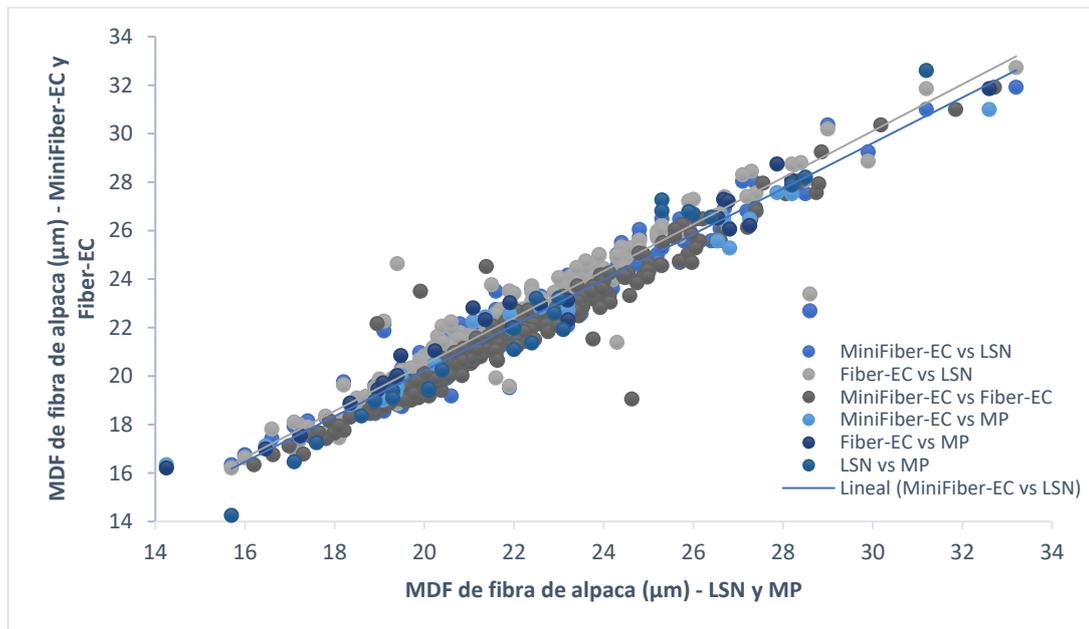


Figura 19: Gráfico de puntos de la media de diámetro de fibra de muestras de fibras de alpaca obtenidos en el MiniFiber-EC, Fiber-EC, microscopio de proyección y Laserscan.

Tabla 12: Correlación de resultados de los equipos utilizando fibra de alpaca para la media del diámetro de fibra.

Relación entre Equipos	Regresión Lineal	Coefficiente de Determinación (R²)	Coefficiente de Correlación (r)
MiniFiber-EC vs Laserscan	$y = 0,9393x + 1,4337$	0.983	0.924
Fiber-EC vs Laserscan	$y = 0,9433x + 0,9555$	0.985	0.921
MiniFiber-EC vs Fiber-EC	$y = 0,9627x + 1,2299$	0.990	0.937
MiniFiber vs Microscopio de Proyección	$y = 0,8973x + 2,7101$	0.988	0.988
Fiber-EC vs Microscopio de Proyección	$y = 0,8498x + 3,3700$	0.983	0.988
LSN vs Microscopio de Proyección	$y = 0,8701x + 2,9505$	0.974	0.987

Los resultados obtenidos de la media del diámetro de fibra evidenciaron que el MiniFiber-EC y Fiber-EC presentan un coeficiente de regresión de 1.43 y 0.955 μ m, respectivamente, respecto al LSN; en ambos casos se encontró un coeficiente de correlación de Pearson de 0.92 (Cuadro 12). La relación entre MiniFiber-EC y Fiber-EC presenta un coeficiente de correlación de Pearson de 0.93 (Cuadro 12). El MiniFiber-EC, Fiber-EC y LSN respecto al MP, presentan un coeficiente de correlación de Pearson mayor a 0.98 (Cuadro 12), evidenciando que la relación del MiniFiber-EC y Fiber-EC con el MP es mejor, que la relación con el LSN, a pesar de tener diferentes coeficientes de regresión.

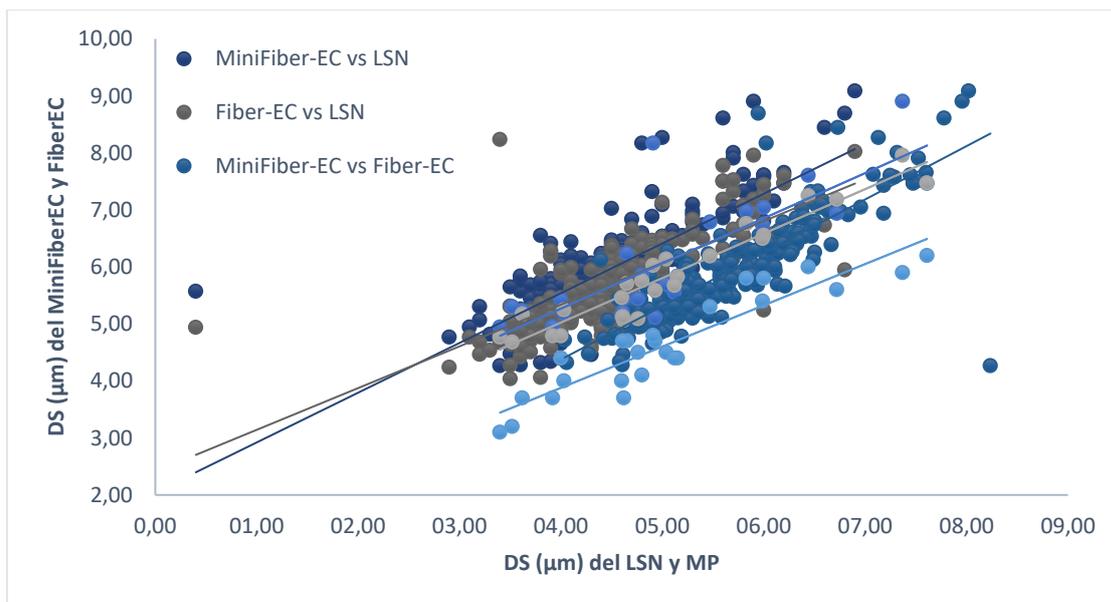


Figura 20: Gráficos de puntos de la desviación estándar de muestras de fibra de alpaca obtenidos en el MiniFiber-EC, Fiber-EC y Laserscan.

Tabla 13: Correlación de resultados de los equipos utilizando fibra de alpaca para la desviación estándar.

Relación entre Equipos	Regresión Lineal	Coefficiente de Determinación (R²)	Coefficiente de Correlación (r)
MiniFiber-EC vs Laserscan	$y = 0,8725x + 2,0491$	0.603	0.776
Fiber-EC vs Laserscan	$y = 0,7323x + 2,4102$	0.543	0.737
MiniFiber-EC vs Fiber-EC	$y = 0,9359x + 0,6328$	0.684	0.827
MiniFiber vs Microscopio de Proyección	$y = 0,7928x + 2,0966$	0.664	0.815
Fiber-EC vs Microscopio de Proyección	$y = 0,7802x + 1,9035$	0.915	0.956
LSN vs Microscopio de Proyección	$y = 0,7237x + 0,9842$	0.848	0.920

Los resultados obtenidos de la desviación estándar evidenciaron que la relación del MiniFiber-EC y Fiber-EC presentan un coeficiente de correlación de Pearson de 0.77 y 0.73, respectivamente (Cuadro 13) respecto al LSN. En comparación entre MiniFiber-EC y Fiber-EC presenta un coeficiente de correlación de Pearson de 0.82 (Cuadro 13). El MiniFiber-EC, Fiber-EC y LSN presentan un coeficiente de correlación de Pearson 0.81, 0.95 y 0.92,

respectivamente (Cuadro 13) respecto al MP; evidenciando que el Fiber-EC y LSN tuvieron mejor correlación con el MP, siendo mejor que el LSN, y de moderado entre el MiniFiber-EC versus Fiber-EC y MiniFiber-EC versus MP.

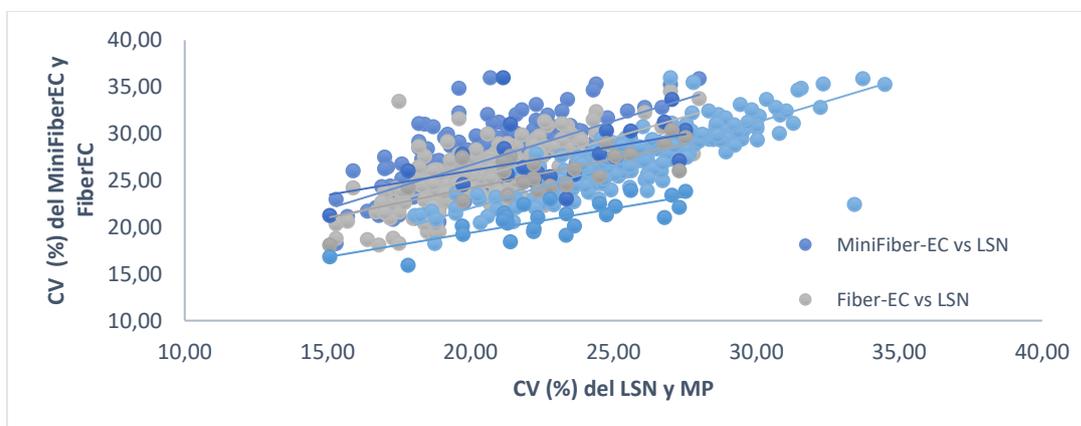


Figura 21: Gráficos de puntos del coeficiente de variación de muestras de fibra de alpaca obtenidos en el MiniFiber-EC, Fiber-EC y Laserscan.

Tabla 14: Correlación de resultados de los equipos utilizando fibra de alpaca para el coeficiente de variación.

Relación entre Equipos	Regresión Lineal	Coefficiente de Determinación (R^2)	Coefficiente de Correlación (r)
MiniFiber-EC vs Laserscan	$y = 0,9394x + 7,8611$	0.457	0.446
Fiber-EC vs Laserscan	$y = 0,8904x + 7,3181$	0.485	0.845
MiniFiber-EC vs Fiber-EC	$y = 0,9359x + 0,6328$	0.684	0.827
MiniFiber vs Microscopio de Proyección	$y = 0,7928x + 2,0966$	0.664	0.815
Fiber-EC vs Microscopio de Proyección	$y = 0,7802x + 1,9035$	0.915	0.956
LSN vs Microscopio de Proyección	$y = 0,7237x + 0,9842$	0.848	0.920

Los resultados obtenidos del coeficiente de variación evidenciaron que el MiniFiber-EC con el LSN presentan un coeficiente de correlación de Pearson de 0.44 (Cuadro 14), siendo de menor grado en comparación a los demás equipos confrontados. El MP versus el Fiber-EC y MP versus LSN mostraron mayor correlación para el coeficiente de variación en comparación a las demás confrontaciones.

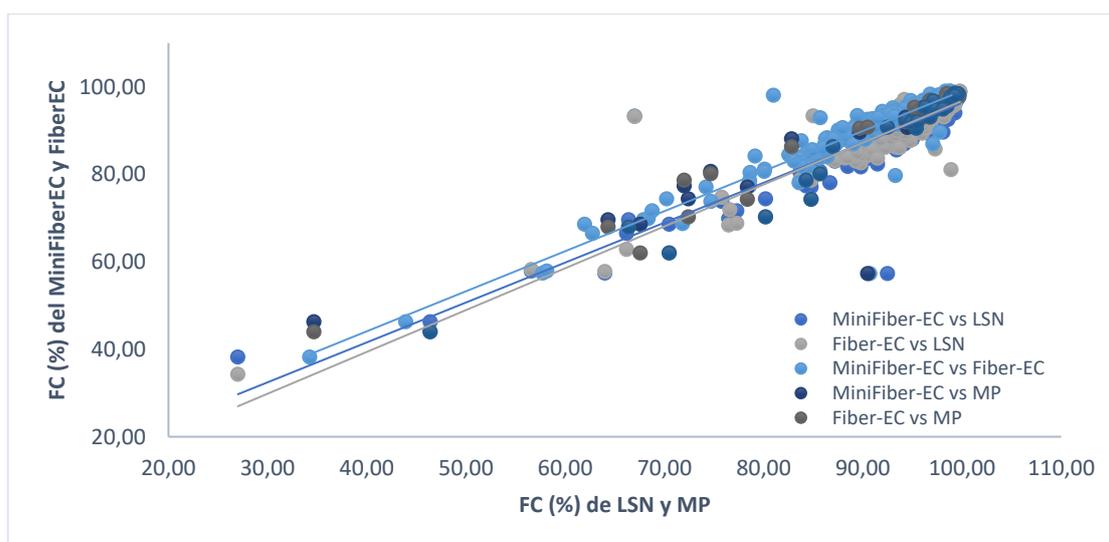


Figura 22: Gráficos de puntos del factor confort de muestras de fibra de alpaca obtenidos en el MiniFiber-EC, Fiber-EC, Laserscan y microscopio de proyección.

Tabla 15: Correlación de resultados de los equipos utilizando fibra de alpaca para el factor confort.

Relación entre Equipos	Regresión Lineal	Coefficiente de Determinación (R ²)	Coefficiente de Correlación (r)
MiniFiber-EC vs Laserscan	$y = 0,9119x + 5,0989$	0.826	0.909
Fiber-EC vs Laserscan	$y = 0,9558x + 1,1724$	0.871	0.933
MiniFiber-EC vs Fiber-EC	$y = 0,9359x + 0,6328$	0.684	0.827
MiniFiber vs microscopio proyección	$y = 0,7883x + 17,689$	0.764	0.874
Fiber-EC vs microscopio proyección	$y = 0,8701x + 11,191$	0.961	0.980
LSN vs microscopio de proyección	$y = 0,8061x + 19,993$	0.963	0.981

Los resultados obtenidos del factor confort evidenciaron que el MiniFiber-EC versus LSN y Fiber-EC versus LSN presentan un coeficiente de correlación de Pearson de 0.90 y 0.93, respectivamente (Tabla 9); de la misma manera el Fiber-EC versus MP y LSN versus MP evidenciaron las correlaciones más altas para este parámetro del factor confort $r = 0.98$; finalmente el MiniFiber-EC y MP comparado con el Fiber-EC tuvieron una correlación

moderada $r= 0.82$ y $r= 0.87$, respectivamente, en comparación a las demás confrontaciones realizadas.

De forma general podemos indicar que se observó mejores resultados cuando se realizó las comparaciones del MiniFiber-EC, Fiber-EC y LSN con el MP, en los cuatro parámetros evaluados (media del diámetro de fibra, desviación estándar, coeficiente de variación y factor confort), de tal forma podemos indicar que los equipos obtienen resultados similares al evaluar fibra de alpaca.

4.5. Correlación de resultados entre equipos con muestras de lana

La regresión lineal se realizó en 35 muestras de lana, el gráfico de dispersión muestra la distribución de las medidas representada por los puntos; señalar que se compararon tres equipos (MiniFiber-EC, Fiber-EC y LSN), que se observan en los Figura 10.

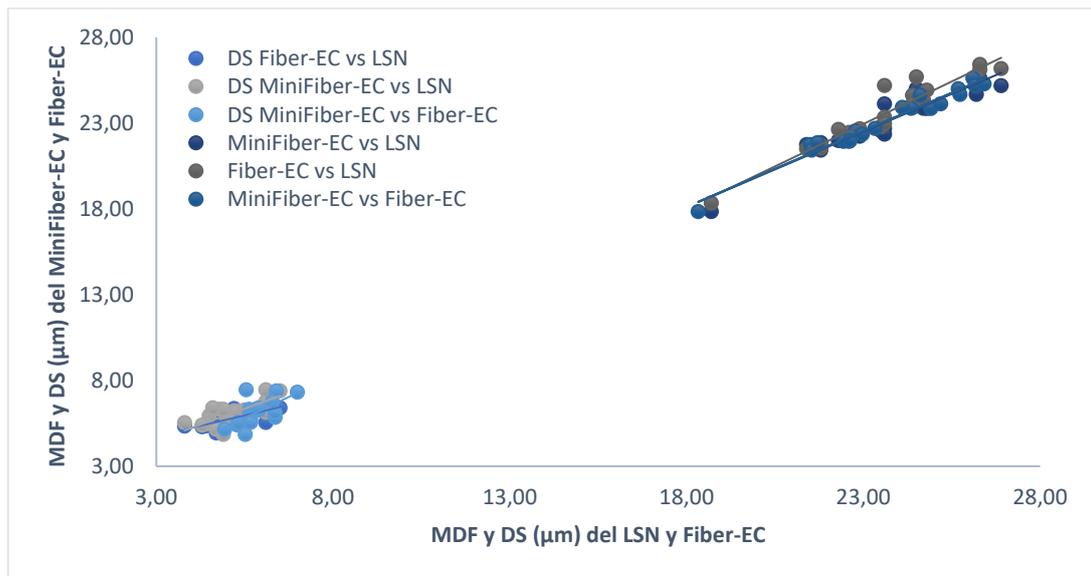


Figura 23: Gráficos de puntos de la media de diámetro de fibra y la desviación estándar de muestras de lana en comparación con el MiniFiber-EC, Fiber-EC y Laserscan.

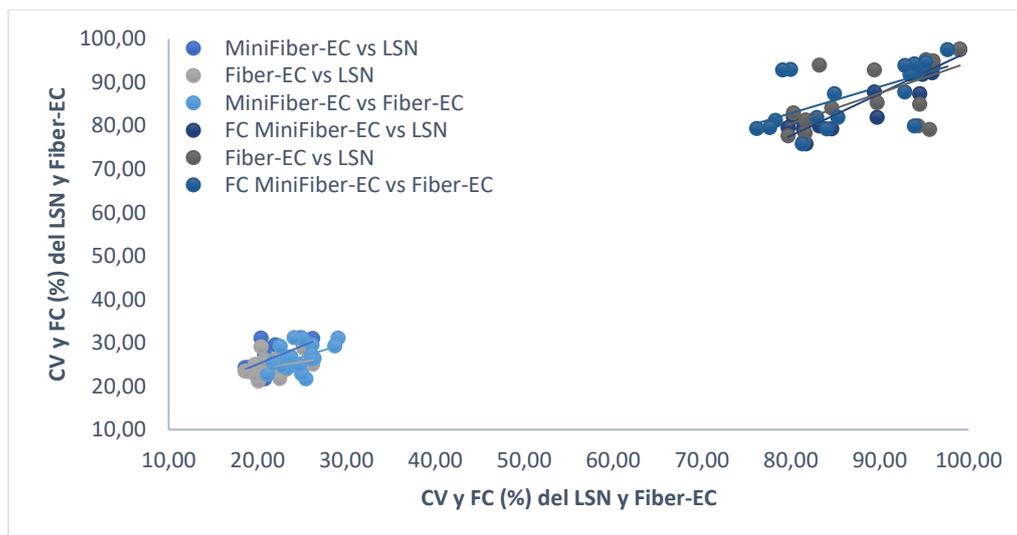


Figura 24: Gráficos de puntos del coeficiente de variación y el factor confort de muestras de lana en comparación con el MiniFiber-EC, Fiber-EC y Laserscan.

Tabla 16: Relación de la media del diámetro de fibra, desviación estándar, coeficiente de variación y factor confort utilizando muestras de lana.

Relación entre Equipos	Regresión Lineal	Coefficiente de Determinación (R ²)	Coefficiente de Correlación (r)
MiniFiber-EC vs Laserscan	$y = 0,8795x + 2,2726$	0.896	0.946
Fiber-EC vs Laserscan	$y = 0,9894x + 0,1952$	0.921	0.959
MiniFiber-EC vs Fiber-EC	$y = 0,8857x + 2,1747$	0.966	0.982
DS MiniFiber vs Laserscan	$y = 0,7423x + 2,2804$	0.564	0.751
DS Fiber-EC vs Laserscan	$y = 0,4818x + 3,3164$	0.538	0.733
DS MiniFiber-EC vs Fiber-EC	$y = 2,3437x + 9,5311$	0.368	0.606
CV MiniFiber-EC vs Laserscan	$y = 0,8378x + 8,3186$	0.364	0.603
CV Fiber-EC vs Laserscan	$y = 0,3117x + 17,829$	0.105	0.308
CV MiniFiber-EC vs Fiber-EC	$y = 0,6363x + 10,832$	0.214	0.462
FC MiniFiber-EC vs Laserscan	$y = 0,9688x + 0,2113$	0.878	0.937
FC Fiber-EC vs Laserscan	$y = 0,7042x + 24,146$	0.420	0.647
FC MiniFiber-EC vs Fiber-EC	$y = 0,6107x + 34,021$	0.413	0.642

El MiniFiber-EC y LSN, para la media del diámetro de fibra presenta un coeficiente de correlación de Pearson de $r=0.94$ (Cuadro 16); respecto al Fiber-EC y LSN se obtuvo un coeficiente de correlación de $r=0.95$ (Cuadro 16); sin embargo, el MiniFiber-EC y Fiber-EC tuvieron un valor menor en comparación a las dos comparaciones anteriores, se obtuvo un coeficiente de correlación de $r=0.98$ (Cuadro 16), valores cercanos a 1, indican que los tres equipos obtienen resultados similares al evaluar lana. Los valores de la desviación estándar disminuyeron siendo $r= 0.75$ y $r= 0.73$ (Cuadro 16) para el MiniFiber-EC versus LNS y Fiber-EC versus LSN; finalmente la comparación entre el MiniFiber-EC versus Fiber-EC reportó el menor valor en muestras de lana.

El coeficiente de variación los tres equipos reportaron menores valores en comparación a los demás parámetros evaluados; sin embargo, estos valores son mucho menores observados en las muestras de fibra de alpaca, probablemente se deba al número de muestras evaluadas. Finalmente, para el factor confort la mejor comparación fue para el MiniFiber-EC con el LSN reportando una correlación de $r= 0.93$ (Cuadro 16), y las dos últimas comparaciones obtuvieron correlaciones similares.

Baxter *et al* (1992) reportaron valores menores un coeficiente de regresión de $0.33\mu\text{m}$ y una correlación de $r = 0.99$, comparando el OFDA y Airflow, utilizando muestras de lana. Resultados similares encontró Quispe (2018) reportó un coeficiente de regresión de $1.07\mu\text{m}$ y un $r=0.99$, al evaluar muestras de lana con el Fiber-EC y OFDA2000. Sommerville (1997) reportó un coeficiente de regresión de $1.08\mu\text{m}$ entre el LSN y Airflow; de la misma forma comparó el OFDA con el Airflow obteniendo $1.31\mu\text{m}$ en 10 muestras de lana superfina.

Van Zil (2000) comparó el OFDA, LSN y Airflow evaluando muestras de lana merina reportando un coeficiente de regresión de $0.06\mu\text{m}$ y $R^2= 0.99$ entre el OFDA y Airflow; un coeficiente de regresión de $1.24\mu\text{m}$ y $R^2= 0.99$, entre el LSN y Ariflow y finalmente $1.22\mu\text{m}$ y $R^2= 0.99$ en la relación del LSN con el OFDA. Paterson (2001) realizó la comparación entre el OFDA2000 y FLEECESCAN observando un coeficiente de regresión de $0.61\mu\text{m}$ y $R^2= 0.49$ en 40 muestras de lana merino.

4.6. Relación entre equipos según IWTO-0 en muestras de fibra de alpaca

La IWTO recomienda realizar una prueba (IWTO-0 Apéndice B) 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 los valores de la diferencia y el promedio de los resultados de los equipos comparados.

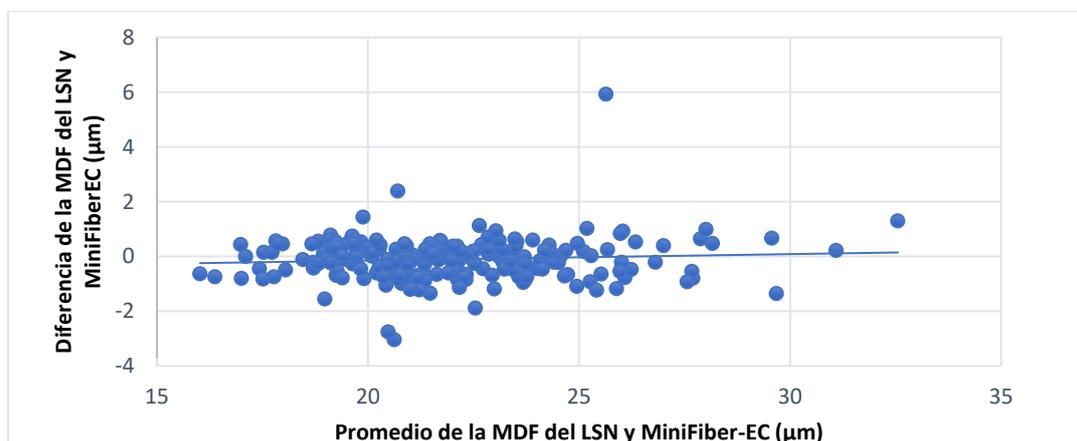


Figura 25: Gráficos de puntos obtenidas del MiniFiber EC y Laserscan.

Tabla 17: Evaluación del sesgo entre MiniFiber-EC y Laserscan.

Estadísticos	MiniFiber-EC	Laserscan	Diferencia (M-L)	Promedio
Número de observaciones	214	214	214	214
Promedio (µm)	21,96	21,85	-0,10	21,90
Desviación estándar (µm)	2,75	2,81	0,77	2,75
Error estándar (µm)	0,18	0,19	0,05	0,18
Nivel de significancia			ns	
Estadísticos	Diferencia vs Promedio			
Coefficiente de regresión estimada	0,02			
Error estándar del coeficiente de regresión	0,02			
Significancia del coeficiente de regresión:				
- t-valor	1,22			
- p-valor	0,22			
Significancia del coeficiente de correlación:				
- t-valor	1,22			
- p-valor	0,22			

Al realizar la prueba de recomendación de la IWTO-0, los datos mostraron que el sesgo general fue de $-0.10\mu\text{m}$, evidenciando que no fue estadísticamente significativa. Por lo tanto, podemos decir que, cuando se evalúen muestras de fibra de alpaca con el MiniFiber-EC o el Laserscan no se evidenciara un sesgo en las mediciones.

El cuadro muestra el grado de relación entre la diferencia y el promedio del MiniFiber-EC con el LSN, podemos decir que ambos equipos reportaran resultados similares con una diferencia de $0.02\mu\text{m}$, indicando que el MiniFiber-EC está dentro de los valores de tolerancia que tiene el LSN.

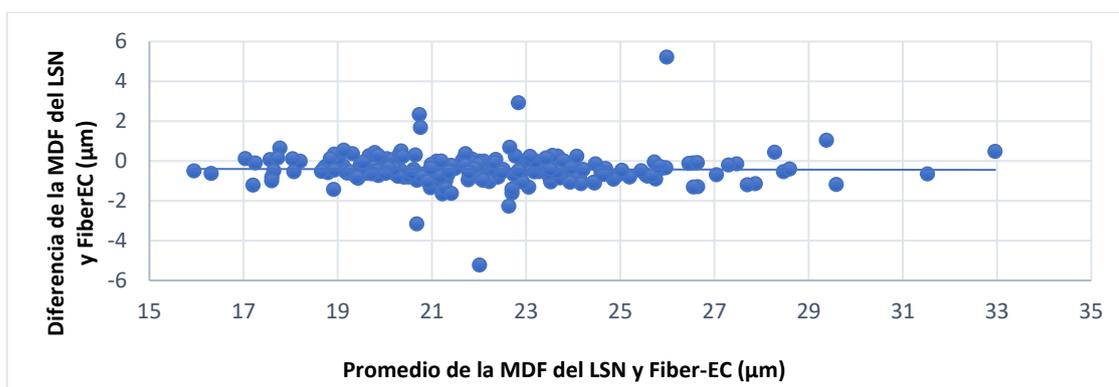


Figura 26: Gráficos de puntos de las mediciones obtenidas con el Fiber EC y el Laserscan.

Tabla 18: Evaluación del sesgo realizadas entre el Fiber-EC y el Laserscan.

Estadísticos	Fiber-EC	Laserscan	Diferencia (F-L)	Promedio
Número de observaciones	214	214	214	214
Promedio (μm)	22,27	21,85	0,41	22,06
Desviación estándar (μm)	2,82	2,81	0,79	2,81
Error estándar (μm)	0,19	0,19	0,05	0,19
Nivel de significancia			***	
Estadísticos	Diferencia Vs Promedio			
Coefficiente de regresión estimada	-0,002			
Error estándar del coeficiente de regresión	0,02			
Significancia del coeficiente de regresión:				
- t-valor	-0,14			
- p-valor	0,88			
Significancia del coeficiente de correlación:				
- t-valor	-0,14			
- p-valor	0,88			

Los datos mostraron que el sesgo general fue de $0.41\mu\text{m}$, estadísticamente significativa. Por lo tanto, podemos decir que cuando se evalúen muestras de fibra de alpaca con el Fiber-EC o el LSN existirá un sesgo en las mediciones reportadas.

Heat et al. (2006) reportaron un sesgo general de $-0.15\mu\text{m}$ entre el LSN y Airflow, encontrando una alta significancia estadística, utilizando 1010 muestras de lana grasienta.

Fish et al. (2005) evaluaron tres lotes de tops de lana comercial el cual reportaron sesgos generales de 0.16 , 0.17 y $-0.09\mu\text{m}$ entre el OFDA4000 y el LSN, encontrando una alta significancia estadística entre los equipos comparados en los tres lotes comerciales.

4.7. Variación de un componente (slide) de medición entre el MiniFiber-EC y Fiber-EC

Se utilizaron muestras de tops de fibra de alpaca, se utilizó un modelo anidado. Las diferencias e interacciones se muestran detallado en el Cuadro 12.

Tabla 19: Estimación de las variaciones del número y lado del slide en el diámetro de fibra, utilizando en tops de fibra de alpaca.

Característica	Fuente de Variación	Diferencia	Media	p > 0.05
Media del diámetro de fibra	Equipo	0.22	22.60	0.0015
	Slide	0.04	22.60	0.516
	Lado (Equipo)	0.02		0.861
Desviación estándar	Equipo	1.24	7.66	<0.0001
	Slide	0.05	7.66	0.924
	Lado (Equipo)	0.000		0.998
Coeficiente de variación	Equipo	4.87	34.07	<0.0001
	Slide	0.11	34.07	0.691
	Lado (Equipo)	0.15		0.945
Factor confort	Equipo	3.57	81.01	<0.0001
	Slide	0.18	81.01	0.616
	Lado (Equipo)	0.42		0.919

Los resultados muestran que existe diferencia significativa ($p < 0.01$) entre equipos para la media del diámetro de fibra, desviación estándar, coeficiente de variación y factor confort; sin embargo, para el número y lado de slide no existe diferencia significativa ($p > 0.05$) cuando se mide fibra de alpaca en los equipos MiniFiber-EC y Fiber-EC.

Walker et al (2018) evaluaron las fuentes de variación del error asociado con múltiples medidas para el diámetro de fibra en el FibreLux obteniendo para vellón: $0.72\mu\text{m}^2$; vellón*mecha: $0.19\mu\text{m}^2$ y vellón*mecha*remedición: $0.03\mu\text{m}^2$ utilizando muestras de lana.

V. CONCLUSIONES

1. El MiniFiber-EC y Fiber-EC evidenciaron buena precisión al evaluar fibra de alpaca y lana, para la Media del Diámetro de Fibra, Desviación Estándar, Coeficiente de Variación y Factor Confort; respecto al Laserscan y Microscopio de Proyección en condiciones controladas de laboratorio.
2. El MiniFiber-EC y Fiber-EC evidenciaron moderada exactitud al evaluar fibra de alpaca y lana, para la Media del Diámetro de Fibra, Desviación Estándar, Coeficiente de Variación y Factor Confort; respecto al Laserscan y Microscopio de Proyección en condiciones controladas de laboratorio.
3. El Fiber-EC, MiniFiber-EC, Laserscan y microscopio de proyección, tuvieron una alta correlación en muestras de fibra de alpaca y una correlación moderada en muestras de lana para la Media del Diámetro de Fibra, Desviación Estándar, Coeficiente de Variación y Factor Confort en condiciones controladas de laboratorio.
4. Se encontraron diferencias significativas entre el MiniFiber-EC y Fiber-EC al evaluar la media del diámetro fibra; pero no para el número y lado de slide en muestras de tops de fibra de alpaca.

VI. RECOMENDACIONES

1. Establecer parámetros de evaluación de fibra de alpaca en los distintos laboratorios de dedicados a la evaluación de fibra de alpaca del Perú.
2. Establecer y/o formar patrones top estándar de fibra de alpaca, para la calibración y validación de equipos de medición de fibra de alpaca como el OFDA, que se encuentra en mayor cantidad en nuestro país.
3. Realizar trabajos similares en diferentes condiciones de temperatura, humedad y altitud con referencia de equipos que trabajen en campo y/o en condiciones no controladas.
4. La actualización constante del Software y componentes del MiniFiber-EC y Fiber-EC es crucial para las mejoras del performance de ambos equipos.

VII. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

ANDERSON, J.; GEHLY.; C., SAFLEY, M AND VANDENBOSCH, A. 2011. The art of science alpaca judging. Published by the Alpaca Owners and Breeders Association, Inc. (AOBA). Nashville.

ALPACA CULTURE. 2012. Alpaca Culture Magazine. Volume 1, Issue 22. September 2012. www.alpacaculture.com

ASTM, 2001. Standard test method for diameter of wool and other animal fibers by Microprojection, (ASTM D2130). ASTM. West Conshohocken, PA.

AYLAN-PARKER J; MCGREGOR B.A. 2002. Optimising sampling techniques and estimating sampling variance of fleece quality attributes in alpacas. *Small Rumin. Res.*, 44: 53–64.

BAXTER, B.; BRIMS, M.; TAYLOR, T. 1992. Further Studies On The Performance Of The OFDA. Report N° 08. SSGSS Wool Testing Services (Australia), P.O. Box 279, Hamilton Hill 6163, West Australia.

BENAVIDEZ, F. 2017. Comparación de la precisión intralaboratorios del Fiber-EC con OFDA2000 en fibras de alpaca, llamas y ovinos. Tesis para optar el grado de Ingeniero Zootecnista. Universidad Nacional de Trujillo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Escuela Académica Profesional de Zootecnia. Trujillo -Perú.

BUSTINZA, V. 2001. La Alpaca, el gran potencial andino. Libro. Puno, Perú.

CAMERON H., 2014. A Definitive Guide to Alpaca Fibre. Published by Selle Desing Group. Idaho 83864 USA.

COTTLE, D; BAXTER, B. 2015. Wool metrology research and development to date. *Textile Progress*, 47:3, 163-315, DOI: 10.1080/00405167.2015.1108543.

SACCHERO, D. 2005. Utilización de medidas objetivas para determinar calidad en lanas. *Memorias de VII curso de actualización ovina*. INTA Bariloche – Argentina. Pag 1-22.

ELVIRA, M. 2014. Presentación del instrumento de medición de finura OFDA 2000: Uso y aplicaciones. INTA EEA Chubut Laboratorio de Lanass Rawson Convenio INTA-Gob. de la provincia de Chubut Laboratorio de Lanass Rawson.

FISH V.E., MAHAR T.J. Y CROOK B.J. 1999. Fibre curvature morphometry and measurement. International Wool Textile Organization. Nice Meeting. Report N°CTF 01.

FISH, V.; BALASINGAM, A.; MARLER, J.; MAHAR, T. 2005. Comparisons Between OFDA4000 and IWTO Standardised Methods for Measurements Made on Wool Tops: Part 1 Diameter Characteristics. *Wools*. International Wool Textile Organization. Thecnology and standards commitee. Biella meeting. Report N°: SG 02.

HEAT, W.; BARKHUIZEN, E.; WRIGHT, O. 2006. The Relationship Between Mean Fibre Diameter Measurements by Airflow and Laserscan for South African Wools. International Wool Textile Organization. Thecnology and standards commitee. Cairo meeting. Report N°: RWG 0.

HYGATE, L. 2002. The importance of ‘precision’ in wool testing. Reprinted from Mackinnon Project newsletter July 2002. Mackinnon Fact Sheets

HOFFMAN, E; FOWLER, M.E. 1995. *The Alpaca book*. Clay Press Inc., Herald, California. pp 255.

HUANG, Y; XU, B. 2002. Image analysis for cotton fibers. Part I: Longitudinal Measurements. *Textile Research Journal*, 72(8), 713-720.

IWTO-52. 2006. Conditioning procedures for testing textiles. Copyright © in this edition International Wool Textile Organisation. All rights reserved.

IWTO-47. 2007. Measurement of the mean and distribution of fibre diameter of wool using an optical fibre diameter analyser (OFDA). Copyright © in this edition International Wool Textile Organisation. All rights reserved.

IWTO-12. 2011. Measurement of the mean and distribution of fibre diameter using the Sirolan-Laserscan fibre diameter analyser. Copyright © in this edition International Wool Textile Organisation. All rights reserved.

IWTO-08. 2011. Method of determining fibre diameter distribution parameters and percentage of medullated fibres in wool and other animal fibres by the Projection Microscope. Copyright © in this edition International Wool Textile Organisation. All rights reserved.

IWTO-0. APENDICE B. 2002. Presentation of supporting technical data. Copyright © in this edition International Wool Textile Organisation. All rights reserved.

KADWELL, M; FERNANDEZ, M; STANLEY, H.F; BALDI, R; WHEELERJ, C; ROSARIO, R; BRUFORT, M.W. 2001. Genetic analysis reveals the wild ancestors of the llama and the alpaca. *ProcBiolSci* 268, 2575-2584.

LASERCAN THECNICAL MANUAL. 2008. CSIRO Australia, 27 de noviembre, 2008. Aplicable para SIROLAN-LASER AWIN versión de lanzamiento del Software 1.2.10

MARLER, J. Y BAXTER, P. 2004. The 2003 Australian Wool Innovation On-Farm Fibre Measurement Instrument Evaluation Trial. Part 1: Accuracy and Precision Trials. Commercial Technology Forum of the International Wool Textile Organization (IWTO). Report No CTF 01. Evian, France.

MCLENNAN, N; LEWER, R. 2005. Wool production coefficient of variation of fibre diameter (CVFD). En: <http://www2.dpi.qld.gov.au/sheep/10003.html>. Accesado el 25 de marzo del 2010.

NAYLOR, G.R.S; STANTON, J. 1997. Time of shearing and the diameter characteristics of fibre ends in the processed top: An opportunity for improved skin comfort in garments. *Wool Tech. Sheep Breeding*, 45(4): 243-255.

PATERSON, A. 2001. FLEECESCAN and OFDA2000 trial. Reporto of Alan Heitman-Mingenew. Agriculture WA.

PORTUONDO, Y; PORTUONDO J. 2010. La repetibilidad y reproductibilidad en el aseguramiento de la calidad de los procesos de medición. Tecnología Química, número. 2, pp. 117-121. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba. Cuba.

QI, K; LUPTON, J; PFEIFFER, F; MINIKHIEM, D. 2014. Evaluation of the Optical Fibre Diameter Analyser (OFDA) for Measuring Fiber Diameter Parameters of Sheep and Goats. Texas Agricultural Experiment Station, San Angelo 76901. Sci. 1994. 72.

QUISPE E.C., R. PAÚCAR, A. POMA, D. SACCHERO Y J.P. MUELLER. 2008. Perfil del diámetro de fibras en alpacas. Proc. de Seminario Internacional de Biotecnología Aplicada en Camélidos Sudamericanos. Huancavelica. Perú.

QUISPE E.C., ALFONSO L., FLORES A., GUILLÉN H. Y RAMOS Y. 2009. Bases to an improvement program of the alpacas in highland region at Huancavelica-Perú. Archivos de Zootecnia. 58 (224): 705-716.

QUISPE, M; BENAVIDEZ, G; SAURI, R; BENGOCHEA, J; QUISPE, E. 2017. Development and preliminary validation of an automatic digital analysis system for animal fibre análisis. South African Journal of Animal Science 2017, 47 (No. 6).

QUISPE, E., SACCHERO, D., QUISPE, M. 2018. Potencial uso en la evaluación de lanas y fibras de animales de un novedoso caracterizador electrónico. Revista Investigaciones Veterinarias del Perú 2018; 29(3): 858-876.

RODRÍGUEZ, T. 2006. Producción de fibra de camélidos, calidad de fibra de llama descordada y clasificada. Edit. Instituto de Investigaciones Agropecuarias Facultad de Agronomía, UMSA. Bolivia. 361-374.

SOMMERVILLE, P. 1997. Measurement of the Fineness of Superfine Wool: A comparison of Airflow, Laserscan and OFDA. Report N° 15. Australian Wool Testing Authority Ltd, PO Box 190, Guildford, NSW 2161, Australia.

SOMMERVILLE, P.J. 2002. Wool Technol. Sheep Breed. 48(3) pp. 198–232.

SOMMERVILLE, P. 2007. Fundamental principles of fibre fineness Measurement. Australian Wool Testing Authority (AWTA) Ltd. Australia.

TURNER, H.N; HAYMAN, R.H; RICHES, J.H; ROBERTS, N.F; WILSON, L.T. 1953. Physical definition of sheep and their fleece for breeding and husbandry studies. Divisional Report No.4 Series S.W.-2), Division of Animal Health and Production, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Melbourne, Australia.

VAN ZIL, A. 2000. The relationships between mean fibre diameter measurements by Airflow, OFDA and Laserscan for South African wools from different breeds. Report N° RWG 05. Wool Testing Bureau S.A.

VILLARROEL J. 1963. Un estudio de la fibra de alpaca. Anales Científicos UNALM, 1:246–274.

WANG H.M., XIN L. Y WANG X. 2005. Internal Structure and Pigment Granules in Coloured Alpaca Fibers. Fibers and Polymers, 6: 263-268.

WALKER J.W; STEWART W. C; POPE R; SPEAR S. L; EBERT M; MURPHY T. W. 2018. Evaluation of mean fiber diameter measurements by FibreLux micron meter and OFDA2000 in Texas and Intermountain west wool. Small Ruminant Research 159 (2018-31-37). 0921-4488/2017 Elsevier B.V. All rights reserved.

VIII. ANEXO

Anexo 1: Datos de Calibración del MiniFiber-EC

Diámetro (μm)	Diámetro (px)	Promedio
1,00	8,39	8,27
1,00	8,20	
1,00	8,21	
2,00	9,34	9,35
2,00	9,44	
2,00	9,25	
3,00	10,05	9,95
3,00	10,04	
3,00	9,89	
3,00	9,83	
4,00	11,40	11,36
4,00	11,36	
4,00	11,34	
4,00	11,35	
5,00	12,53	12,42
5,00	12,37	
5,00	12,36	
6,00	13,68	13,94
6,00	13,90	
6,00	14,06	
6,00	14,05	
6,00	13,83	
6,00	14,13	
7,00	13,84	14,26
7,00	14,07	
7,00	14,78	
7,00	14,37	
7,00	14,14	
7,00	14,36	
8,00	14,85	15,09
8,00	15,02	
8,00	15,20	
8,00	15,38	
8,00	14,97	
8,00	15,35	
8,00	14,72	
8,00	15,23	

Anexo 2: Datos de Calibración del Fiber-EC

Diámetro (μm)	Diámetro (px)	Promedio
1,00	8,70	8,74
1,00	8,83	
1,00	8,72	
1,00	8,71	
2,00	9,76	9,78
2,00	9,77	
2,00	9,82	
2,00	9,97	
3,00	10,69	10,60
3,00	10,54	
3,00	10,58	
3,00	10,67	
4,00	12,25	12,17
4,00	11,97	
4,00	12,30	
4,00	11,69	
4,00	11,68	
5,00	13,50	13,20
5,00	12,91	
5,00	13,06	
5,00	13,20	
5,00	13,50	
5,00	13,02	
6,00	14,97	15,08
6,00	15,16	
6,00	15,11	
6,00	14,85	
6,00	15,21	
6,00	15,03	
6,00	15,24	
6,00	15,07	
7,00	15,01	15,25
7,00	15,07	
7,00	15,10	
7,00	15,24	
7,00	15,54	
7,00	15,56	
7,00	15,24	
7,00	15,20	
8,00	16,27	16,50
8,00	16,50	
8,00	15,83	
8,00	16,91	
8,00	16,45	
8,00	16,61	
8,00	16,93	
8,00	16,26	

Anexo 3. Datos de Error Estándar, Intervalo de Confianza, Exactitud y promedio de mediciones de cada equipo utilizando fibra de alpaca

Diámetro de Fibra (um)		16,8	18,7	21,4	24,5	31,4	Promedio
MiniFiber-EC	promedio	16,29	18,76	21,55	25,01	30,93	22,51
	EE	0,08	0,42	0,08	0,33	0,30	0,24
	IC	0,16	0,82	0,16	0,65	0,59	0,47
	Exactitud	-0,51	0,06	0,15	0,51	-0,47	-0,05
Fiber-EC	promedio	16,84	19,04	22,03	24,85	30,91	22,73
	EE	0,15	0,13	0,04	0,29	0,14	0,15
	IC	0,29	0,25	0,08	0,57	0,27	0,29
	Exactitud	0,04	0,34	0,63	0,35	-0,49	0,17
LSN	promedio	16,70	18,90	21,60	24,80	32,60	22,92
	EE	0,10	0,18	0,12	0,07	0,46	0,19
	IC	0,20	0,35	0,24	0,14	0,90	0,36
	Exactitud	-0,10	0,20	0,20	0,30	1,20	0,36
MP	promedio	17,36	18,72	22,06	24,84	30,58	22,71
	EE	0,04	0,07	0,07	0,02	0,47	0,13
	IC	0,08	0,14	0,14	0,04	0,92	0,26
	Exactitud	0,56	0,02	0,66	0,34	-0,82	0,15
Desviación estándar (um)		3,90	4,60	6,20	7,20	9,70	
MiniFiber-EC	promedio	5,66	5,91	6,84	7,54	9,34	7,06
	EE	0,07	0,09	0,13	0,03	0,07	0,08
	IC	0,14	0,18	0,25	0,06	0,14	0,15
	Exactitud	1,76	1,31	0,64	0,34	-0,36	0,74
Fiber-EC	promedio	6,38	6,96	7,95	8,87	11,20	8,27
	EE	0,09	0,10	0,21	0,16	0,30	0,17
	IC	0,18	0,20	0,41	0,31	0,59	0,34
	Exactitud	2,48	2,36	1,75	1,67	1,50	1,95
LSN	promedio	3,38	4,83	6,00	6,60	10,20	6,20
	EE	0,07	0,19	0,09	0,12	0,35	0,16
	IC	0,14	0,37	0,18	0,24	0,69	0,32
	Exactitud	-0,52	0,23	-0,20	-0,60	0,50	-0,12
MP	promedio	4,80	4,78	6,63	6,75	8,45	6,28
	EE	0,16	0,11	0,46	0,09	0,33	0,23
	IC	0,31	0,22	0,90	0,18	0,65	0,45
	Exactitud	0,90	0,18	0,43	-0,45	-1,25	-0,04
Coefficiente de variación (%)		23,40	24,70	29,20	29,40	30,70	
MiniFiber-EC	promedio	34,75	31,54	31,76	30,17	30,21	31,69
	EE	0,62	1,11	0,70	0,30	0,07	0,56
	IC	1,22	2,18	1,37	0,59	0,14	1,10
	Exactitud	11,35	6,84	2,56	0,77	-0,49	4,21
Fiber-EC	promedio	37,90	36,50	36,10	35,70	36,10	36,46
	EE	0,74	0,46	0,97	0,27	0,80	0,65
	IC	1,45	0,90	1,90	0,53	1,57	1,27
	Exactitud	14,50	11,80	6,90	6,30	5,40	8,98
LSN	promedio	22,80	25,60	28,20	26,70	31,20	26,90
	EE	0,22	0,85	0,34	0,38	0,76	0,51
	IC	0,43	1,67	0,67	0,74	1,49	1,00

	Exactitud	-0,60	0,90	-1,00	-2,70	0,50	-0,58
MP	promedio	27,68	25,54	30,03	27,21	27,62	27,62
	EE	0,86	0,47	1,96	0,41	0,64	0,87
	IC	1,69	0,92	3,84	0,80	1,25	1,70
	Exactitud	4,28	0,84	0,83	-2,19	-3,08	0,14
Factor Confort (%)							
MiniFiber-EC	promedio	97,32	95,71	90,61	79,58	51,42	82,93
	EE	0,06	0,24	0,19	1,35	1,26	0,62
	IC	0,12	0,47	0,37	2,65	2,47	1,22
Fiber-EC	promedio	96,69	93,87	86,31	73,75	44,16	78,96
	EE	0,22	0,48	0,39	1,28	2,32	0,94
	IC	0,43	0,94	0,76	2,51	4,55	1,84
LSN	promedio	99,20	97,70	92,40	83,10	47,90	84,06
	EE	0,12	0,17	0,27	1,16	1,85	0,71
	IC	0,24	0,33	0,53	2,27	3,63	1,40
MP	promedio	98,09	97,59	90,00	81,67	51,58	83,79
	EE	0,41	0,09	0,50	1,34	1,75	0,82
	IC	0,80	0,18	0,98	2,63	3,43	1,60

Anexo 4. Datos de Error Estándar, Intervalo de Confianza, Exactitud y promedio de mediciones de cada equipo utilizando lana

Diámetro de Fibra (um)		15,71	18,47	20,66	24,29	26,57	31,65	32,6	35,37	Promedio
MiniFiber-EC	promedio	15,79	18,41	20,53	23,60	26,08	31,20	32,33	34,63	25,32
	EE	0,07	0,12	0,08	0,20	0,17	0,16	0,31	0,27	0,17
	IC	0,14	0,24	0,16	0,39	0,33	0,31	0,61	0,53	0,34
	Exactitud	0,08	-0,06	-0,13	-0,69	-0,49	-0,45	-0,27	-0,74	-0,74
Fiber-EC	promedio	16,02	18,67	20,91	23,86	26,22	31,33	31,86	34,35	25,40
	EE	0,08	0,04	0,14	0,11	0,14	0,05	0,15	0,20	0,11
	IC	0,16	0,08	0,27	0,22	0,27	0,10	0,29	0,39	0,22
	Exactitud	0,31	0,20	0,25	-0,43	-0,35	-0,32	-0,74	-1,02	-1,02
LSN	promedio	15,83	18,60	20,76	24,40	26,16	31,93	32,66	35,33	25,71
	EE	0,09	0,15	0,03	0,06	0,18	0,26	0,18	0,38	0,17
	IC	0,18	0,29	0,06	0,12	0,35	0,51	0,35	0,74	0,33
	Exactitud	0,12	0,13	0,10	0,11	-0,41	0,28	0,06	-0,04	-0,04
MP	promedio	15,18	18,39	20,92	24,35	26,41	30,72	31,86	36,02	25,48
	EE	0,14	0,02	0,09	0,14	0,01	0,32	0,45	0,58	0,22
	IC	0,27	0,04	0,18	0,27	0,02	0,63	0,88	1,14	0,43
	Exactitud	-0,53	-0,08	0,26	0,06	-0,16	-0,93	-0,74	0,65	0,65
Desviación Estándar (um)		3,14	3,86	4,19	5,45	6,19	7,02	8,34	8,87	
MiniFiber-EC	promedio	4,37	5,08	5,42	7,02	7,16	8,18	8,98	9,60	6,98
	EE	0,12	0,06	0,10	0,20	0,18	0,04	0,43	0,16	0,16
	IC	0,24	0,12	0,20	0,39	0,35	0,08	0,84	0,31	0,32
	Exactitud	1,23	1,22	1,23	1,57	0,97	1,16	0,64	0,73	1,09
Fiber-EC	promedio	3,95	4,81	5,14	6,50	6,48	7,25	8,83	8,84	6,48
	EE	0,08	0,06	0,08	0,04	0,08	0,03	0,10	0,08	0,07
	IC	0,16	0,12	0,16	0,08	0,16	0,06	0,20	0,16	0,13
	Exactitud	0,81	0,95	0,95	1,05	0,29	0,23	0,49	-0,03	0,59
LSN	promedio	3,30	4,07	4,33	6,10	6,40	7,13	9,13	8,97	6,18
	EE	0,06	0,03	0,07	0,10	0,10	0,19	0,19	0,03	0,10
	IC	0,12	0,06	0,14	0,20	0,20	0,37	0,37	0,06	0,19
	Exactitud	0,16	0,21	0,14	0,65	0,21	0,11	0,79	0,10	0,30
MP	promedio	3,12	3,91	4,36	6,65	6,10	7,26	8,96	9,20	6,20
	EE	0,01	0,09	0,27	1,12	0,12	0,28	0,56	0,28	0,34
	IC	0,02	0,18	0,53	2,20	0,24	0,55	1,10	0,55	0,67
	Exactitud	-0,02	0,05	0,17	1,20	-0,09	0,24	0,62	0,33	0,31
Coefficiente Variación (%)		20,00	20,89	20,69	22,43	23,29	22,18	25,57	25,07	
MiniFiber-EC	promedio	27,68	27,57	26,42	29,72	27,43	26,45	28,40	28,16	27,73
	EE	0,87	0,25	0,52	0,62	0,51	0,16	1,26	0,68	0,61
	IC	1,71	0,49	1,02	1,22	1,00	0,31	2,47	1,33	1,19
	Exactitud	7,68	6,68	5,73	7,29	4,14	4,27	2,83	3,09	5,21
Fiber-EC	promedio	24,64	25,75	24,59	27,23	24,71	23,14	27,71	25,74	25,44
	EE	0,59	0,28	0,35	0,19	0,19	0,09	0,21	0,31	0,28
	IC	1,16	0,55	0,69	0,37	0,37	0,18	0,41	0,61	0,54
	Exactitud	4,64	4,86	3,90	4,80	1,42	0,96	2,14	0,67	2,92
LSN	promedio	20,87	21,93	21,03	25,00	24,47	22,40	27,97	25,47	23,64
	EE	0,36	0,29	0,31	0,40	0,17	0,35	0,59	0,26	0,34
	IC	0,71	0,57	0,61	0,78	0,33	0,69	1,16	0,51	0,67

	Exactitud	0,87	1,04	0,34	2,57	1,18	0,22	2,40	0,40	1,13
MP	promedio	20,60	21,20	20,80	23,20	23,10	27,55	27,86	26,84	23,89
	EE	0,28	0,50	1,37	0,33	0,45	0,51	0,69	0,64	0,60
	IC	0,55	0,98	2,69	0,65	0,88	1,00	1,35	1,25	1,17
	Exactitud	0,60	0,31	0,11	0,77	-0,19	5,37	2,29	1,77	1,38
Factor Confort (%)										
MiniFiber-EC	promedio	98,92	98,06	95,65	85,28	74,60	47,29	45,14	34,93	72,48
	EE	0,08	0,17	0,61	1,00	1,20	0,52	0,38	1,24	0,65
	IC	0,16	0,33	1,20	1,96	2,35	1,02	0,74	2,43	1,27
Fiber-EC	promedio	99,20	97,98	95,59	84,75	74,92	43,96	43,15	33,03	71,57
	EE	0,07	0,09	0,29	0,85	0,87	0,19	0,74	0,89	0,50
	IC	0,14	0,18	0,57	1,67	1,71	0,37	1,45	1,74	0,98
LSN	promedio	99,77	99,00	97,30	84,87	76,90	44,00	43,47	31,83	72,14
	EE	0,03	0,15	0,55	0,31	1,12	1,66	1,39	2,02	0,90
	IC	0,06	0,29	1,08	0,61	2,20	3,25	2,72	3,96	1,77
MP	promedio	99,67	99,29	96,83	86,36	74,50	42,51	44,09	32,82	72,01
	EE	0,16	0,21	0,50	0,65	1,00	1,38	1,78	2,67	1,04
	IC	0,31	0,41	0,98	1,27	1,96	2,70	3,49	5,23	2,05