

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE ZOOTECNIA**



**TESIS**

**CARACTERIZACION ULTRAESTRUCTURAL DE LA CUTICULA DE  
FIBRA DE ALPACA HUACAYA – MARANGANI – CANCHIS – CUSCO.**

Tesis presentada por la Bachiller en Ciencias Agrarias:

**OLGA YOLANDA CHUCTAYA HUILLCA.**

Para optar al Título Profesional de:

**INGENIERO ZOOTECNISTA**

**ASESORES:**

**MSc. ABRAHAM MACHACA MAMANI**

**MSc. VÍCTOR MANUEL VÉLEZ MARROQUÍN**

CUSCO – PERU

**2018**

## DEDICATORIA

*A Dios, por darme la vida y guiar mis pasos. A la Virgen de Copacabana por ser la madre que desde el cielo me protege.*

*A mis padres: ALIPIO Y LUCILA, que con su amor dedicación y trabajo hacen de mí una mejor persona cada día, permitiéndome así lograr mis metas y objetivos.*

*A mis queridos hermanos: NILDA, SONIA, NERY Y ALY OSCAR, con mucho cariño, por su comprensión, apoyo incondicional, por sus consejos en los momentos más difíciles de mi vida universitaria.*

## **AGRADECIMIENTO**

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos:

- A todos y cada uno de los docentes de la Escuela Profesional de Zootecnia por contribuir con sus conocimientos y enseñanzas en mi formación profesional.
- A mis asesores; M.Sc. Abraham Machaca Mamani y al M.Sc. Víctor Manuel Vélez Marroquín, por sus asesoramientos, dedicación y orientación para la realización y culminación del presente trabajo de investigación.
- Al Laboratorio de Fibras y Mejoramiento Genético de la Estación Experimental Maranganí del Instituto Veterinario de Investigaciones Tropicales y de Altura (IVITA), perteneciente a la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, por promover la investigación y por las facilidades brindadas, así mismo a todo el personal técnico y administrativo, quienes me brindaron comprensión y apoyo.
- A él, por sacarme muchas sonrisas y darme sus “si se puede” para seguir
- A mis compañeros y amigos de la universidad: Sindy, Elizabeth, Cinthia, Noemí, Magali, Lisbeth, Jaime, Elar, Clinton, Carlos Jesús, Smith, Rildo y Dante por sus consejos y noblezas.
- De manera muy especial a mis amigos Nathaly, Claudio, Jhonathan,

## INDICE

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	3
<b>CAPITULO I: OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN</b> .....	4
1.1. OBJETIVOS .....	4
1.1.1. Objetivo general .....	4
1.1.2. Objetivos específicos .....	4
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	5
<b>CAPITULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	6
2.1. GENERALIDADES DE LA FIBRA DE ALPACA .....	6
2.1.1. Características de la fibra de alpaca .....	6
2.1.2. Composición química de la fibra de alpaca .....	7
2.1.3. Características textiles de la fibra de alpaca .....	8
2.2. ESTRUCTURA DE LA FIBRA DE ALPACA .....	9
2.2.1. Cutícula .....	9
2.2.2. Estructura cuticular de la fibra .....	12
2.3. ULTRAESTRUCTURACION CUTICULAR DE LA FIBRA .....	14
2.3.1. Patrón general de las escamas .....	14
2.3.2. Márgenes de las escamas.....	15
2.3.3. Frecuencia promedio de escamas.....	16
2.3.4. Área celular de las escamas .....	18
2.3.5. Perímetro celular de las escamas .....	18
2.3.6. Angulo del borde de las escamas.....	18
2.3.7. Altura de las escamas .....	19

2.3.8. Corteza .....	20
2.3.9. Médula .....	20
2.4. INDICE DE HAUSSMAN .....	21
2.5. DIÁMETRO DE LA FIBRA .....	22
2.5.1. Medición del diámetro de fibra .....	24
2.5.1.1. Analizador Óptico del Diámetro de Fibra-OFDA 2000 .....	24
2.5.1.2. Microscopia electrónica de escaneo FEI QUANTA 200 .....	25
<b>CAPITULO III: MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>27</b>
3.1. LUGAR DE ESTUDIO .....	27
3.1.1. Ecología .....	28
3.2. Duración del trabajo .....	28
3.3. MATERIALES Y METODOS .....	28
3.3.1. Materiales .....	28
3.3.2. Material biológico .....	29
3.3.3. Equipos .....	29
3.3.4. Insumos .....	31
3.4. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO .....	31
3.4.1. Revisión de registros e identificación de alpacas .....	31
3.4.2. Muestreo de la Fibra .....	32
3.4.3. Lavado de Muestras de la Fibra Sucia .....	33
3.4.4. Determinación del patrón general y márgenes de la forma de escamas cuticulares. ....	36
3.4.5. Determinación de la frecuencia promedio, área y perímetro celular, ángulo del borde y altura promedio, de las escamas cuticulares de la fibra de alpacas Huacaya. ....	39

3.4.6. Determinación del diámetro de fibra .....	40
3.4.7. Determinación del Índice de Hausman .....	42
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	43
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>	<b>45</b>
4.1. PATRON GENERAL Y MÁRGENES DE LA FORMA DE LAS ESCAMAS CUTICULARES .....	45
4.1.1 Patrón general de las formas de escamas cuticulares .....	45
4.1.1.1. Patrón general de la forma de escamas cuticulares de fibra de alpacas influenciado por la ED1 .....	45
4.1.1.2. Patrón general de la forma de escamas cuticulares de fibra de alpacas influenciado por la ED2 .....	46
4.1.1.3. Patrón general de la forma de escamas cuticulares de fibra de alpacas influenciado por la ED3 .....	48
4.1.1.4. Patrón general de la forma de escamas cuticulares de fibra de alpacas influenciado por la ED4 .....	49
4.1.2. Márgenes de la forma de las escamas cuticulares .....	50
4.1.2.1. Márgenes de la forma de escamas cuticulares de alpaca Huacaya influenciados por la ED1 .....	50
4.1.2.2. Márgenes de la forma de escamas cuticulares de alpaca Huacaya influenciados por la ED2 .....	52
4.1.2.3. Márgenes de la forma de escamas cuticulares de alpaca Huacaya influenciados por la ED3 .....	53
4.1.2.4. Márgenes de la forma de escamas cuticulares de alpaca Huacaya influenciados por la ED4 .....	54

4.2.1. Frecuencia promedio de las escamas cuticulares de la fibra de alpacas Huacaya .....	55
4.2.2. Área celular de las escamas cuticulares de la fibra de alpacas Huacaya ...	59
4.2.3. Perímetro celular de las escamas cuticulares de la fibra de alpacas Huacaya .....	63
4.2.4. Angulo del borde de las escamas cuticulares de la fibra de alpacas Huacaya .....	66
4.2.5. Altura de la escama de las escamas cuticulares de la fibra de alpacas Huacaya .....	70
4.3. DETERMINACION DEL INDICE DE HAUSMAN.....	73
<b>CAPITULO V: CONCLUSIONES.....</b>	<b>78</b>
<b>CAPITULO VI: RECOMENDACIONES.....</b>	<b>80</b>
<b>CAPITULO VII: BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>81</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>88</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>III</b>
<b>ÍNDICE.....</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE DE FOTOS.....</b>	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>IX</b>
<b>INDICE DE CUADROS.....</b>	<b>X</b>
<b>INDICE DE GRAFICOS.....</b>	<b>XII</b>
<b>INDICE DE ANEXOS.....</b>	<b>XIII</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>XIV</b>

## INDICE DE FOTOS

<b>Foto N°1:</b> Estructura de la fibra de alpaca.....	7
<b>Foto N°2:</b> La cutícula de la fibra de alpaca.....	12
<b>Foto N°3:</b> Microfotografías SEM de la fibra de dromedario.....	17
<b>Foto N°4:</b> Microscopio electrónico FEI Quanta 200.....	26
<b>Foto N°5:</b> Equipo OFDA 2000.....	30
<b>Foto N°6:</b> Microscopio electrónico de escaneado FEI Quanta 200.....	30
<b>Foto N°7:</b> Balanza analítica.....	31
<b>Foto N°8:</b> Muestreo de la zona del costillar medio.....	33
<b>Foto N°9:</b> Muestreo del vellón de la zona del costillar medio, en el IVITA.....	33
<b>Foto N°10:</b> Muestras de fibra de alpaca etiquetada con el número de arete y fecha de nacimiento.....	34
<b>Foto N°11:</b> Lavado de las muestras de fibra de alpaca Huacaya.....	35
<b>Foto N°12:</b> Secado de las muestras de fibra de alpaca a 30% de humedad en el laboratorio de fibras del IVITA Maranganí.....	36
<b>Foto N°13:</b> Muestra de fibra de alpaca seca.....	36
<b>Foto N°14:</b> Codificación de las muestras de fibra.....	37
<b>Foto N°15:</b> Técnica de montaje directo sobre cinta adhesiva de carbono en porta muestra.....	38
<b>Foto N°16:</b> Lectura de las muestras evaluadas a temperatura ambiental.....	39
<b>Foto N°17:</b> Ampliación del montaje de la muestra de fibras.....	40

<b>Foto N°18:</b> Muestra de fibra limpia del laboratorio de fibras del centro de investigación IVITA.....	41
<b>Foto N°19:</b> Pesado de muestra limpia de fibra de alpaca en el laboratorio de fibras del IVITA sede Maranganí. ....	42
<b>Foto N°20:</b> Lectura de las muestras de fibra.....	42
<b>Foto N°21:</b> Fibra de alpaca mostrando patrones generales de las escamas cuticulares.....	45
<b>Foto N°22:</b> Formas del margen de la escama cuticular de la fibra de alpaca.....	50
<b>Foto N°23:</b> Área de la escama de la fibra de alpaca utilizando el FEI Quanta 200.....	59
<b>Foto N°24:</b> Perímetro de la escama de fibra utilizando el FEI Quanta 200 .....	63
<b>Foto N°25:</b> Angulo del borde de la escama de la cutícula de la fibra de alpaca usando el FEI Quanta 200.....	66
<b>Foto N°26:</b> Altura cuticular de la fibra de alpaca Huacaya usando el FEI Quanta 200.....	70

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura N°1:</b> Estructura de la fibra pilosa .....	14
<b>Figura N°2:</b> Patrón general de las escamas cuticulares de la fibra de alpaca....	15
<b>Figura N°3:</b> Clasificación de la forma de los márgenes de las escamas.....	16

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro N° 1:</b> Escamas cuticulares contadas en longitud de la fibra de 100 micras en los tres tipos de vellones de los camélidos domésticos peruano.....	17
<b>Cuadro N° 2:</b> Altura de la escama cuticular medida en los tres tipos de vellones de los camélidos domésticos peruanos.....	19
<b>Cuadro N° 3:</b> Agrupación de alpacas de acuerdo a edad y finura de fibra .....	32
<b>Cuadro N°4:</b> Cantidades de los componentes del lavado de las muestras de Fibra .....	34
<b>Cuadro N°5:</b> Patrón general de la forma de las escamas cuticulares de la fibra de alpacas Huacaya, influenciado por la edad 1 (1-2 años) .....	46
<b>Cuadro N°6:</b> Patrón general de la forma de las escamas influenciado por la Edad 2(2-3 años) .....	47
<b>Cuadro N°7:</b> Patrón general de la forma de las escamas influenciado por la Edad 3 (3 a 4años) .....	48
<b>Cuadro N°8:</b> Patrón general de la forma de las escamas influenciado por la Edad 4 (4- a más años) .....	49
<b>Cuadro N°9:</b> Márgenes de las escamas influenciado por la Edad 1 (1 a 2 años) .....	51
<b>Cuadro N°10:</b> Márgenes de las escamas influenciado por la Edad 2 (2 a 3años) .....	52
<b>Cuadro N°11:</b> Márgenes de las escamas influenciado por la Edad 3 (3 a 4 años) .....	54
<b>Cuadro N°12:</b> Márgenes de las escamas influenciado por la Edad 4 (4 a más años) .....	55
<b>Cuadro N°13:</b> Promedios de mínimos cuadrados de la frecuencia de la escama influenciada por la edad en alpacas.....	55
<b>Cuadro N°14:</b> Promedios de mínimos cuadrados de la frecuencia de la escama influenciada por la finura de fibra en alpacas.....	57
<b>Cuadro N°15:</b> Promedios de mínimos cuadrados del área de la escama influenciada por la edad en alpacas.....	60

<b>Cuadro N°16:</b> Promedios de mínimos cuadrados del área celular de la escama influenciada por la finura de fibra en alpacas.....	61
<b>Cuadro N°17:</b> Promedios de mínimos cuadrados del perímetro de la escama influenciada por la edad en alpacas.....	63
<b>Cuadro N°18:</b> Promedios de mínimos cuadrados del perímetro de la escama influenciada por la finura de fibra en alpacas.....	65
<b>Cuadro N°19:</b> Promedios de mínimos cuadrados del ángulo del borde de la escama influenciada por la edad en alpacas.....	67
<b>Cuadro N°20:</b> Promedios de mínimos cuadrados del ángulo de borde de la escama influenciada por la finura de fibra en alpacas.....	68
<b>Cuadro N°21:</b> Promedios de mínimos cuadrados de la altura de la escama influenciada por la edad en alpacas.....	70
<b>Cuadro N°22:</b> Promedios de mínimos cuadrados de la altura de la escama influenciada por la finura de fibra en alpacas.....	72
<b>Cuadro N°23:</b> Promedios de mínimos cuadrados del índice de Hausman de la escama influenciada por la edad en alpacas.....	74
<b>Cuadro N°24:</b> Promedios de mínimos cuadrados del índice de Hausman de la escama influenciada por la finura de fibra en alpacas.....	76

## INDICE DE GRAFICOS

<b>Gráfico N°1:</b> Frecuencia de escamas influenciada por la edad.....	56
<b>Gráfico N°2:</b> Frecuencia de escamas influenciada por la finura.....	58
<b>Gráfico N°3:</b> Área celular de las escamas influenciado por la edad.....	60
<b>Gráfico N°4:</b> Área celular influenciado por la finura.....	62
<b>Gráfico N°5:</b> Perímetro de las escamas influenciado por la edad.....	64
<b>Gráfico N°6:</b> Perímetro de las escamas influenciado por la finura.....	65
<b>Gráfico N°7:</b> Angulo del borde de la escama influenciada por la edad.....	67
<b>Gráfico N°8:</b> Angulo del borde de escamas influenciado por la finura.....	69
<b>Gráfico N°9:</b> Altura de la escama influenciada por la edad.....	71
<b>Gráfico N°10:</b> Altura de la escama influenciada por la finura.....	72
<b>Gráfico N°11:</b> Índice de Hausman influenciado por la edad.....	75
<b>Gráfico N°12:</b> Índice de Hausman influenciado por la finura.....	76

## INDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO 1:</b> Matriz de parámetros físicos OFDA, variables evaluadas, datos de las alpacas Huacaya, del IVITA – Maranganí.....	89
<b>ANEXO 2:</b> Matriz de las variables dependientes evaluadas.....	91
<b>ANEXO 3:</b> ANVA de la Frecuencia Promedio de la escama de fibra de alpaca...	94
<b>ANEXO 4:</b> ANVA del Índice de Hausman de la escama.....	94
<b>ANEXO 5:</b> ANVA del Área de la escama.....	95
<b>ANEXO 6:</b> ANVA del perímetro de la escama de fibra de alpaca.....	95
<b>ANEXO 7:</b> ANVA del ángulo del borde de la escama de fibra de alpaca.....	96
<b>ANEXO 8:</b> ANVA de la altura de la escama de la escama evaluada en la fibra de alpaca Huacaya.....	96
<b>ANEXO 9:</b> Promedio de Mínimos Cuadrados.....	97

## GLOSARIO

<b>CICAS:</b>	Centro de Investigación de Camélidos Sudamericanos.
<b>DF:</b>	Diámetro de Fibra.
<b>ED1:</b>	Edad 1 (1 a 2 años)
<b>ED2:</b>	Edad 2 (2 a 3 años)
<b>ED3:</b>	Edad 3 (3 a 4 años)
<b>ED4:</b>	Edad 4 (4 a más años)
<b>ESEM:</b>	Environmental Scanning Electron Microscope.
<b>FAO:</b>	Food and Agriculture Organization.
<b>FC:</b>	Factor de Confort.
<b>FEI:</b>	Marca, Modelo Quanta 200.
<b>FH:</b>	Finura al Hilado.
<b>ICUR:</b>	Índice de Curvatura.
<b>IVITA:</b>	Instituto Veterinario de Investigaciones Tropicales y de Altura.
<b>IWTO:</b>	International Wool Textile Organization.
<b>LM:</b>	Longitud de Mecha.
<b>MyAP:</b>	Microscopía Electrónica y Aplicaciones en el Perú.
<b>OFDA:</b>	Optical Fiber Diameter Analyzer.
<b>ONUUDI:</b>	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial.
<b>SAS:</b>	Sistema de Análisis Estadístico.
<b>SEM:</b>	Scanning Electron Microscope.
<b>V:</b>	Voltios.
<b>µm:</b>	Micra.

## RESUMEN

El presente estudio “CARACTERIZACION ULTRAESTRUCTURAL DE LA CUTICULA DE FIBRA DE ALPACA HUACAYA – MARANGANI – CANCHIS - CUSCO”, se realizó en el Instituto Veterinario de Investigaciones Tropicales y de Altura, (IVITA), ubicado en el distrito de Maranganí, provincia de Canchis, departamento del Cusco, con el objetivo de evaluar la caracterización ultraestructural de la cutícula de fibra de alpacas Huacaya. Se trabajó con 60 animales agrupados en 12 grupos de 5 alpacas, separados por edades: ED1 (de 1 a 2 años); ED2 (de 2 a 3 años); ED3 (de 3 a 4 años) y ED4 (de 4 a más años) y niveles de finura (fina= $\leq$  a 22  $\mu\text{m}$ , media fina 22.1 – 26  $\mu\text{m}$  y gruesa  $\geq$  26.1  $\mu\text{m}$ ).

Se determinaron las características ultraestructurales de la fibra como son: el patrón general, los márgenes de la forma de las escamas cuticulares, la frecuencia promedio, área y perímetro celular, ángulo del borde y altura promedio de las escamas cuticulares y el Índice de Hausman.

En cuanto al patrón general de la forma de las escamas cuticulares de fibra de alpaca Huacaya se encontraron dos formas cuticulares (mosaico regular e irregular) para todas las edades y finuras. Se encontraron 3 formas de los márgenes de las escamas cuticulares (liso, serrucho regular y serrucho irregular) para todas las edades y finuras

Con relación a la frecuencia, se encontró que la ED1 y ED2 son estadísticamente similares, en contraposición a la ED3 y ED4 ( $P < 0.05$ ). En cuanto a la finura, se detectaron diferencias entre ellas ( $P < 0.05$ ). En cuanto al área de la escama influenciada por la edad, se observó que las ED1, ED2 y ED3 muestran similitud, a diferencia de la ED4, las cuales si presentaron diferencia estadística significativa

( $P < 0.05$ ) entre ellas. El área celular no fue influenciada por efecto de la finura ( $P > 0.05$ ). Con relación al perímetro de la escama influenciada por la edad se observó que la ED1, ED2 y ED3 son iguales estadísticamente y la ED4 es diferente a las anteriores ( $P < 0.05$ ). Asimismo, el perímetro no fue influenciado por la finura a una  $P < 0.05$ . El ángulo del borde de la escama influenciada por la edad, se observa que la ED2, ED3 y ED4 son iguales a diferencia de la ED1, en el ángulo de las escamas por efecto de la finura de las alpacas son iguales. En relación a la altura de la escama influenciada por la edad en alpacas, se detectaron diferencias estadísticas significativas a una probabilidad del 95% ( $P < 0.05$ ). El índice de Hausman es influenciado por las 4 edades, fue significativo, para el mismo índice por efecto de la finura, no se presentó diferencia entre ellas.

## INTRODUCCIÓN

El Perú tiene la mayor población de alpacas en el mundo, representa alrededor del 80% de la población mundial (FAO, 2005; ONUDI, 2006). Las alpacas del territorio peruano producen el 91% de la producción mundial de fibra de esta especie (Villaruel, 1991). Sin embargo, a pesar de los esfuerzos realizados, la crianza de alpacas aún presenta debilidades para su desarrollo con bajos índices de producción, íntimamente ligado al pobre manejo genético de los animales lo cual se ve traducido en escasos ingresos económicos para el productor por la venta de fibra de poca calidad ya que la demanda de este producto es de acuerdo a la calidad y finura que presenta. (Quispe, 2005)

En las comunidades campesinas el promedio de finura de fibra es de calidad inferior, evidenciando la necesidad de un programa de mejora genética que contribuya al desarrollo de esta actividad (Quispe, 2005)

El presente trabajo de investigación busca realizar la caracterización ultraestructural de la cutícula de la fibra de alpacas huacaya.

El presente trabajo de investigación busca evaluar los principales aspectos relacionados a la estructura fibra de alpaca, como su ultraestructura cuticular. Asimismo, es necesario describir otros rasgos tales como la forma de los márgenes de las escamas, el patrón general de la forma de las escamas, frecuencia promedio de las escamas, área celular de la escama, perímetro de la escama, ángulo del borde de la escama, y la altura promedio de la escama, índice de Hausman, esta información fortalecerá el conocimiento a la biología de la fibra y así poder contar con mayores criterios para instaurar posteriormente planes o programas de mejoramiento genético, de igual manera contribuirá al desarrollo del poblador alto andino en especial a los productores alpaqueros.

## **CAPITULO I**

### **OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN**

#### **1.1. OBJETIVOS**

##### **1.1.1. Objetivo General**

- Caracterizar ultraestructuralmente la cutícula de la fibra de alpaca Huacaya en el distrito de Maranganí, provincia de Canchis, Departamento del Cusco.

##### **1.1.2. Objetivos Específicos**

1. Determinar el patrón general y los márgenes de la forma de las escamas cuticulares.
2. Determinar la frecuencia promedio, área y perímetro celular, ángulo del borde y altura promedio, de las escamas cuticulares.
3. Determinar el Índice de Hausman.

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

La finura es un factor que determina la calidad de la fibra y establece el precio que el vellón tendrá en el mercado. Por este motivo es muy importante que la ganadería altoandina tome la iniciativa para producir fibras finas de alta calidad, y con esto obtener mejores precios en el mercado mundial que cada vez es más exigente.

En la actualidad, la medición del diámetro de la fibra representa un problema para los pequeños productores, especialmente en lo referido al costo y a la accesibilidad a los diferentes métodos de medición existentes. Frente a estos problemas es de suma importancia capacitar al productor alpaqueros teniendo en cuenta las características tecnológicas de la fibra de alpaca y las tendencias de los mercados internacionales.

Este estudio permitirá coleccionar información relevante en base, a la caracterización ultraestructural de la cutícula más detallada, que contribuirá como marco de referencia para los proyectos de mejoramiento genético para el desarrollo del sector alpaquero.

## CAPITULO II

### REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1. GENERALIDADES DE LA FIBRA DE ALPACA

##### 2.1.1 Características de la fibra de alpaca

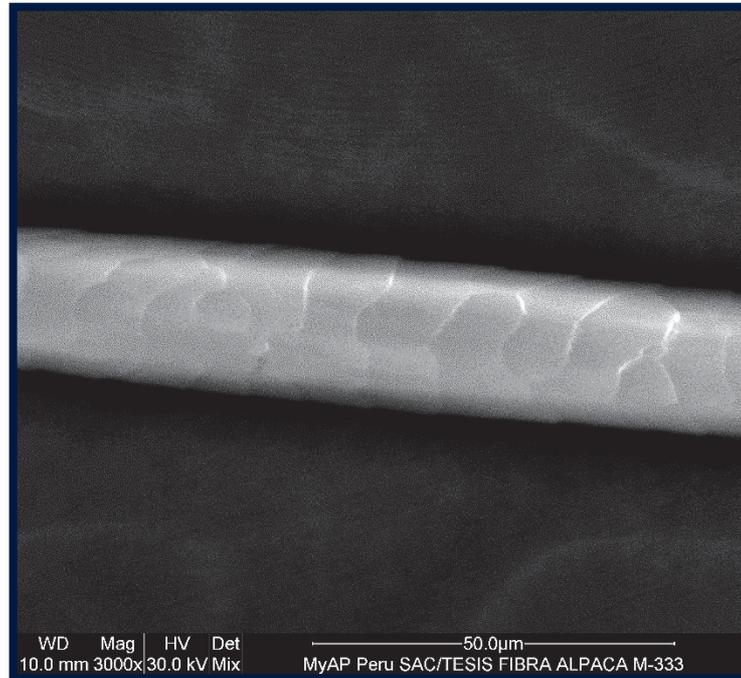
La estructura de la fibra de alpaca es similar a la lana. Las escamas externas llamadas cutículas, son células duras, planas que no se unen de forma pareja, es parcialmente hueca de 20 a 70 micras en su diámetro y se presenta en aproximadamente 22 colores naturales. Es ligera, más fuerte que la lana de oveja y provee excelente aislamiento. Las alpacas Huacaya producen fibras suaves, densas y cortas, mientras que la fibra de la raza Suri es brillante, sedosa y lisa (Menaes, 2010).

La fibra de alpaca es tres veces más fuerte que la lana de oveja, y siete veces más caliente, no posee grasa o lanolina (Menaes, 2010).

La fibra fina se encuentra en la parte del lomo y los flancos del animal; mientras que las fibras gruesas se concentran mayormente en la región pectoral, extremidades y cara. El diámetro de la fibra de alpaca oscila entre 18 y 33 micras, dependiendo a que parte del cuerpo corresponde y a la edad del animal esquilado. La finura promedio estará en el orden del 26.8 a 27.7 micra (Villaruel, 1963).

La fibra de la alpaca es suave al tacto y tiene un alto poder de higroscopicidad, que le permite absorber la humedad ambiental entre un 10 % a 15 %, no afectando su aspecto. Otra característica importante de la fibra de alpaca es su capacidad de mantener su temperatura corporal,

independientemente de lo que ocurra en el medio exterior; aunque cabe señalar que, al elaborarse en tejidos, la fibra tiende a separarse, requiriéndose su combinación con otras fibras naturales como la lana o fibras sintéticas que tienen el efecto contrario (Menares, 2010).



**Foto N° 1:** Estructura de una fibra de alpaca.

### **2.1.2. Composición química de la fibra de alpaca**

La fibra animal es una estructura organizada formada principalmente de una proteína llamada queratina que crece desde su parte más interna (la raíz), ubicado en la dermis. Así mismo, señalan que todas las fibras de animales contienen cinco elementos químicos: carbono, hidrogeno, oxígeno, nitrógeno, y azufre; los cuatro primeros son los aminoácidos, mientras que el azufre forma parte de la cistina y metionina, (Von, 1976; Carpio, 1981). La queratina de la fibra es un polímero natural que presenta una composición química elemental: 50% de carbono, 16% de

nitrógeno, 3.7% de azufre, 7% de hidrógeno y 23.3% de oxígeno; la fibra de alpaca se diferencia por tener un mayor contenido de azufre de 4.19%; otras características resaltantes es al momento o punto de ebullición donde la fibra no se forma en una cola a diferencia que en los álcalis fuertes particularmente son susceptibles al daño, por ejemplo; en soluciones de hidróxido de sodio al 5% a temperatura ambiente se hinchan y acaban por disolverla (Lira, 2000), sucediendo lo mismo con los ácidos minerales concentrados (sulfúrico y nítrico) causan desdoblamiento y descomposición de la fibra, sin embargo en ácidos diluidos son usados durante el proceso industrial para carbonizar la materia vegetal adheridas aunque también la hacen aumentar de tamaño, en cambio la mayoría de solventes orgánicos no causan daños y son usados necesariamente para quitar la mancha de los tejidos de la fibra alpaca (Schmid, 2006; Lira, 2000).

### **2.1.3. Características textiles de la fibra de alpaca**

La estructura de la fibra de alpaca, la hace muy suave al tacto, pudiéndose comparar con una lana de 3 a 4 micrones más fina y tiene un bajo poder de higroscopicidad, que le permite absorber la humedad ambiental entre un 10% a 15%, no afectando su aspecto, la otra particularidad de la fibra es la longitud, compresión y por su gran resistencia a la tracción, obteniendo mejores resultados siendo tres veces mayor que la lana de ovino, y frente a otras fibras animales, muy importante para los procesos textiles (Wang et al., 2003; MINAG, 2008; Velarde, 1993). La fibra de alpaca se comporta como el mejor aislante térmico gracias a su capacidad de mantener la temperatura corporal

debido al alto contenido de médula hueca, ya que contiene más aire en los agujeros de la medula de la fibra, haciendo posible usar las prendas confeccionadas con fibra de alpaca en diferentes condiciones climáticas (Wang et al., 2003).

Otra cualidad de la fibra de alpaca es su bella textura, especialmente su apariencia en los abrigos confeccionados con la tela, presenta una excelente caída con un brillo natural siendo muy atractivo a la vista y al roce. También es importante señalar que la fibra de alpaca no se combustiona muy fácilmente y tiene una menor tendencia al afieltramiento. En cuanto a colores en la industria textil, es posible encontrar más de 23 tonalidades de colores que van desde el blanco, tonalidades cremas, tonos marrones, colores plata, grises y el negro (FAO, 2005).

## **2.2. ESTRUCTURA DE LA FIBRA DE ALPACA**

### **2.2.1. Cutícula**

La cutícula viene a ser la capa externa de la fibra, y está compuesta de células chatas o planas de forma poligonal superpuestas unas a otras, a manera de escamas de un pescado, unidas muy fuertemente por una membrana finísima que le permite cumplir el papel de encerrar y proteger a las células de la capa cortical que constituye el cuerpo de la fibra y la médula (Wang y Liu, 2005; Carpio, 1981; Von, 1976). Las fibras de alpaca Huacaya presentan escamas con bordes más sobresalientes que las fibras de alpaca Suri (Lira, 2000; San Martín y Franco, 2007). La fibra de la raza Suri presenta una superficie más suave en la capa externa de

la cutícula, mientras que la fibra de la raza Huacaya presenta una superficie áspera. Las diferencias en sus propiedades de fricción se deben a las características cuticulares y al modelo de escamas de la fibra. A medida que el diámetro disminuye la escama se torna semicoronal o coronal; por el contrario, a medida que la fibra se engruesa las escamas son más pequeñas y sus márgenes se vuelven más irregulares y próximos. Por otro lado, la principal diferencia entre los modelos de escama de fibra de alpaca y la lana de ovino es el tamaño y la forma de las escamas. Usualmente, en las alpacas éstas son menores e irregulares y muestran menor protuberancia en los márgenes superiores, aunque en las fibras finas, especialmente de la raza Huacaya, tienen bordes semejantes a los de la lana de ovino (Villaruel, 1963; Bustinza, 2001).

En caso de que sea una sola célula la que envuelve la fibra, el brillo es poco; en cambio cuando son muchas, como ocurre en las fibras gruesas, la mayor cantidad de bordes libres de las células, le otorgan mayor brillo a la fibra de lana Lincoln (Santiago, 2004)

La cutícula es propia de toda fibra animal, y que no la poseen las fibras vegetales. La superposición unidireccional de las escamas apuntando siempre hacia arriba y su ordenamiento son las responsables del poder de afieltramiento que poseen todas las fibras animales y que consiste en que las fibras se traban unas con otras por intermedio de las células cuticulares, formando de esta manera un hilo resistente y elástico (Carpio, 1981). Así mismo, podemos mencionar que, dentro de estas células corticales, en regiones medulares y debajo de las cutículas, se

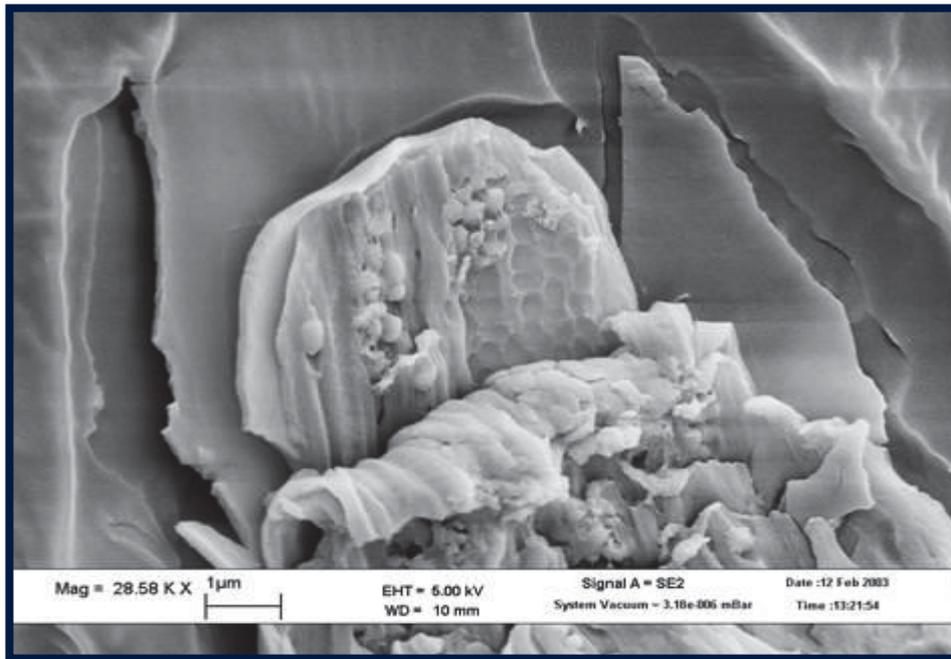
distribuyen los gránulos de pigmentos en alpacas de color que pueden ser vistos tanto desde cortes longitudinal y transversal. Estos gránulos de color en las fibras de alpaca aflojan el conjunto de células corticales, formando así muchas cuevas en las fibras que pueden contribuir a una superior flexibilidad, suavidad y calidez que son factores importantes en la decisión del consumidor que compra prendas tejidas con fibra de alpaca (Wang y Liu, 2005; Xungai et al.2004).

Von (1976) y Carpio (1981) proponen la siguiente clasificación de la cutícula de la fibra:

- **Coronaria o coronal**, cada escama da una vuelta completa alrededor de la fibra. La punta de una escama sobrepone la base de la inmediata superior. Esta forma solo se encuentra en las fibras muy finas.
- **Imbrincada**, las escamas no completan una vuelta alrededor de la fibra, pero siguen más o menos la misma disposición de sobre posición que la anterior. Es característica de fibras medias y gruesas, cada borde contiene más de una escama.
- **Reticular**, las escamas son chatas y no se superponen, ellas son parte integrantes de la fibra y no tienen bordes libres. Esta forma se encuentra predominantemente en los pelos de fibra de alpaca.

Von (1976) menciona que las escamas también se pueden clasificar de acuerdo a la forma de sus bordes en:

- **Coronaria**: Simple, aserrada y dentada.
- **Imbricanda**: Ovalada, aserrada, elongadas.



**Foto N° 2:** Cutícula de la fibra de alpaca. (Tomado de: Wang y Liu, 2005).

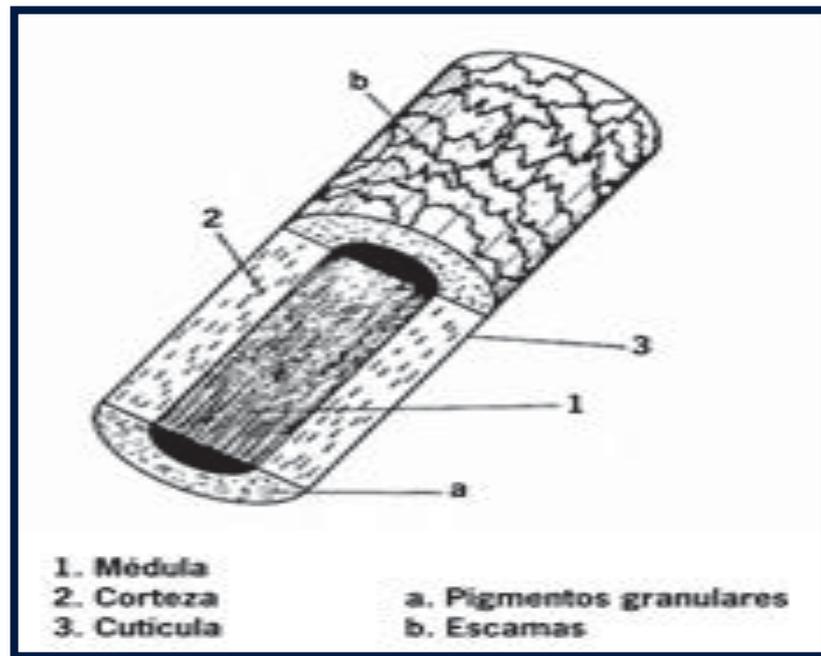
### 2.2.2. Estructura cuticular de la fibra

Histológicamente, la fibra está constituida por dos capas netamente distintas, una externa llamada capa cuticular y otra interna o capa cortical, pudiendo haber una tercera denominada médula (Rodríguez, 2006)

La corteza es una capa muy variable en la fibra de alpaca y aumenta su proporción relativa a medida que el diámetro disminuye. Así, hay fibras que sólo presentan cutícula y corteza. En éstas, las células corticales forman más del 90% de la masa de la fibra, similar al caso de las fibras de lanas finas en ovinos. En el otro extremo, existen fibras gruesas en las cuales se distinguen claramente la cutícula, la corteza y la médula. En éstas la corteza puede comprender menos del 50% de toda la masa de la fibra. Entre los dos extremos hay una gama de casos intermedios. En

la corteza de la fibra de ovinos se distinguen dos secciones reconocidas por sus propiedades físicas y químicas. Las células de estas secciones se denominan células **orto** y **para**, que a la tinción con azul de metileno son fuerte y débilmente teñidas, respectivamente (San Martín y Franco, 2007). En la fibra de la raza Huacaya, como en el caso de la lana de ovino, la corteza muestra una diferenciación más clara de las secciones **orto** y **para** a medida que la fibra es más rizada (Bustinza, 2001). Así, las fibras de gran finura y de alto grado de rizamiento muestran una mayor diferenciación. En las fibras con médula, la estructura **orto** y **para** permanecen similar a las de aquellas fibras no meduladas. En la fibra de finura media (25 a 35  $\mu\text{m}$ ) las células **orto** y **para** se distribuyen en forma variable y con una demarcación menos nítida. Las células **orto** siempre se ubican a un lado de la sección transversal, generalmente en forma perpendicular o ligeramente opuesta al diámetro mayor; y en las fibras gruesas (40  $\mu\text{m}$  o más) raramente se observan porciones claramente teñidas (**orto**), y cuando se notan son como manchas en las regiones más externas de la fibra; no se observa la distribución radial de las células de tipo **orto** (Villaruel, 1963; Bustinza, 2001; San Martín y Franco, 2007).

Las fibras Suri, probablemente por ser rectas, lacias y de superficie suave, tienen menor afinidad hacia los tintes, lo cual dificulta el estudio de la diferenciación de las células corticales orto y para aún en las fibras finas. En las fibras medias y gruesas de la alpaca Suri es muy difícil distinguir células corticales de tipo orto (Bustinza, 2001).

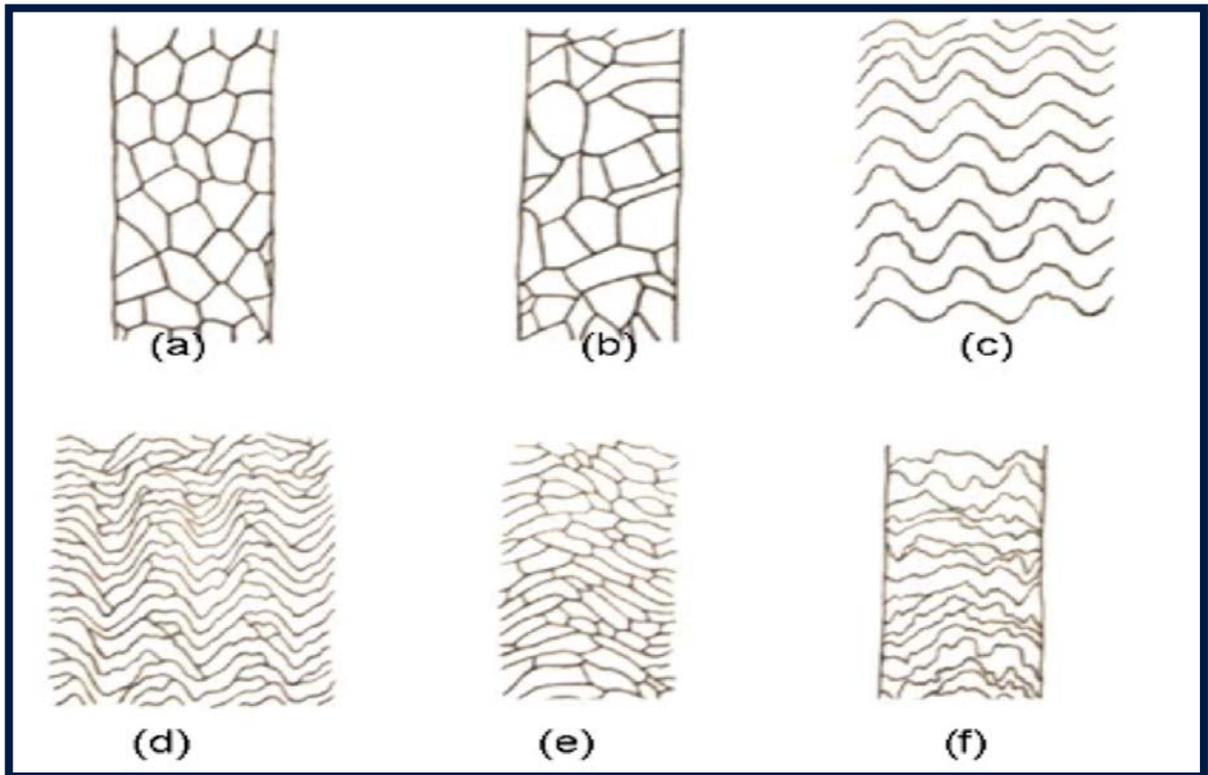


**Figura N° 1:** Estructura de la fibra pilosa (tomado Rodríguez, 2006)

## **2.3. ULTRAESTRUCTURACION CUTICULAR DE LA FIBRA**

### **2.3.1. Patrón general de las escamas**

Normalmente, es la determinación más importante desde el punto de vista cualitativo, porque resume todas las formas. La clasificación más simple de los patrones se basa en el aspecto de mosaico que tiene y en ese caso se clasifican en: mosaico regular, mosaico irregular, onda simple regular, onda regular interrumpida, mosaico - onda irregular y onda medio profunda. (Wildman, 1955; Appleyard 1978)

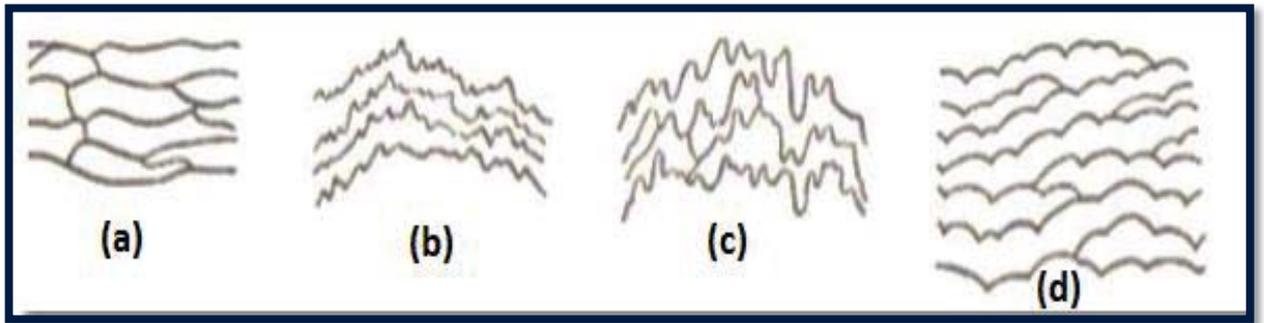


**Figura N° 2:** Patrón general de las escamas cuticulares de la fibra de alpaca: **(a)** mosaico regular, **(b)** mosaico irregular, **(c)** onda regular simple, **(d)** onda regular interrumpida, **(e)** mosaico, onda regular, **(f)** onda medio profunda. (Tomado Wildman, 1955; Appleyard 1978).

En comparación con otras fibras finas, las de los camélidos son, a veces, similares a la lana fina y la cachemira con estructuras de escamas casi en forma de mosaico (Knott, 1990).

### 2.3.2. Márgenes de las escamas

Los márgenes se clasifican como: lisas, serrucho regular, serrucho irregular y ondeado.



**Figura N° 3.** Clasificación de la forma de los márgenes de las escamas: (a) Lisas, (b) Serrucho regular, (c) Serrucho irregular, (d) Ondeadas (Wildman, 1955; Appleyard 1978).

### 2.3.3. Frecuencia promedio de escamas

La frecuencia de escamas cuticulares se define como el número de escamas por cada 100 micras de longitud de fibra y varía entre 10 y 12 para la lana (Knott, 1990), de 6 a 8 para cachemira, de 6 a 7 para la cabra angora y 10 para las llamas y alpacas (Phan y otros 1998).

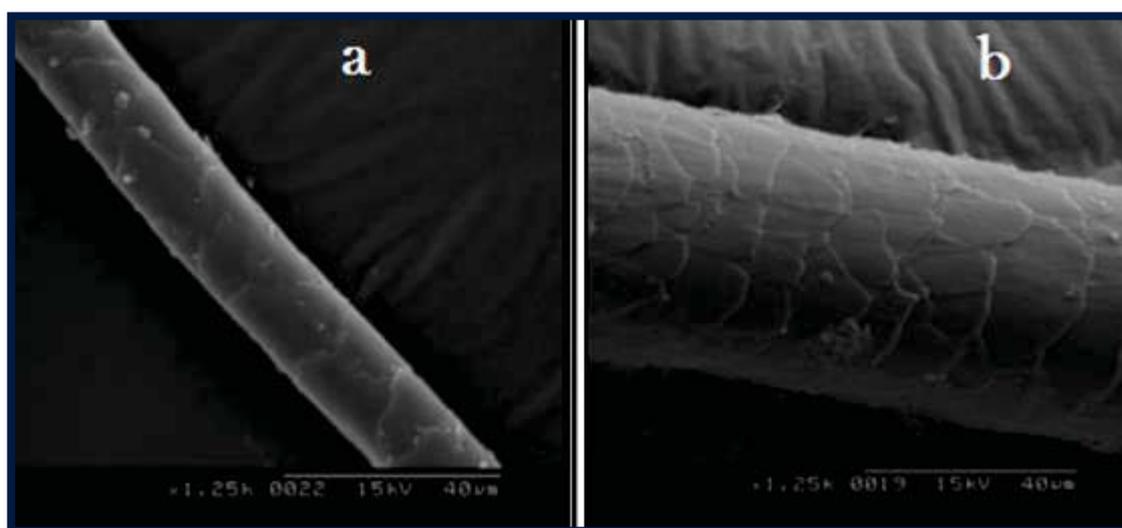
En un estudio realizado sobre la estructura cuticular de la fibra en tres tipos de camélidos domésticos peruanos se reportaron los siguientes datos:

**Cuadro N° 1.** Escamas cuticulares contadas en longitud de la fibra de 100 micras en los tres tipos de vellones de los camélidos domésticos peruanos.

Tipos de vellón	N° de fibras	Media	SE	95% de intervalo de confianza para media		Mínimo	Máximo	CV (%)
				Límite inferior	Límite superior			
Llama	1050	9.72a	0.06	9.60	9.84	4	18	20.00
Huacaya	1050	9.11a	0.05	9.02	9.20	5	15	17.78
Suri	1050	7.57b	0.04	7.50	7.65	4	13	17.12

Fuente: Antonini *et al.*, 2006.

La frecuencia de escamas cuticulares es un parámetro importante en la caracterización de fibras de origen animal. La frecuencia de escamas cuticulares es definida como el número de escamas en una longitud de fibra de 100 micras (Harizi *et al.*, 2014).



**Foto N° 3.** Microfotografías SEM de la fibra de dromedario: (a) fibra fina a la izquierda y (b) fibra gruesa a la derecha. (Antonini *et al.*, 2006).

#### **2.3.4. Área celular de las escamas**

La información respecto a esta variable es escasa, y más aún en consideración a la edad o calidad de fibras naturales. La investigación más cercana correspondería a un estudio realizado por Vásquez *et al.* (2000) quienes cuantificaron el ancho de las células cuticulares de pelos en diversas especies silvestres, entre ellas vicuñas (*Vicugna vicugna*) y guanacos (*Lama guanicoe*), dichos autores indican valores de  $69,25 \pm 0,33$  y  $35,31 \pm 13,05$  micras para el diámetro de guanacos y vicuña, respectivamente, en estos animales se encontraron valores de  $10.2 \pm 0.0$  y  $8.42 \pm 0.27$  micras para el ancho de células cuticulares en estas especies, con lo cual podríamos generalizar que existiría una relación entre el diámetro y el área cuticular.

#### **2.3.5. Perímetro celular de las escamas**

Jones (2001), indica que en ovinos Merino las medidas de la célula cuticular son variables y el perímetro en general mide 50 micras.

#### **2.3.6. Angulo del borde de las escamas**

En el caso de dromedarios, las escamas no tienden a sobresalir de la fibra y parecen casi convexas, y los márgenes por lo general formar al menos un ángulo agudo ( $45^\circ$ ) según lo reportan Harizi *et al.* (2014).

Vassis *et al.* (2003), en una investigación sobre el ángulo de escamas cuticulares, en cabras cachemira, encontraron que existe una tendencia a que el ángulo podría incrementarse directamente con la calidad de

fibra, y asumiendo que la fibra incrementa su diámetro conforme transcurre la edad de las alpacas.

Respecto a otros estudios, Vassis *et al.* (2003), estudiando el ángulo de escamas cuticulares, en cabras cachemira, hallaron que existe una tendencia en la cual el ángulo que se inserta en el eje principal de la fibra, se incrementa conforme se engruesa dicha fibra.

### 2.3.7. Altura de las escamas

La altura de las escamas se utiliza, principalmente, para distinguir la lana merina (muy por encima de 0.6 micras) de las fibras especiales (menos de 0.4 micras de altura) como, por ejemplo, las de cachemira, llama, cabra angora, camello y yac, tal como hizo Wortmann en 1991.

En un estudio realizado sobre la estructura cuticular de la fibra en tres tipos de camélidos domésticos peruanos se reportaron los siguientes datos:

**Cuadro N° 2.** Altura de la escama cuticular medida en los tres tipos de vellones de los camélidos domésticos peruanos.

Tipos de vellón	N° de fibras	Media	SE	95% de intervalo de confianza para media		Mínimo	Máximo	CV (%)
				Límite inferior	Límite superior			
Llama	350	0.40	0.009	0.38	0.42	0.20	1.20	42.09
Huacaya	350	0.52	0.008	0.50	0.54	0.20	1.10	28.78
Suri	350	0.47	0.010	0.45	0.49	0.10	1.50	39.80

Fuente: Antonini *et al.*, 2006.

### **2.3.8. Corteza**

La corteza forma la mayor parte de la fibra y consiste en varias células aplanadas que poseen queratina, en la alpaca la corteza es muy variable, y aumenta su proporción relativa a medida que la finura también aumenta. Así hay fibras que solo presentan cutícula y corteza, en estas las células corticales forman más del 90% de la masa de la fibra, similar al caso de las fibras de lanas finas. En el otro extremo existen fibras gruesas en las cuales se distinguen claramente la cutícula, corteza y medula en estas la corteza puede comprender menos del 50% de toda la masa de la fibra (Bustinza, 2001).

La corteza constituye el cuerpo de la fibra por lo tanto es la parte de mayor volumen en ella. Está compuesta por células de cerca de 100 micras de longitud y de 2 a 4 micras de grosor. Las células al corte transversal muestran una forma poligonal. A diferencia de las escamas que aparecen sin estructura, las células verticales están formadas por fibrillas orientadas longitudinalmente y tienen en su centro el residuo de un núcleo celular.

### **2.3.9. Médula**

La medulación de la fibra de alpaca a la observación longitudinal presenta las siguientes características: en las fibras más finas hay ausencia de medula; en las fibras de grosor intermedio es interrumpida o delgada y en las fibras gruesas de tipo látice. En la sección transversal la medula aparece como una demarcación central oscura de formas variadas (Sosa, 2006).

La fibra no medulada es a su vez más circular y corresponde a las fibras más finas. La medulación fragmentada presenta una sección circular y corresponde a fibras finas. A medida que la fibra se engruesa, la medula se torna continua a lo largo de su longitud; siendo también más amplia y sólida y su sección transversal es ovoide arriñonada e irregular. Las fibras gruesas tienen medula sólida y de gran tamaño que presentan una sección transversal de forma arriñonada, triangular u en algunos la medula toma la forma de S o T. las fibras más gruesas (Cerdas) poseen medula continua y muy amplia, similar al tipo látice y la sección transversal se torna en doble T o X con extremos expandidos en forma irregular (Bustanza. 2001).

#### **2.4. INDICE DE HAUSSMAN**

El índice de Hausman es una forma de evaluar la estructura de las escamas de una fibra, Se obtiene dividiendo la frecuencia promedio de escamas entre el diámetro medio de fibra (Appleyard, 1978). Este índice será mayor conforme las fibras sean más finas.

Según Carpio y Santana (1978), en el estudio preliminar de la longitud y análisis cuticular de la fibra de vicuña, halló un promedio de índice de 1.30 con un rango de 1.56 – 1.04 para la fibra fina, y para la fibra gruesa el promedio de índice es de 0.212 con un rango de 0.211 – 0.214. Si se comparan estos resultados con los hallados en la lana, pelo y kemp, se observa que cumplen la relación del índice de Hausman, es decir que tienden a disminuir con el aumento del diámetro de las fibras.

Conforme engruesa la fibra, la altura disminuye y el índice se hace menor, y a su vez el número de escamas por mm de fibra aumenta (Carpio y Santana, 1978).

## **2.5. DIÁMETRO DE LA FIBRA**

El diámetro de la fibra es uno de los factores más importantes en la clasificación de la fibra, el cual podría determinar el precio de la fibra en el mercado. La comercialización generalmente se realiza por peso de vellón; pero hay empresas privadas que otorgan incentivos por finura de vellón. Sin embargo, la medición del diámetro de la fibra representa un problema de costos y de accesibilidad a los métodos existentes, especialmente para los pequeños productores. Algunas muestras son enviadas a laboratorios especializados y, en otros casos, solo cuentan con la inspección visual (Hoffman y Fowler, 1995; Hoffman, 2003; McColl, 2004).

En alpacas, la nutrición juega un rol importante en la formación y maduración folicular, así como en el crecimiento y diámetro de la fibra. Franco (2006) reporta que hembras en el último tercio de gestación con un buen estado nutricional producen crías con mayor peso al nacimiento y también con mayor densidad folicular, lo que se interpretaría que a mayor densidad folicular se producen fibras más finas. Según Florez et al. (1986), la fibra proveniente de animales mal alimentados es menos resistente y más fina que la de animales con mejor alimentación. Con respecto al diámetro de la fibra, Bustinza (2001) reporta que, en periodos

de sequía en el altiplano, el diámetro de fibra disminuye aproximadamente en 5  $\mu\text{m}$ .

Para la evaluación la muestra de la fibra se toma de la zona media a la altura de la décima costilla, debido a considerarse la zona más representativa para medir la media del diámetro de fibra de alpaca (Aylan-Parker y McGregor, 2002)

Montes et al. (2008) al realizar una investigación en 203 alpacas de ocho comunidades de la región alto andina de Huancavelica reportan que más del 60% de las alpacas tuvieron el vellón con medias del diámetro de  $\leq 23 \mu\text{m}$ , lo cual corresponde a fibras de la mejor calidad y cerca del 4% tuvieron vellones de la calidad más baja (con medias de diámetro de fibra  $> 29 \mu\text{m}$ ). El diámetro de fibra de cerca del 35% de los vellones tuvieron un coeficiente de variación  $< 20\%$ , solo un 13% tuvieron un coeficiente mayor al 25%. La media del diámetro de fibra global fue de 22.7  $\mu\text{m}$ .

Quispe et al., (2007) en un estudio que realizó con 544 muestras de vellón de alpaca de color blanco provenientes de 8 comunidades, de la región de Huancavelica de distintas edades y sexos, encontró valores de diámetro de fibra de  $21,56 \pm 0,12\mu\text{m}$  y coeficiente de variación del diámetro de fibra  $22,82 \pm 0,12\%$ , respectivamente.

Huamaní y González (2004) en un estudio realizado en las comunidades alto andinas muestra diámetros de fibra de 24.62, 25.57 y 26.74  $\mu\text{m}$  para animales de 2, 3 y 4 años de edad respectivamente.

Gonzales et al., (2008) al realizar una evaluación de 206 muestras de fibra de alpacas del fundo Pacamarca-Puno encontraron valores promedio de diámetro de las fibras de  $21.74 \pm 3.03$ ,  $21.64 \pm 3.58$  y  $21.74 \pm 4.01 \mu\text{m}$  según los métodos DIFDA, Lanámetro y OFDA, respectivamente; sin haber diferencia significativa entre ellos.

## **2.5.1. Medición del diámetro de fibra**

### **2.5.1.1. Analizador Óptico del Diámetro de Fibra-OFDA 2000**

El OFDA 2000 es el primer instrumento mundial para medir el perfil de diámetro de la fibra de fragmentos de 0,5 a 60  $\mu\text{m}$ . Puede medir hasta 20.000 fibras por minuto. Se trata de la sustitución del OFDA 100, que proporciona la misma precisión y medición más rápido. Esta tecnología se utiliza en todas las etapas de procesamiento de la lana desde la lana gruesa hasta la lana suave de hilados y tejidos, también se utiliza para medir fibras sintéticas, así como las fibras especiales: cachemira, alpaca y mohair. El OFDA 2000 es reconocido por el protocolo de ensayo IWTO TM-47 (Brims *et al.*, 1999).

Los datos del histograma de OFDA incluyen el DF, la desviación estándar (SD), coeficiente de variación (CV), factor de confort (FC), el índice de curvatura (ICUR) y la finura al hilado (FH). El FC es vital para los criadores de ovejas y compradores de lana para identificar aquellas fibras gruesas en una muestra que puede causar una sensación de “picazón” en algunas prendas de lana (Brims *et al.*, 1999).

El OFDA 2000 viene en dos versiones, la versión sobremesa que se utiliza en los laboratorios y la versión portátil para evaluaciones en las explotaciones pecuarias. Ambas versiones tienen las mismas especificaciones y sólo difiere en paquete físico (Brims *et al.*, 1999).

#### **2.5.1.2. Microscopia electrónica de escaneo FEI QUANTA 200**

Este equipo genera tres modelos de imágenes, alto vacío, bajo vacío y ESEM; está diseñado para proveer el máximo de datos e imágenes y microanálisis para todos los especímenes con o sin preparación, lo que permite ingresar el más amplio rango de muestra en cualquier sistema SEM (Menares, 2010) que es una técnica de caracterización física, la cual permite estudiar el aspecto superficial de los objetivos analizados. El principio de este método consiste en hacer un barrido de la superficie de la muestra con un haz de electrones de alta energía. Aproximadamente en el rango de los 10 a 20 kv (Monteza, 2016).

El microscopio electrónico de barrido (SEM, Scanning Electron Microscope) es uno de los instrumentos más versátiles para el examen y análisis de características micro estructurales de objetos sólidos. Una de las razones para ello es su alta resolución (20 a 50 Å) y la apariencia tridimensional de las imágenes, producto de una gran profundidad de foco (entre 100 y 1000 veces mayor que la de un microscopio óptico a la misma magnificación). Trabajan a un vacío aproximado de  $10^{-6}$  torr. En estos microscopios las muestras no conductoras (orgánicas, biológicas, vidrios, polímeros, etc.) necesitan una cubierta conductora metálica, para evitar carga eléctrica y daño por radiación, y lograr su observación.

En estos casos generalmente se utiliza una cubierta de oro (por ser buen conductor de calor y electricidad) (Kang et al., 2013)

En el caso de las muestras biológicas estas deben recibir un tratamiento de secado por punto crítico (CPD, Critical Point Drying) previo al metalizado. El CPD es un método de secado posterior a la deshidratación con alcohol o acetona, que permite conservar la forma y estructura celular de la muestra (Kang et al., 2013).



**Foto N° 4.** Microscópio electrónico FEI Quanta 200.

## CAPITULO III

### MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. LUGAR DE ESTUDIO

La obtención de las muestras de fibras de alpaca se realizó en el Centro de Investigación de Camélidos Sudamericanos (CICAS) La Raya, de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNSAAC, cuya extensión es de 6 323.23 ha, ubicada en la región del Cusco, provincia de Canchis, distrito de Maranganí; a 4 200 m.s.n.m. y entre las coordenadas 14°30' y 15°45' Latitud sur y 65°45' y 75°00' Longitud Oeste. Los promedios máximos de temperatura varían de 13°C a 15°C, apreciándose su punto más alto en Noviembre; y el promedio para temperaturas mínimas de -7°C a -25°C, siendo el registro más bajo en junio. La precipitación pluvial está concentrada entre noviembre a marzo variando de 101 a 183 mm/mes (Holgado, 1987).

El análisis para la determinación del diámetro de fibra (DF) se llevó a cabo en el Laboratorio de Fibras y Mejoramiento Genético de la Estación Maranganí del Instituto Veterinario de Investigaciones Tropicales y de Altura (IVITA) sede Maranganí de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM); que se encuentra ubicado en la región del Cusco, provincia de Canchis y distrito de Maranganí. Situado a una altitud de 3700 m.s.n.m.

La toma fotográfica de la cutícula se realizó en las dependencias de MyAP - Microscopía Electrónica y Aplicaciones en el Perú S.A.C, mediante escaneado de microscopio electrónico (SEM). Que se encuentra ubicada en la región de Lima, provincia de Lima, distrito de La

Molina; a 241 m.s.n.m. y entre las coordenadas 12°04' y 3" Latitud sur y 76°56' y 43" Longitud Oeste. Los promedios máximos de temperatura varían de 14.6°C a 28.7°C.

### **3.1.1. Ecología**

El CICAS "La Raya" pertenece a la zona agroecológica puna húmeda, por lo que las praderas naturales, tienen características peculiares. La composición florística y cobertura de pastos en época de lluvias es buena, observando especies anuales y perennes tales como: *Eleocharis albibracteata* (quemillo), *Trifolium amabile* (layo), *Festuca dolichophylla* (chilliqua), *Alchemilla pinnata* (sillusillu), *Calamagrostis vicunarum* (crespillo), *Stipa brachiphylla*, *Festuca ortophylla* (iruichu), *Muhlebergia fastigiata* (chiji), entre otras (Miranda, 1990).

### **3.2. Duración del trabajo**

El presente trabajo de investigación se realizó en dos etapas: la recolección de datos, muestreo y lavado de fibra de octubre a diciembre del 2014 y la lectura de las muestras (DF) y procesamiento de datos se hizo de enero a julio del 2015.

### **3.3. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.3.1. Materiales**

Se utilizaron los siguientes materiales:

- Soga.
- Cintas de diferentes colores.
- Etiquetas numeradas.

- Tijeras.
- Bolígrafos indelebles.
- Regla milimetrada de metal.
- Tablero de registro.
- Cinta adhesiva.
- Cámara fotográfica.
- Bolsas de papel porta muestras.
- Dispersador de muestra
- Guillotina.
- Fichas de registro.
- Computadora.
- Guantes descartables.
- Portaobjetos.
- Cinta adhesiva de carbono.
- Mesas.
- Cuaderno de apuntes.
- Memoria USB.

### **3.3.2. Material biológico**

Se tomaron muestras de 60 alpacas, entre machos y hembras, de la raza Huacaya de diferentes edades discriminando aquellos animales que presentaron características fenotípicas no pertenecientes a la raza, tampoco se tomaron en cuenta animales con enfermedades incurables.

### **3.3.3. Equipos**

- Analizador óptico del diámetro de fibra (OFDA 2000).

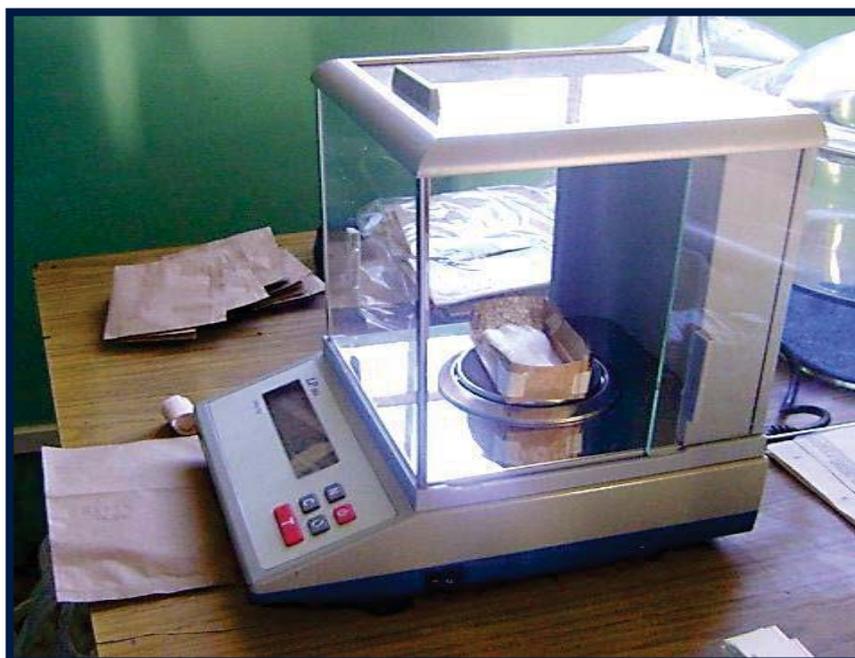
- Microscopio electrónico de escaneo (FEI Quanta 200).
- Fotomáquina de metalización (Alibaba – 652X650)
- Balanza analítica electrónica de precisión de 0.1 mg y rango de pesado de 0 a 162g (marca METTLER modelo AE- 160).
- Termómetro digital (modelo N° 6310, marca Long- Stem Thermometer, en °C de – 50 °C a 150 °C).



**Foto N° 5.** Equipo OFDA 2000



**Foto N° 6.** Microscópio electrónico de escaneo FEI Quanta 200.



**Foto N° 7.** Balanza analítica.

#### **3.3.4. Insumos**

- Detergente neutro industrial.
- Alcohol isopropilico de alta pureza.
- Agua potable.

### **3.4. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO**

La metodología a seguir en el presente estudio fue la siguiente:

#### **3.4.1. Revisión de registros e identificación de alpacas**

Se revisaron los registros de control de la población de alpacas Huacaya, para determinar el número de arete y la cabaña donde se encontraban, dichos registros se encuentran en el Laboratorio IVITA – Maranganí, perteneciente a la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Para el siguiente trabajo de

investigación los animales fueron agrupados en 12 grupos de 5 alpacas, relacionando 4 edades: ED1 (de 1 a 2 años); ED2 (de 2 a 3 años); ED3 (de 3 a 4 años) y ED4 (de 4 a más años) con 3 niveles de finura (fina= $\leq$  a 22  $\mu\text{m}$ , media fina 22.1 – 26  $\mu\text{m}$  y gruesa  $\geq$  26.1  $\mu\text{m}$ ), como se muestra en el cuadro 03.

**Cuadro N° 3.** Agrupación de alpacas de acuerdo a edad y finura de fibra.

	<b>EDAD 1 (1 a 2 años)</b>	<b>EDAD 2 (2 a 3 años)</b>	<b>EDAD 3 (3 a 4 años)</b>	<b>EDAD 4 (4 a más años)</b>
<b>FINA <math>\leq</math> a 22 <math>\mu\text{m}</math></b>	5 alpacas	5 alpacas	5 alpacas	5 alpacas
<b>MEDIA FINA 22.1 a 26 <math>\mu\text{m}</math></b>	5 alpacas	5 alpacas	5 alpacas	5 alpacas
<b>GRUESA <math>\geq</math> 26.1 <math>\mu\text{m}</math></b>	5 alpacas	5 alpacas	5 alpacas	5 Alpacas

### 3.4.2. Muestreo de la Fibra

Se sujetó al animal seleccionado, registrando su número de arete y fecha de nacimiento, la muestra fue tomada de la zona del costillar medio con ayuda de una tijera, dentro de un área de 2cm<sup>2</sup> con un peso aproximado de 2 a 2.50 g. (Foto 8), según la metodología descrita por Aylan-Parker y McGregor (2002), inmediatamente tomadas las muestra, éstas fueron puestas en una bolsa de papel debidamente codificada con una etiqueta en la cual se registró el número de arete del animal, sexo, edad y fecha de muestreo para su posterior procesamiento en el laboratorio.



Foto N° 8. Muestreo de la zona del costillar medio.



Foto N° 9. Muestreo del vellón de la zona del costillar medio.

### 3.4.3. Lavado de muestras de la fibra sucia

Primero se pesó y registró las muestras de fibra debidamente codificadas, obteniéndose el peso de la fibra sucia.



**Foto N°10.** Muestras de fibra de alpaca etiquetada con el número de arete y fecha de nacimiento.

Seguidamente fueron lavadas de la siguiente manera:

**Cuadro 4.** Cantidades de los componentes del lavado de las muestras de Fibra

COMPONENTE	TINA N° 1	TINA N° 2	TINA N° 3	TINA N° 4
1. Agua	20 Litros	20 Litros	20 Litros	20Litros
2. Detergente	125 gr.	75 gr.	50 gr.	
3. Bicarbonato de sodio	12,5 gr.			
Acción	Lavado	Lavado	Lavado	Enjuague

Fuente: García et al. (2006).

Previo al lavado de las muestras, en un recipiente de 20 litros de capacidad con ayuda de una cocina industrial se calentó agua a una temperatura de 60 °C; la temperatura del agua de lavado fue de 40 a 45 °C en cada tina, la temperatura fue controlada con ayuda de un termómetro digital.

Cada muestra fue lavada de 20 a 30 segundos, pasando por la Tina N°1, Tina N° 2 y Tina N° 3 para ser lavadas y por la Tina N° 4 para el enjuague, quedando así completamente limpias; luego fueron escurridas y colocadas sobre un pupitre, el cual ya tenía divisiones enumeradas para poder identificar cada muestra lavada.



**Foto N°11.** Lavado de las muestras de fibra de alpaca Huacaya.

Las muestras limpias secaron en el laboratorio a temperatura ambiente controlando la humedad relativa (entre 20 – 30% HR) con ayuda de un higrómetro, esto para evitar la variación del diámetro y volumen de la fibra.



**Foto N°12.** Secado de las muestras de fibra de alpaca a 30% de humedad en el laboratorio de fibras del IVITA Maranganí.



**Foto N°13.** Muestra de fibra de alpaca seca.

**3.4.4. Determinación del patrón general y márgenes de la forma de escamas cuticulares.**

Las muestras de fibra fueron llevadas y analizadas en las dependencias del MyAP- Microscopia Electrónica y Aplicaciones en el Perú S.A.C., a cargo de la Dra. Gladis Ocharán, mediante un equipo de microscopía electrónica de escaneado, modelo FEI Quanta 200.

Se analizaron un total de 60 muestras de fibra de alpaca de cuatro edades diferentes: **ED1** (1 a 2 años), **ED2** (2 a 3 años), **ED3** (3 a 4 años), **ED4** (4 a más años) y tres niveles de finura: **fin**  $\leq 22 \mu\text{m}$ , **media fina** 22.1 a 26  $\mu\text{m}$  y **gruesa**  $\geq 26.1 \mu\text{m}$ .

Las muestras de fibra se codificaron de acuerdo a la edad, finura y número de animal (figura N° 14).

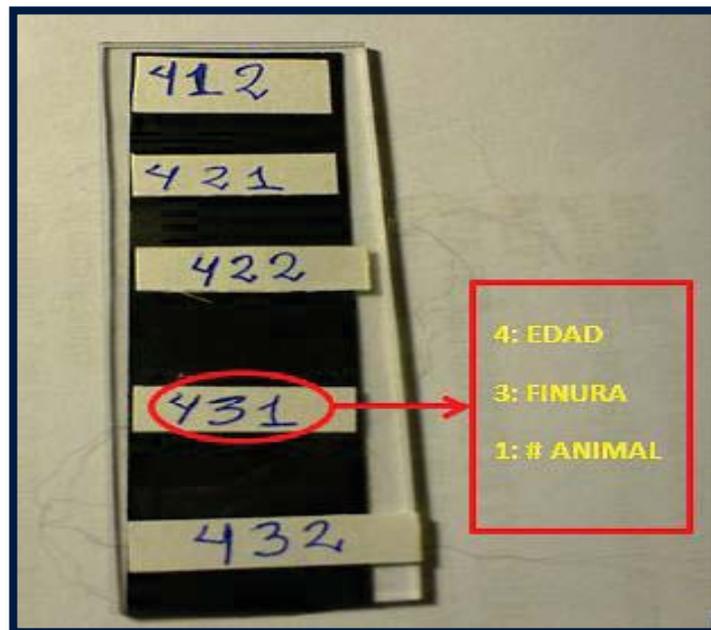
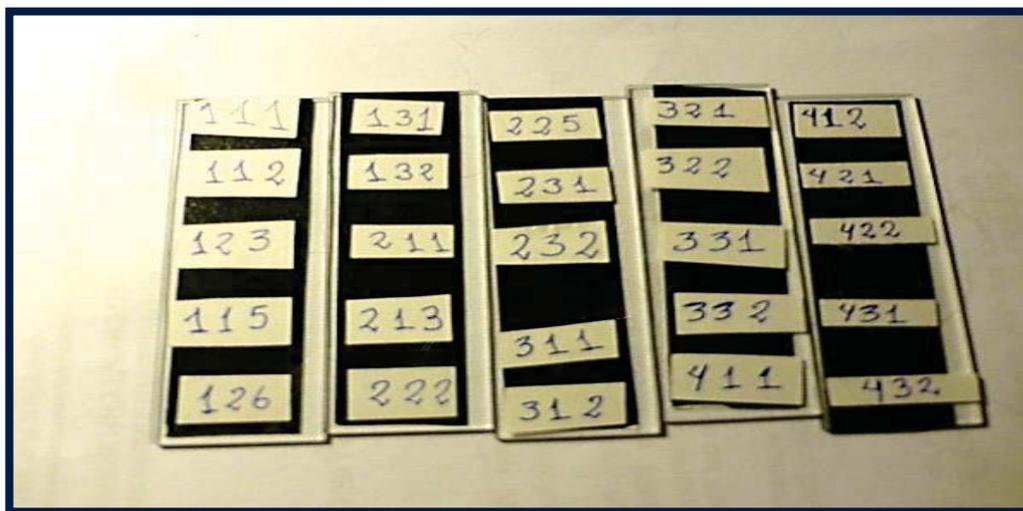


Foto N° 14. Codificación de las muestras de fibra.

El análisis de las muestras se hizo de la siguiente manera:

- a) De cada muestra se escogió una fibra que fue colocada en un porta objeto que estaba cubierto con cinta adhesiva de carbono, la fibra fue colocada de forma transversal de manera que en un solo porta objeto se colocó 5 muestras distintas (foto N°15)
- b) Sobre cada fibra se puso un cubre objeto, para fijar la muestra y facilitar la visibilidad de cutícula de la fibra, haciendo una fuerte fricción para dejar bien marcada la imagen, luego se procedió a cortar los excedentes de fibra de ambos extremos.
- c) Las muestras montadas fueron llevadas y procesadas con el FEI Quanta 200.
- d) Se trabajó a una temperatura ambiental de entre 15-30°C y una humedad relativa por debajo del 80%.



**Foto N° 15.** Técnica de montaje directo sobre cinta adhesiva de carbono en porta muestra.

**3.4.5. Determinación de la frecuencia promedio, área y perímetro celular, ángulo del borde y altura promedio, de las escamas cuticulares de la fibra de alpacas Huacaya.**

Para el estudio de la frecuencia promedio, área y perímetro celular, ángulo del borde y altura promedio, de las escamas cuticulares de la fibra de alpacas Huacaya, se siguió el mismo protocolo usado para la determinación del patrón general y forma de los márgenes de las escamas cuticulares de la fibra de alpaca Huacaya.

Se estimó a partir de las imágenes resultantes del análisis del equipo de microscopía óptica FEI Quanta 200 y seguidamente fueron procesadas con el software J- Image (Image – J. USA).



**Foto N° 16.** Lectura de las muestras evaluadas a temperatura ambiental (15-30°C, humedad relativa: por debajo de 80%.)



**Foto N° 17.** Ampliación del montaje de la muestra de fibras, tal como se puede observar en esta imagen, la fibra se encuentra en excelente estado, pudiéndose apreciar la estructura en cinta característico de la fibra.

#### **3.4.6. Determinación del diámetro de fibra**

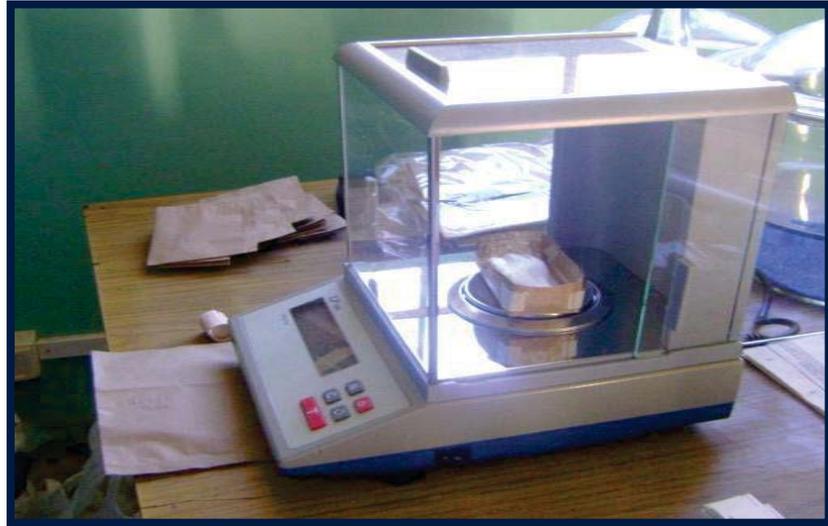
Para determinar el diámetro de fibra se utilizó el OFDA 2000 (Optical Fiber Diameter Analysis), este análisis se realizó en el “Laboratorio de fibras” de la Estación Experimental del Instituto Veterinario de Investigaciones Tropicales y de Altura (IVITA) sede Maranganí de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM); en la provincia de Canchis, departamento del Cusco. Para tal efecto se cumplió el siguiente protocolo:

- a) Se pesaron las muestras de fibra, limpias y secas, con ayuda de una balanza electrónica para obtener el peso final.

- b) Se preparó una mecha de muestra de fibra de cada alpaca con su respectiva identificación, esta mecha fue sostenida en los extremos previamente enrollados y se hizo un tajo en la parte media de la muestra con el dispositivo de corte (guillotina).
- c) Inmediatamente después del corte se hizo la distribución de la muestra con ayuda del dispensador, se dejó caer las fibras sobre una lámina cuadrada de 7 x 7 cm debidamente codificada con el N° de arete y fecha de nacimiento del animal.
- d) La muestra codificada se llevó al OFDA 2000 donde fue medida, obteniéndose así el diámetro de fibra (DF) de cada animal.



**Foto N° 18.** Muestra de fibra limpia del laboratorio de fibras del Centro de investigación IVITA.



**Foto N° 19.** Pesado de muestra limpia de fibra de alpaca en el laboratorio de fibras del IVITA sede Maranganí.



**Foto N° 20.** Lectura de las muestras de fibra en el laboratorio de fibras de la estación experimental IVITA Maranganí.

### **3.4.7. Determinación del Índice de Haussman**

El Índice de Haussman se obtuvo dividiendo la frecuencia promedio de escamas entre el diámetro medio de la fibra de acuerdo a la técnica descrita por Appleyard, (1978).

### 3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Una vez obtenido y sistematizado los datos se procedieron al análisis exploratorio de los mismos; donde se determinó la distribución normal de los datos observando la curtosis y la simetría, los datos de las variables en estudio mostraron una distribución normal (asimetría y curtosis de -2 a +2).

Previo al ANVA se realizó el análisis de homogeneidad de varianza de los grupos de datos con el test de Levene. Los grupos de datos mostraron homocedasticidad.

Las variables dependientes cualitativas como son el patrón general y la forma de los márgenes de la escama, se analizaron en tablas de contingencia, utilizando la prueba exacta de Fisher y/o Chi cuadrado. Las variables dependientes cuantitativas como son la frecuencia promedio de la escama, área celular de la escama, ángulo del borde de la escama, altura de la escama, perímetro celular e índice de Hausman, bajo el efecto de las variables independientes (edad y finura de fibra) fueron analizadas utilizando un DCA con arreglo factorial 4 X 3 (4 edades, 1 - 2 años, 2 - 3, 3 - 4 y 4 a más años de acuerdo a los registros del IVITA – Maranganí; y en 3 niveles de finura (fina  $\leq$  a 22  $\mu\text{m}$ , media fina 22.1 – 26  $\mu\text{m}$  y gruesa  $\geq$  26.1  $\mu\text{m}$ ). La comparación de medias se realizó con la prueba de mínimos cuadrados

El modelo aditivo lineal que describe el efecto de la variable independiente sobre la variable dependiente será:

$$Y_{ijk} = \mu + E_i + F_j + e_{ijk}$$

Dónde:

- $Y_{ijkl}$  = Variable de respuesta (Frecuencia promedio de escamas, Índice de Hausman, Área celular de la escama, Angulo del borde y Altura de la escama).
- $\mu$  = Media poblacional o constante común.
- $E_i$  = Efecto de i - ésima edad en 4 niveles
- $F_{ij}$  = Efecto del j - ésima finura en 3 niveles
- $e_{ijk}$  = Efecto del error distribuido uniforme y aleatoriamente.

Se consideraron diferencias estadísticas significativas a valores de  $p < 0.05$

Se obtuvieron los resultados con una probabilidad ( $p < 0.05$ )

El proceso, análisis e interpretación de los datos se realizó utilizando el paquete estadístico SAS<sup>®</sup> V9.0 (SAS, 2002).

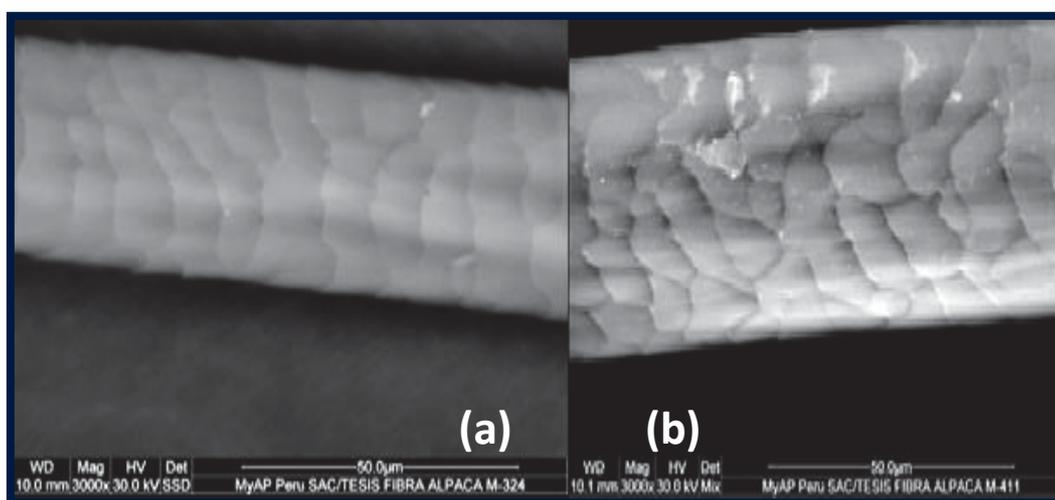
## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSION

#### 4.1. DETERMINACIÓN DEL PATRÓN GENERAL Y MÁRGENES DE LA FORMA DE LAS ESCAMAS CUTICULARES

##### 4.1.1. Patrón general de las formas de escamas cuticulares

Al observar las muestras obtenidas se encontraron dos patrones generales de la forma de las escamas cuticulares, mosaico regular e irregular las cuales se muestran en la foto N° 21.



**Foto N° 21.** Fibras de alpaca mostrando los patrones generales de las escamas cuticulares: del tipo mosaico regular **(a)** e irregular **(b)**.

##### 4.1.1.1. Patrón general de la forma de escamas cuticulares de fibra de alpacas influenciado por la ED1

Analizando los resultados obtenidos para el patrón general de la forma de las escamas cuticulares de la fibra de alpacas influenciado por la ED1 (1 a 2 años) se observó que, en fibras finas, dos mostraron la forma de mosaico regular y tres de mosaico irregular; en fibras media fina, tres mostraron la forma mosaico regular y dos mosaicos irregulares y para la

fibra gruesa solamente mostraron la forma de mosaico irregular. Aplicando la fórmula del Chi cuadrado nos da como resultado una probabilidad de  $P > 0.05$ ; el cual nos indica que existe diferencia significativa entre las diferentes finuras, influenciadas por la forma de las escamas influenciadas por la edad, tal como podemos observar en el cuadro N° 5.

**Cuadro N° 5.** Patrón general de la forma de las escamas cuticulares de la fibra de alpacas Huacaya influenciado por la edad 1 (1-2 años).

Patrón	Fino	Medio Fino	Grueso
Mosaico regular	2	3	0
Mosaico irregular	3	2	5

Probabilidad de  $X^2 = 0.03$ .

De acuerdo a estos resultados, el patrón mosaico regular se presentaría en esta edad evaluada e influenciada por las 3 calidades de fibra. Frank et al. (2009), indican que el patrón general de la forma de las escamas, reviste singular importancia, y su clasificación se basa en el aspecto de mosaico que tienen y en ese caso se clasifican como mosaico regular, irregular onda simple regular, onda regular interrumpida etc. Para el caso de la alpaca se ha hallado en la presente investigación, mosaico regular e irregular, lo que indicaría que, conforme se engruesa la fibra, se incrementa el patrón de mosaico irregular.

#### **4.1.1.2. Patrón general de la forma de escamas cuticulares de fibra de alpacas influenciado por la ED2**

De los resultados obtenidos, se desprende que la forma de las escamas cuticulares de fibra de alpacas Huacaya, influenciadas por la edad en alpacas de edad 2 (2 a 3 años), podemos apreciar la forma de las escamas de alpacas de dos años de edad, los cuales nos indica que para la fibra fina encontramos dos formas de mosaico regular, tres de mosaico irregular, seguidamente para la fibra media fina podemos observar tres de mosaico regular, dos de mosaico irregular y finalmente para la fibra gruesa encontramos dos de mosaico regular, tres de mosaico irregular. Desarrollando la fórmula del Chi cuadrado hallamos una probabilidad de  $P > 0.05$ ; el cual indica no hay diferencia significativa entre las diferentes finuras por la forma de las escamas influenciadas por la edad.

**Cuadro N° 6.** Patrón general de la forma de las escamas influenciado por la Edad 2 (2-3años).

Patrón	Fino	Medio Fino	Grueso
Mosaico regular	2	3	2
Mosaico irregular	3	2	3

Probabilidad de  $X^2 = 0.15$ .

Similarmente a lo encontrado a la edad 1, solamente se ha hallado el patrón relacionado a mosaico regular e irregular. Dicho patrón sigue un comportamiento casi constante entre las tres calidades evaluadas dentro de esta edad, ello explicaría el hecho de no hallar diferencia estadística.

#### 4.1.1.3. Patrón general de la forma de escamas cuticulares de fibra de alpacas influenciado por la ED3

De los resultados obtenidos, se desprende que del patrón general de las escamas cuticulares de fibra de alpacas Huacaya, influenciadas por la edad en alpacas de edad 2 (3 a 4 años), encontramos cinco de mosaico regular, para la fibra medianamente fina dos de mosaico regular y tres de mosaico irregular y para las fibras gruesas podemos observar tres de mosaico regular y dos de mosaico irregular de. Aplicando la fórmula del Chi cuadrado podemos observar una probabilidad de  $P > 0.05$ ; el cual nos da conocer que no hay diferencia significativa entre los tres niveles de finura.

**Cuadro N° 7.** Patrón general de la forma de las escamas influenciado por la Edad 3 (3 a 4 años).

Patrón	Fina	Media Fina	Gruesa
Mosaico regular	5	2	3
Mosaico irregular	0	3	2

Probabilidad de  $X^2 = 0.15$ .

De acuerdo a estos resultados, se aprecia que el patrón en la edad 3, seguiría un comportamiento similar al observado en la edad precedente, a excepción de la calidad catalogada como Fina. Sin embargo, la ausencia de diferencia estadística significativa indica que el patrón de la forma de la escama seguiría un comportamiento constante en la alpaca, así como podemos apreciar en el Cuadro 07.

#### 4.1.1.4. Patrón general de la forma de escamas cuticulares de fibra de alpacas influenciado por la ED4

De los resultados obtenidos, nos describe la forma de las escamas cuticulares de fibra de alpacas Huacaya, influenciadas por la edad en alpacas de edad 4 (4 a más años), para las fibras designadas como fina encontramos dos formas de mosaico regular y tres de mosaico irregular, para la fibra media fina tres de mosaico regular y dos de mosaico irregular finalmente para las fibras gruesas hallamos dos de mosaico regular y tres de mosaico irregular. Al realizar la prueba del Chi cuadrado nos da como resultado una probabilidad de  $P > 0.05$ ; dándonos a conocer que no existe diferencia significativa entre los tres niveles de finura influenciadas por la forma de las escamas cuticulares en alpacas.

**Cuadro N° 8.** Patrón general de la forma de las escamas influenciado por la Edad 4 (4- a mas años).

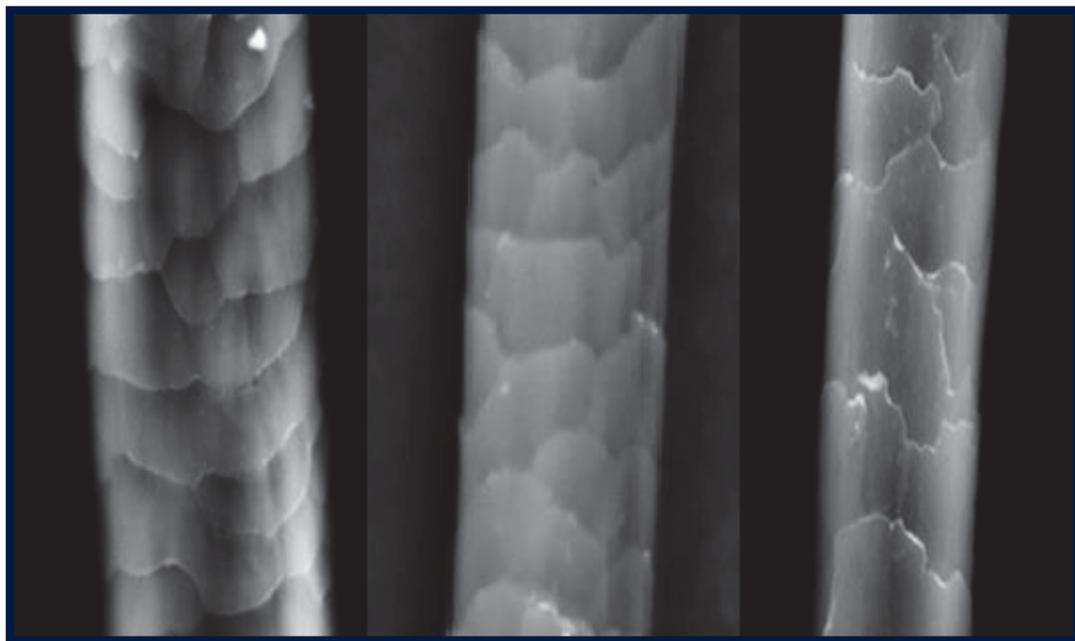
Patrón	Fina	Media Fina	Gruesa
Mosaico regular	2	3	2
Mosaico irregular	3	2	3

Probabilidad de  $X^2 = 0.15$ .

De igual manera a las edades anteriores, el patrón observado correspondió a mosaico regular e irregular. Dicho patrón sigue un comportamiento casi constante entre las tres calidades evaluadas dentro de esta edad, ello también explicaría el hecho de no encontrar alguna diferencia estadística significativa, como se observa en el Cuadro 8.

#### 4.1.2. Márgenes de la forma de las escamas cuticulares

Al observar las muestras obtenidas se encontraron tres formas del margen de las escamas cuticulares (lisa, serrucho regular y serrucho irregular) las cuales se muestran en la foto N° 22.



**Foto N° 22.** Formas del margen de la escama cuticular de fibra de alpaca: **(a)** forma lisa, **(b)** forma de serrucho regular y **(c)** forma de serrucho irregular.

##### 4.1.2.1. Márgenes de la forma de escamas cuticulares de alpaca Huacaya influenciados por la ED1

De los resultados obtenidos, se describe que la forma de los márgenes de las escamas cuticulares de la fibra de alpacas Huacaya, influenciadas por la edad en alpacas de 1 (1 a 2 años), y en 3 calidades de fibra, se registró cinco formas lisas en fibras finas, en el caso de la fibra media

fina se registró dos formas lisas, dos formas con serrucho regular y una con forma de serrucho irregular. Para el caso de fibra gruesa, se registraron dos formas lisas y tres formas de serrucho irregular. Luego de aplicar la prueba del Chi cuadrado, se halló una probabilidad un P valor de 0.004, lo que indica que existe dependencia entre el margen y las diferentes calidades de diámetro (fino, medio fino y grueso), influenciada por la forma de los márgenes de las escamas por efecto de la edad, tal como podemos observar en el Cuadro 9.

**Cuadro N° 9.** Márgenes de las escamas influenciado por la Edad 1 (1 a 2 años), de fibra de alpacas Huacaya.

<b>Forma</b>	<b>Fino</b>	<b>Medio Fino</b>	<b>Grueso</b>
<b>Liso</b>	5	2	2
<b>Serrucho regular</b>	0	2	0
<b>Serrucho Irregular</b>	0	1	3

Probabilidad de  $X^2 = 0.0040$ .

La investigación por autores precedentes es limitada, Frank *et al.* (2009), ha denominado los márgenes hallados en fibras de origen animal como liso, serrucho regular, serrucho irregular y ondeado, dicha denominación ha sido utilizada en este estudio, como hallazgo más resaltante se aprecia que conforme la fibra sea más fina el margen corresponderá a liso, luego, en el caso que la fibra se vaya engrosando los márgenes serán también lisos, serrucho regular y serrucho irregular.

Considerando la edad bajo estudio, Se aprecia que, en los animales de uno a dos años, catalogados como finos, el margen de la escama en

todos los animales corresponde a lisos, y conforme se incrementa el diámetro de la fibra, éstos van perdiendo este margen y se van convirtiendo a otras formas de márgenes en las escamas de la fibra (serrucho irregular y regular).

#### 4.1.2.2. Márgenes de la forma de escamas cuticulares de alpaca Huacaya influenciados por la ED2

De los resultados obtenidos, se muestra qué los márgenes de las escamas cuticulares de la fibra de alpaca Huacaya, influenciadas por la edad en alpacas de edad 2 (2 a 3 años), para el caso de las fibras finas, se registró tres formas lisas y dos de serrucho irregular; en el caso de la fibra media fina sólo se observaron cinco formas lisas. Para las fibras gruesas, se registraron cinco formas lisas. Luego de aplicar la prueba del Chi cuadrado, se encontró una probabilidad de  $P=0.009$ ; lo que indica que existe diferencia significativa entre las diferentes finuras, influenciada por la forma de los márgenes de las escamas por efecto de la edad, así como podemos observar en el Cuadro 10.

**Cuadro N° 10.** Márgenes de las escamas influenciado por la Edad 2 (2 a 3 años).

Forma	Fino	Medio Fino	Grueso
Liso	3	5	5
Serrucho regular	0	0	0
Serrucho Irregular	2	0	0

Probabilidad de  $X^2 = 0.009$ .

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, podemos mencionar que la edad 2 de las alpacas, regula la forma de los márgenes de las escamas de la fibra de estos animales, cuando se categoriza 3 calidades de fibra. Al respecto, Frank et al. (2009), agruparon los márgenes de las escamas cuticulares, como lisos, serrucho regular y serrucho irregular; en el presente estudio se ha determinado que en el caso de la calidad fina se puede encontrar la forma lisa y la forma serrucho irregular. Luego, cuando la fibra se considera medio fina y gruesa, ésta sólo se aprecia en la forma Lisa.

La información al respecto de esta variable es escasa, Harizi et al. (2014), hallaron para el caso de dromedarios en Túnez, que la forma de las escamas proporciona un aspecto ondulado para el caso de la fibra engrosada en estos animales, lo cual se diferencia claramente en comparación a la alpaca.

#### **4.1.2.3. Márgenes de la forma de escamas cuticulares de alpaca Huacaya influenciados por la ED3**

De los resultados obtenidos, nos presenta los márgenes de las escamas cuticulares de la fibra de alpaca Huacaya, influenciadas por la edad en alpacas de 3 (3 a 4 años), para las fibras catalogadas como finas se apreciaron dos de forma lisa, tres de serrucho irregular; para la fibra media fina podemos observar cinco de forma lisa y finalmente para el caso de la fibra gruesa solo se hallaron cinco de forma lisa. Aplicando la prueba del Chi cuadrado, encontramos una probabilidad de  $P > 0.05$ ; el cual indica que existe diferencia significativa entre las diferentes finuras,

influenciada por la forma de los márgenes en las escamas por efecto de la edad, tal como podemos observar en el Cuadro 11.

**Cuadro N° 11.** Márgenes de las escamas influenciado por la Edad 3 (3 a 4 años).

<b>Forma</b>	<b>Fino</b>	<b>Medio Fino</b>	<b>Grueso</b>
<b>Liso</b>	2	5	5
<b>Serrucho regular</b>	0	0	0
<b>Serrucho Irregular</b>	3	0	0

Probabilidad de  $X^2=0.02$ .

La forma de los márgenes de las escamas para la edad 3, estarían influenciados por las 3 calidades de fibra; asimismo, se aprecia el mismo comportamiento para el caso de la edad 2.

#### **4.1.2.4. Márgenes de la forma de escamas cuticulares de alpaca Huacaya influenciados por la ED4**

De los resultados obtenidos de los márgenes de las escamas cuticulares de la fibra de alpacas Huacaya, influenciadas por la edad en alpacas de 4 (4 a más años), para las fibras finas podemos apreciar cinco de forma lisa; en el caso de la fibra medio fino podemos observar solo cinco de forma lisa y para las fibras gruesas nos indica solo cinco de forma lisa. El cuadro precedente solo nos reporta formas lisas en todos los casos, por tanto, no se realizó ningún diseño estadístico tal como podemos apreciar en el Cuadro 12.

**Cuadro N°12.** Márgenes de las escamas influenciado por la Edad 4 (4 a más años).

Forma	Fino	Medio Fino	Grueso
Liso	5	5	5
Serrucho regular	0	0	0
Serrucho Irregular	0	0	0

**4.2. DETERMINACION DE LA FRECUENCIA PROMEDIO, ÁREA Y PERÍMETRO CELULAR, ÁNGULO DEL BORDE Y ALTURA PROMEDIO, DE LAS ESCAMAS CUTICULARES DE LA FIBRA DE ALPACAS HUACAYA.**

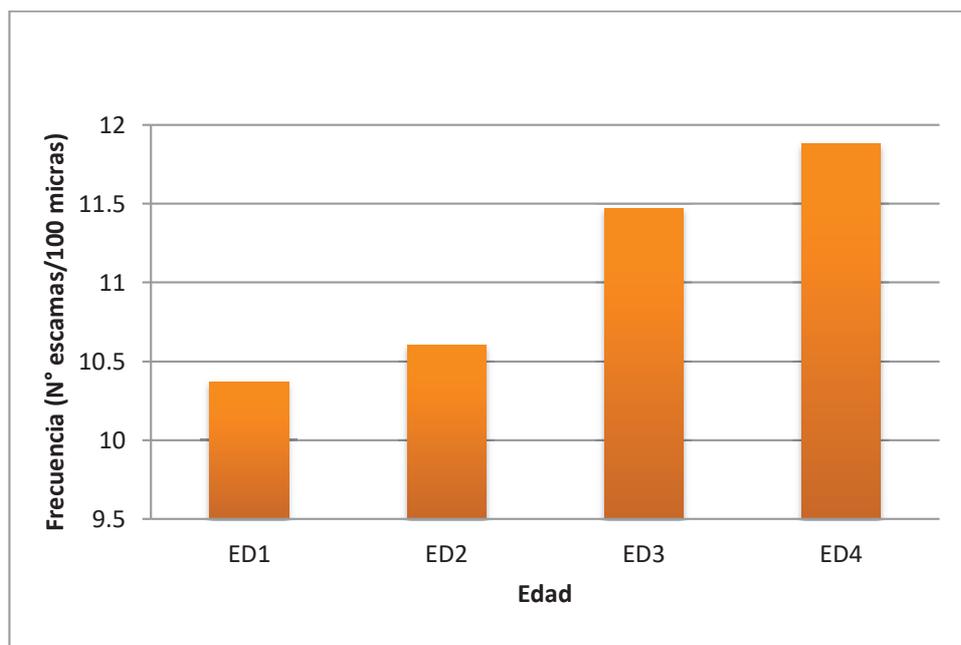
**4.2.1. Frecuencia promedio de las escamas cuticulares de la fibra de alpacas Huacaya**

El cuadro 13 y el gráfico N°01, representan promedios de los mínimos cuadrados para la frecuencia de la escama (número de escamas en 100 µm lineales) influenciados por las cuatro edades en alpacas huacaya.

**Cuadro N° 13.** Promedios de mínimos cuadrados de la frecuencia de la escama influenciada por la edad en alpacas.

Edad	Promedio	±DS
ED1	10.37 <sup>b</sup>	1.74
ED2	10.60 <sup>b</sup>	1.61
ED3	11.47 <sup>ab</sup>	1.42
ED4	11.88 <sup>a</sup>	1.76

Letras diferentes denotan diferencia estadística ( $P < 0.05$ ).



**Gráfico N° 1.** Frecuencia de escamas influenciada por la edad.

El cuadro N° 13 y el gráfico N° 1 muestran que no se encontraron diferencias significativas entre la ED1 y la ED2, del mismo modo la ED3 y la ED4 son estadísticamente similares entre sí y diferentes a las otras edades.

Valbonesi *et al.* (2010), reportó valores de 9.11 para la frecuencia de escama fibra de alpacas, resultados similares a los reportados en este estudio; sin embargo, este autor no ha referenciado la edad o calidad de la fibra estudiada. El mismo autor también ha reportado valores de 9.72 y 7.57 para llamas y alpacas suri, respectivamente.

Antonini *et al.* (1996) hallaron valores de 7.5 para la frecuencia de escamas de alpacas suri, estos valores son menores a los reportados en el presente trabajo, esto se debería a la finura de la fibra ya que a mayor finura de fibra menor número de escamas., valor que podría ser comparado con cabras cashmere.

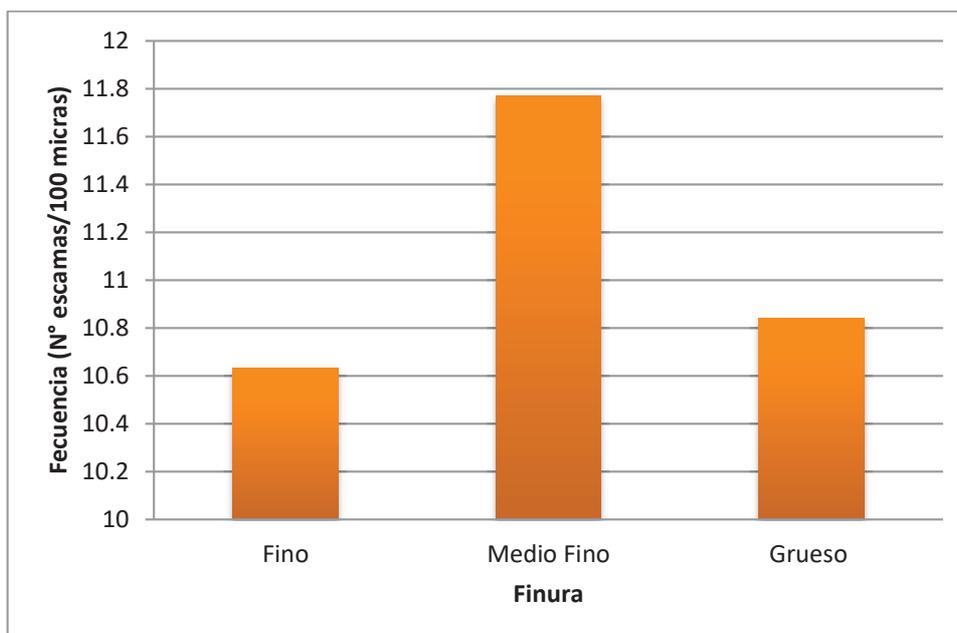
Tillman y Tillman (2006) indican que este indicador para lana varía en un rango entre 10 a 12 escamas dependiendo de la raza, para el caso de cabras cashmere se ha encontrado de 6 a 8 escamas y de 6 a 7 escamas para cabras cachemira. Los mismos autores indican que en un estudio ejecutado con alpacas Huacaya, este indicador estaría relacionado con el brillo de las fibras de estos animales, y que a menores valores de frecuencia (25 a 30%) podría incrementarse dicho brillo.

Vásquez et al. (2000), reportan haber hallado valores de 5.9 y 5.8 escamas para Guanacos y Vicuñas del nordeste argentino. Finalmente, Harizi et al. (2014), indican que la frecuencia de las escamas es un importante parámetro para la caracterización de las propiedades de las fibras animales, especialmente relacionado a la fricción y afieltramiento.

**Cuadro N° 14.** Promedios de mínimos cuadrados de la frecuencia de la escama influenciada por la finura de fibra en alpacas.

Finura	Promedio	±DS
Fino	10.63 <sup>b</sup>	1.63
Medio Fino	11.77 <sup>a</sup>	1.76
Grueso	10.84 <sup>ab</sup>	1.61

Letras diferentes como superíndice en filas denotan diferencia estadística (P<0.05).



**Gráfico N° 2.** Frecuencia de escamas influenciada por la finura.

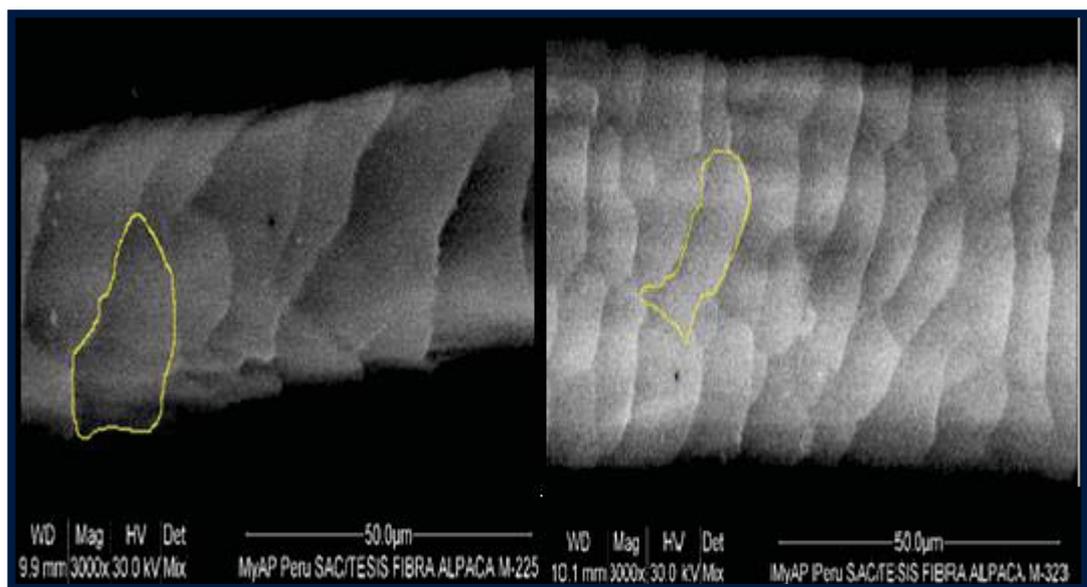
El cuadro 14 y el gráfico N° 02, representan el promedio de los mínimos cuadrados de la frecuencia de las escamas influenciadas por la finura en alpacas. Realizando el análisis estadístico (ANVA) podemos observar que la finura uno y tres son estadísticamente iguales en contraposición a la finura dos es estadísticamente diferentes a las otras finuras ( $P < 0.05$ ).

Otros investigadores han reportado diversas frecuencias para alpacas, Antonini *et al.* (1996) indican que en el caso de alpacas suri, pareciera que la frecuencia correspondería a 7 escamas en 100  $\mu$ . Tillman (2006), reportan un valor de 11 escamas para Huacaya, sin especificar la calidad o edad de los animales muestreados. El mismo autor menciona una frecuencia de 11.5 escamas para llamas Ccara en su primera capa y de 14 a 19 escamas para la capa secundaria, para el caso de camellos bebes se ha hallado una frecuencia de 6.87 escamas, para vicuñas

12.18 escamas, y para paco vicuñas 13.6 escamas y finalmente en dos muestras de ovinos merinos se encontró un valor de 8.6 escamas; del mismo modo, no se reporta la calidad ni edad de los animales muestreados.

Phan *et al.* (2000), encontraron que en la fibra fina y engrosada de cabras cashmere se mantiene la frecuencia de las escamas con 6 a 7 escamas. Otros estudios han demostrado que en cabras cashmere chinas la frecuencia de las escamas disminuye tanto como el diámetro se incrementa permaneciendo siempre en el mismo rango, de seis a siete escamas (McGregor, 2012). Para el caso de nuestro estudio, observamos un rango de diez a once escamas, y al igual que los hallazgos de Phan *et al.* (2000), la alpaca no modificaría su frecuencia escamas por efecto de la calidad de ésta.

#### 4.2.2. Área celular de las escamas cuticulares de la fibra de alpacas Huacaya

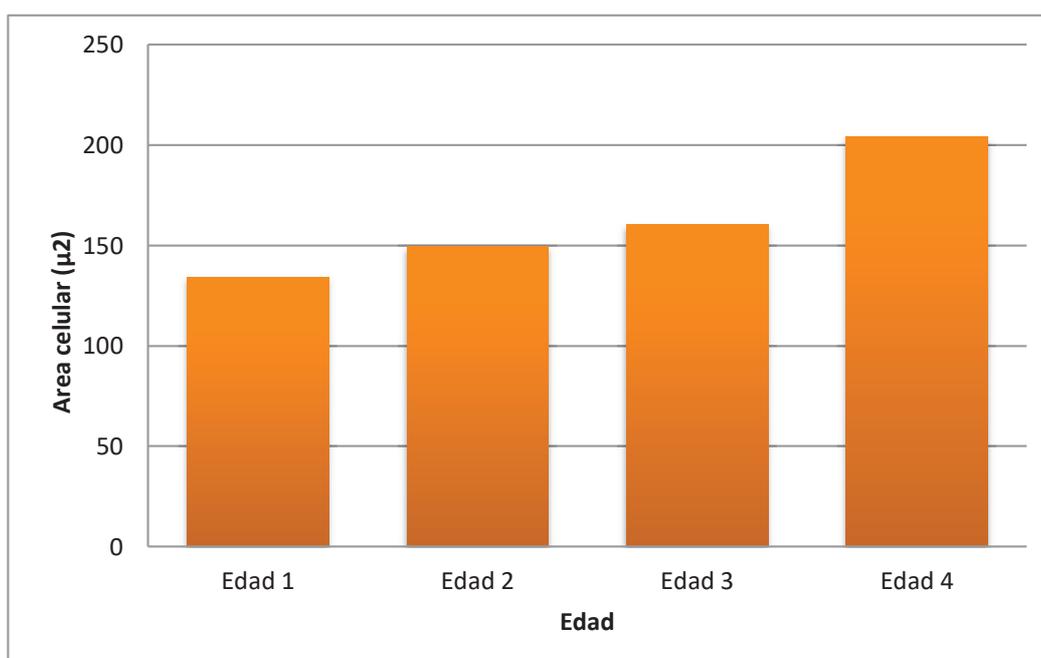


**Foto N° 23.** Área de la escama de fibra de alpaca, utilizando el microscopio electrónico de barrido Fei Quanta 200.

**Cuadro N°15.** Promedios de mínimos cuadrados del área de la escama influenciada por la edad en alpacas.

Edad	Promedio ( $\mu^2$ )	$\pm$ DS
Edad 1	134.47 <sup>b</sup>	50.92
Edad 2	149.32 <sup>b</sup>	26.22
Edad 3	160.52 <sup>b</sup>	32.46
Edad 4	204.12 <sup>a</sup>	40.78

Letras diferentes como superíndice en filas denotan diferencia estadística ( $P < 0.05$ ).



**Gráfico N° 3.** Área celular de las escamas influenciada por la edad.

El cuadro 15 y el gráfico N° 3, podemos apreciar el promedio de mínimos cuadrados del área de las escamas influenciados por las cuatro edades en la fibra de alpacas Huacayas. Luego de realizar el análisis estadístico (ANVA) se observó que las edades uno, dos y tres muestran similitud, a

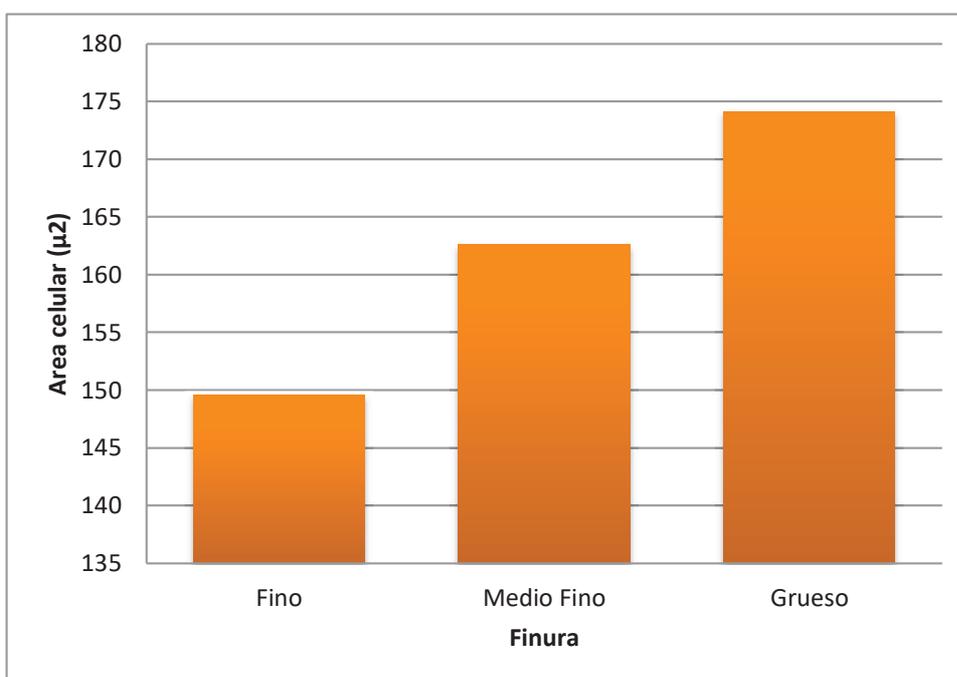
diferencia de la edad cuatro, las cuales si presentaron diferencia estadística significativa ( $P < 0.05$ ).

Respecto a los resultados observados en esta investigación, se aprecian diferencias significativas en la edad 4 con respecto a las edades 1, 2 y 3, es decir, las superficies de las células cuticulares están influenciadas en las edades especificadas en alpacas. Las informaciones respecto a esta variable son casi ausentes, y menos aún en consideración a la edad o calidad de fibras naturales. La investigación más cercana correspondería a un estudio realizado por Vásquez *et al.* (2000) quienes cuantificaron el ancho de las células cuticulares de pelos en diversas especies silvestres, entre ellas a vicuñas (*Vicugna vicugna*) y guanacos (*Lama guanicoe*), dichos autores indican valores de  $69,25 \pm 0,33$  y  $35,31 \pm 13,05$  micras para el diámetro de guanacos y vicuña, respectivamente, en estos animales se encontraron valores de  $10.2 \pm 0.0$  y  $8.42 \pm 0.27$  micras para el ancho de células cuticulares en estas especies, con lo cual podríamos generalizar que existiría una relación entre el diámetro y el área cuticular.

**Cuadro N°16.** Promedios de mínimos cuadrados del área celular de la escama influenciada por la finura de fibra en alpacas.

Finura	Promedio ( $\mu^2$ )	$\pm DS$
Fino	149.55 <sup>a</sup>	49.67
Medio Fino	162.62 <sup>a</sup>	48.88
Grueso	174.15 <sup>a</sup>	37.76

Letras diferentes como superíndice en filas denotan diferencia estadística ( $P < 0.05$ ).



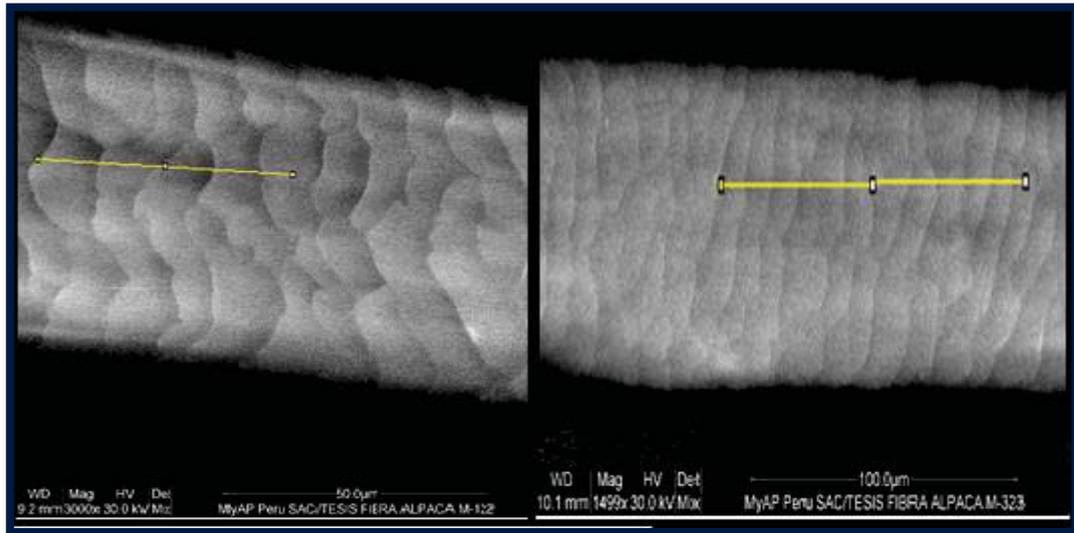
**Gráfico N° 4.** Área celular influenciada por la finura.

El cuadro N° 16 y el gráfico N° 4, se presenta el promedio de los mínimos cuadrados del área celular de las escamas influenciadas por los tres niveles de finura en la fibra de alpacas. Luego de realizado el análisis estadístico (ANVA) se observa que los tres niveles de finura (fina  $\leq$  a  $22 \mu$ , media fina  $22.1 - 26 \mu$  y gruesa  $\geq 26.1 \mu$ ), son estadísticamente similares, dado que no muestran diferencias estadísticas significativas ( $P > 0.05$ ).

Del mismo modo que en el caso anterior, la información al respecto es casi ausente, Quispe *et al.* (2013), Indican que existe una relación directa entre la resistencia a la compresión y la media del diámetro de la fibra, asimismo, la baja resistencia a la compresión, estaría relacionada a la altura de la células cuticulares, de acuerdo a nuestros resultados sólo se observaron diferencias numéricas entre las 3 calidades evaluadas, y

para el caso del área celular, no existiría diferencia en esta variable influenciada por la calidad en alpacas.

#### 4.2.3. Perímetro celular de las escamas cuticulares de la fibra de alpacas Huacaya

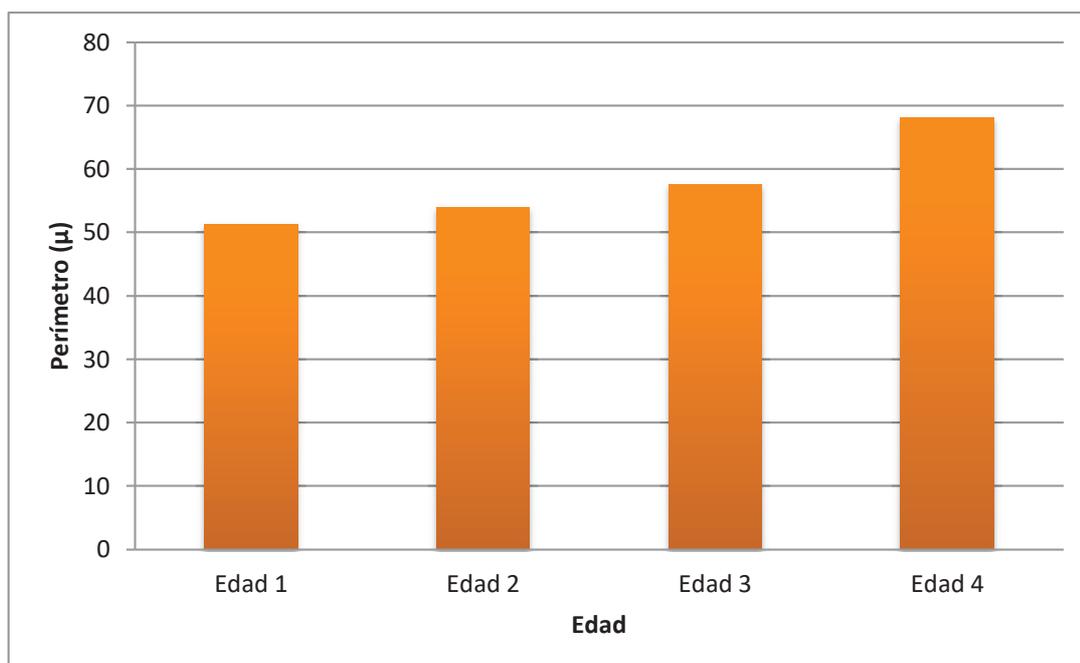


**Foto N° 24.** Perímetro de la escama de fibra de alpaca, utilizando el microscopio electrónico de barrido. Fei Quanta 200.

**Cuadro N° 17.** Promedios de mínimos cuadrados del perímetro de la escama influenciada por la edad en alpacas.

Edad	Promedio ( $\mu$ )	$\pm$ DS
Edad 1	51.31 <sup>b</sup>	13.42
Edad 2	53.96 <sup>b</sup>	6.10
Edad 3	57.58 <sup>b</sup>	6.54
Edad 4	68.15 <sup>a</sup>	9.28

Letras diferentes como superíndice en filas denotan diferencia estadística ( $P < 0.05$ ).



**Gráfico N° 5.** Perímetro de las escamas influenciado por la edad.

El cuadro N° 17 y el gráfico N° 5, podemos observar los promedios mínimos cuadrados del perímetro de las escamas obtenidas por las cuatro edades 1 (1-2 años), 2 (2-3años), 3 (3-4años) y de 4 (4-a más años), los cuales fueron sometidos al análisis de varianza (ANVA), y prueba de mínimos cuadrados, los cuales dieron como resultados que las edades uno, dos, y tres son iguales estadísticamente y la edad cuatro es diferentes a las anteriores ( $P < 0.05$ ).

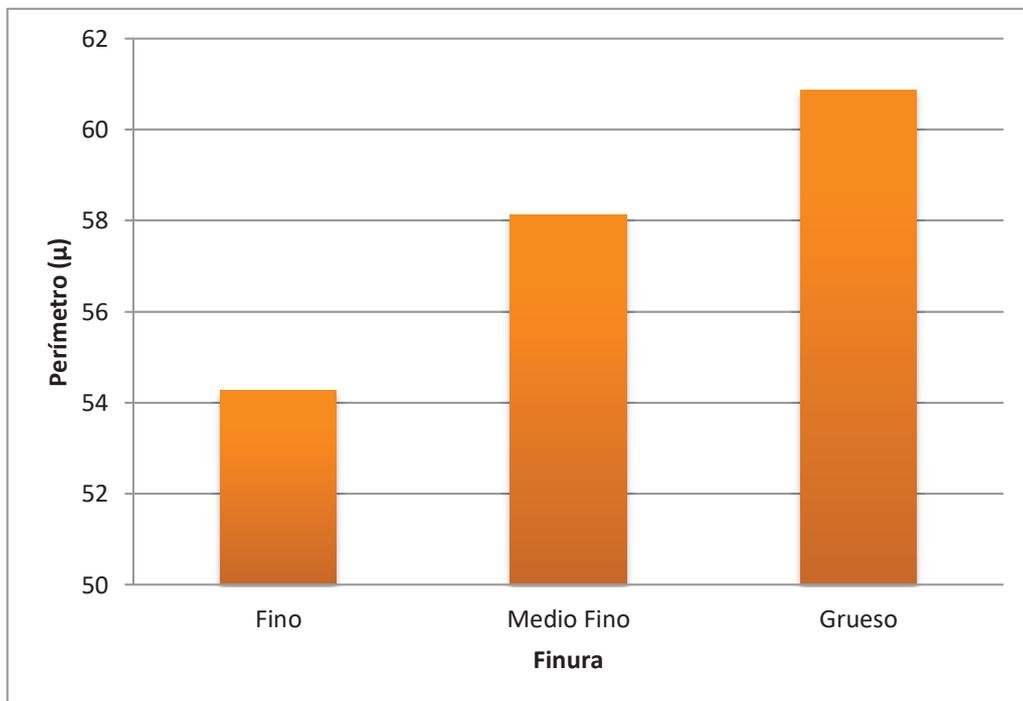
Al respecto, los estudios del perímetro de la escama influenciada por la edad, son casi inexistentes; sin embargo, podemos generalizar bajo las condiciones de este estudio, que la edad 3 (3 - 4años) modifica esta medida en comparación a los promedios de las otras edades consignadas. Jones (2001), indica que en ovinos Merino las medidas de la célula cuticular son variables y el perímetro en general mide 50 micras, un valor similar al encontrado en esta investigación. Sin embargo, el

autor no refiere su relación con la edad de los animales. Por lo tanto, podemos indicar que en el caso de alpacas Huacaya, esta medida está claramente influenciada por la edad, específicamente en animales de 3 a 4 años.

**Cuadro N°18.** Promedios de mínimos cuadrados del perímetro de la escama influenciada por la finura de fibra en alpacas.

Finura	Promedio ( $\mu$ )	$\pm$ DS
Fino	54.27 <sup>b</sup>	11.51
Medio Fino	58.13 <sup>ab</sup>	11.81
Grueso	60.85 <sup>a</sup>	9.46

Letras diferentes como superíndice en filas denotan diferencia estadística ( $P < 0.05$ ).



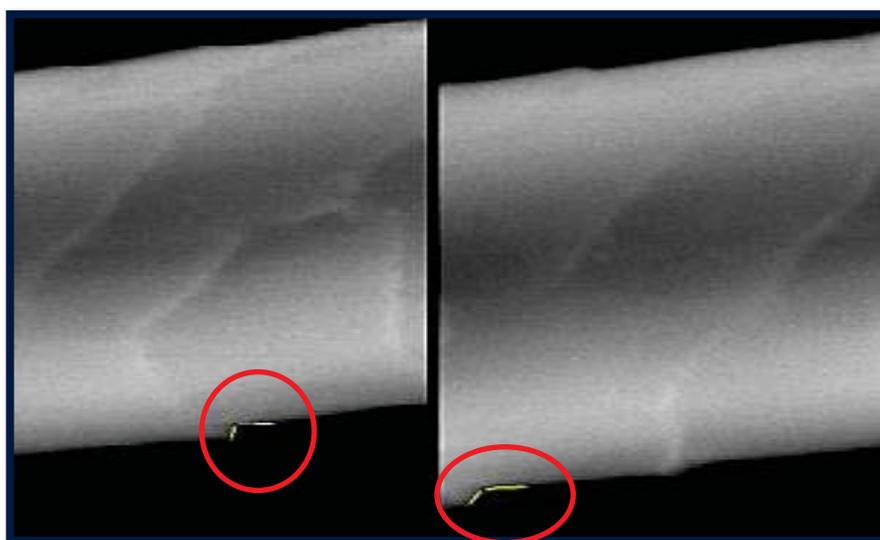
**Gráfico N° 6.** Perímetro de las escamas influenciado por la finura.

El cuadro N° 18 y el gráfico N° 6, muestra el promedio de mínimos cuadrados del perímetro de las escamas influenciado por la finura de la fibra de muestras de fibra de alpaca. Fueron sometidos al análisis de varianza (ANVA), el cual nos da a conocer que el perímetro no es influenciado por la edad a una  $P < 0.05$ .

La finura de la fibra no influenciaría el perímetro de la fibra, lo que se interpretaría que conforme la fibra se va engrosando, se mantendría constante el perímetro individual de las escamas de la cutícula de la fibra en alpacas Huacaya. El único trabajo de investigación que se refiere al perímetro de las escamas de la fibra de la alpaca es el referenciado por Jones (2001), quien indica que un valor promedio es de 50 micras en ovinos Merino, valor muy similar al reportado en esta investigación; sin embargo, nuevamente este autor no indica la calidad de la fibra de los animales considerados en su reporte.

#### **4.2.4. Ángulo del borde de las escamas cuticulares de la fibra de alpacas**

##### **Huacaya**

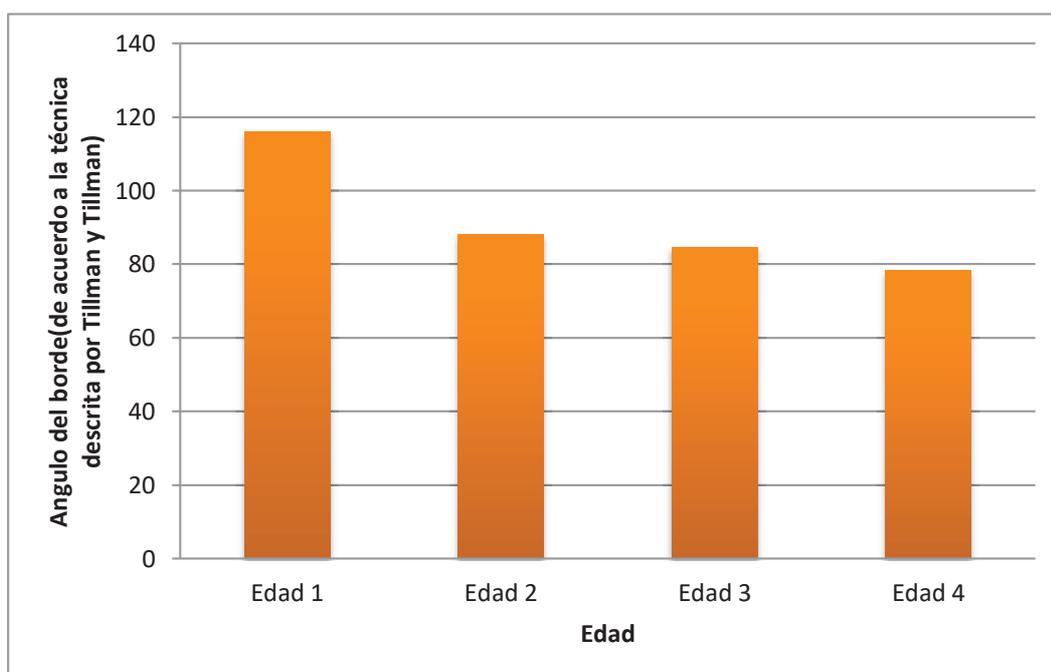


**Foto N° 25.** Ángulo del borde de la escama de la cutícula de fibra de alpaca utilizando el microscopio electrónico de barrido Fei Quanta 200.

**Cuadro N° 19.** Promedios de mínimos cuadrados del ángulo del borde de la escama influenciada por la edad en alpacas.

Edad	Promedio	±DS
Edad 1	115.83 <sup>a</sup>	17.96
Edad 2	87.99 <sup>b</sup>	18.17
Edad 3	84.63 <sup>b</sup>	16.95
Edad 4	78.35 <sup>b</sup>	16.70

Letras diferentes como superíndice en filas denotan diferencia estadística ( $P < 0.05$ ).



**Gráfico N° 7.** Ángulo de borde de la escama influenciada por la edad.

El cuadro N° 19 y el gráfico N° 7, encontramos los valores angulares del borde de la fibra en cuatro edades evaluadas, estos valores representan el promedio de los mínimos cuadrados del ángulo del borde de las escamas, obteniéndose como resultado del análisis estadístico (ANVA), donde podemos observar que no existe diferencias significativas entre

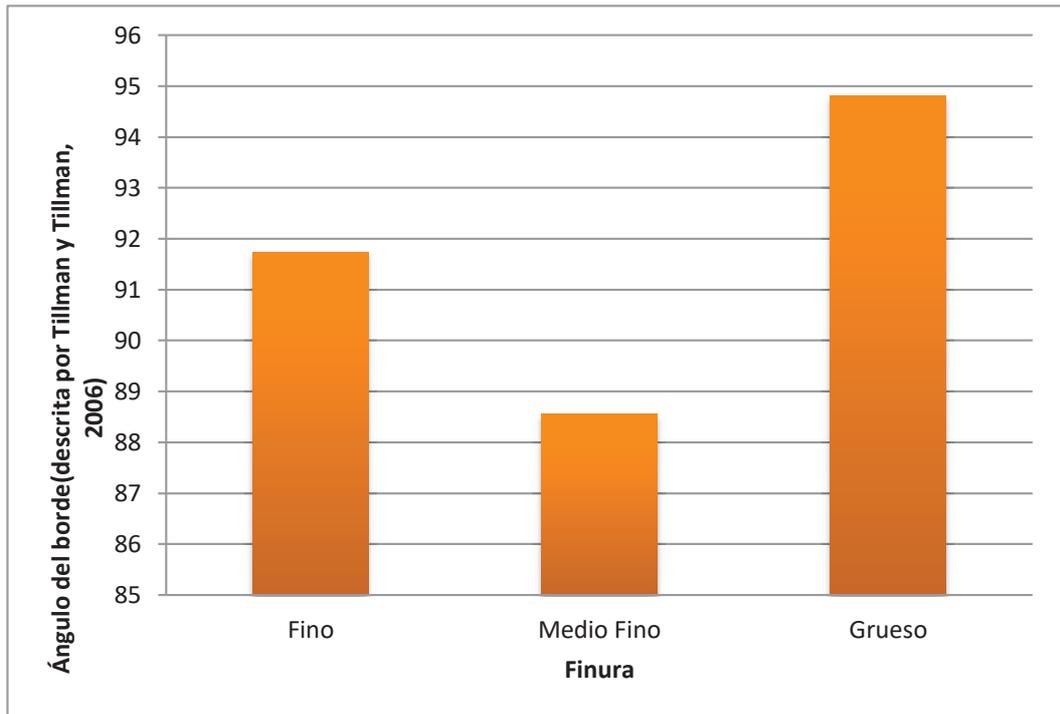
las edades dos, tres y cuatro, a diferencia de la edad uno la cual si presenta diferencia estadística significativa ( $P < 0.05$ ); asimismo, observamos que conforme se incrementa la edad, el valor del ángulo va disminuyendo.

En el caso de dromedarios, las escamas no tienden a sobresalir de la fibra y parecen casi convexas, y los márgenes por lo general formar al menos un ángulo agudo ( $45^\circ$ ) según lo reportan Harizi *et al.* (2014), lo cual es divergente a nuestros hallazgos para el caso de alpacas Huacaya, donde observamos que el ángulo varía desde  $73.52^\circ$  hasta  $116.81^\circ$ . Analizando otros estudios, Vassis *et al.* (2003), en una investigación sobre el ángulo de escamas cuticulares, en cabras cachemira, encontraron que existe una tendencia a que el ángulo podría incrementarse directamente con la calidad de fibra, y asumiendo que la fibra incrementa su diámetro conforme transcurre la edad de las alpacas, podría sugerirse que un comportamiento similar se observaría entre ambas especies.

**Cuadro N° 20.** Promedios de mínimos cuadrados del ángulo de borde de la escama influenciada por la finura de fibra en alpacas.

Finura	Promedio	$\pm DS$
Fino	91.73 <sup>a</sup>	15.31
Medio Fino	88.55 <sup>a</sup>	20.51
Grueso	94.81 <sup>a</sup>	29.43

Letras diferentes como superíndice en filas denotan diferencia estadística ( $P < 0.05$ ).



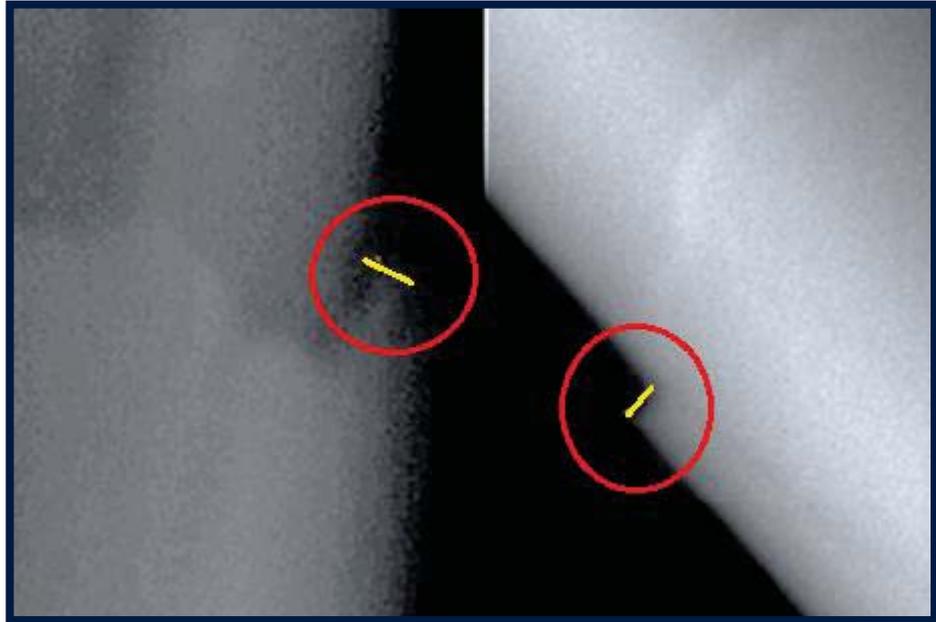
**Gráfico N° 8.** Ángulo del borde de escamas influenciado por la finura.

El cuadro N° 20 y el gráfico N° 8, presentan el promedio de mínimos cuadrados del ángulo del borde de las escamas influenciados por los tres niveles de finura en alpacas Huacaya. Estos datos fueron sometidos al análisis de varianza (ANVA) y a la prueba de mínimos cuadrados, indicando que los tres niveles de finura (fina  $\leq$  a 22  $\mu$ , media fina 22.1 – 26  $\mu$  y gruesa  $\geq$  26.1  $\mu$ ), no muestran diferencias estadísticas significativas ( $P > 0.05$ ). Sin embargo, se observa una tendencia la que podría ser descrita como una relación directa entre el engrosamiento de la fibra y el incremento del ángulo del borde de la escama sobre el eje principal de la fibra.

Respecto a otros estudios, Vassis *et al.* (2003), estudiando el ángulo de escamas cuticulares, en cabras cachemira, hallaron que existe una tendencia en la cual el ángulo que se inserta en el eje principal de la

fibra, se incrementa conforme se engruesa dicha fibra, la misma tendencia ha sido registrada en esta investigación.

#### 4.2.5. Altura de la escama de las escamas cuticulares de la fibra de alpacas Huacaya

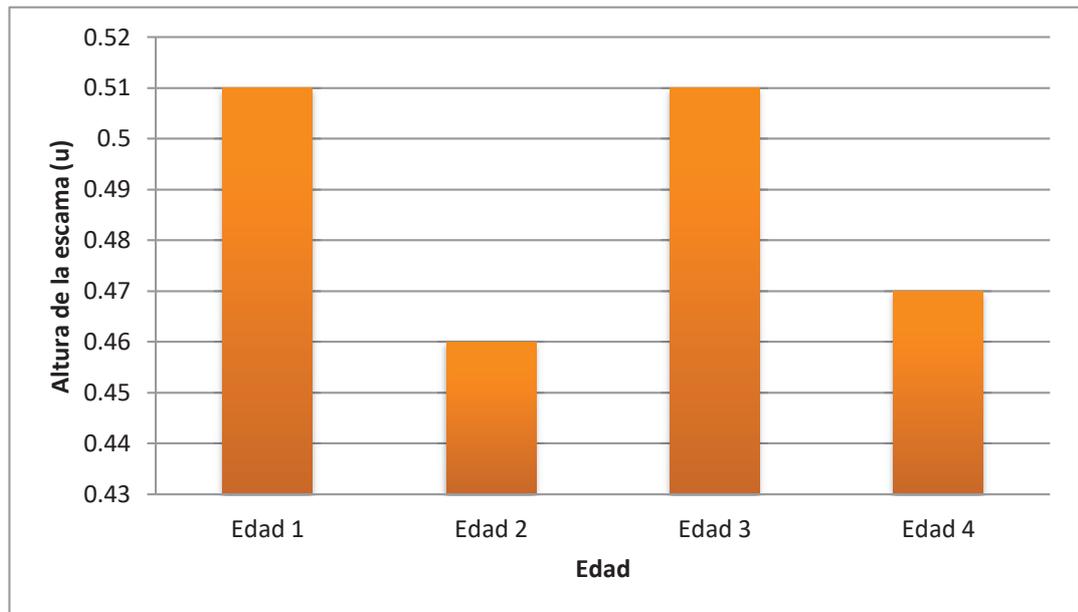


**Foto N° 26.** Altura cuticular de fibra de alpaca Huacaya utilizando el microscopio electrónico de barrido Fei Quanta 200.

**Cuadro 21.** Promedios de mínimos cuadrados de la altura de la escama influenciada por la edad en alpacas.

Edad	Promedio ( $\mu$ )	$\pm$ DS
Edad 1	0.51 <sup>a</sup>	0.10
Edad 2	0.46 <sup>a</sup>	0.06
Edad 3	0.51 <sup>a</sup>	0.05
Edad 4	0.47 <sup>a</sup>	0.06

.Letras diferentes como superíndice en filas denotan diferencia estadística ( $P < 0.05$ ).



**Gráfico N° 9.** Altura de la escama influenciada por la edad.

El cuadro N° 21 y gráfico N° 9, representan el promedio de mínimos cuadrados de la altura de la escama influenciada por la edad en alpacas. Luego del respectivo análisis estadístico, son estadísticamente similares, dado que no muestran diferencias estadísticas significativas a una probabilidad del 95% ( $P < 0.05$ ).

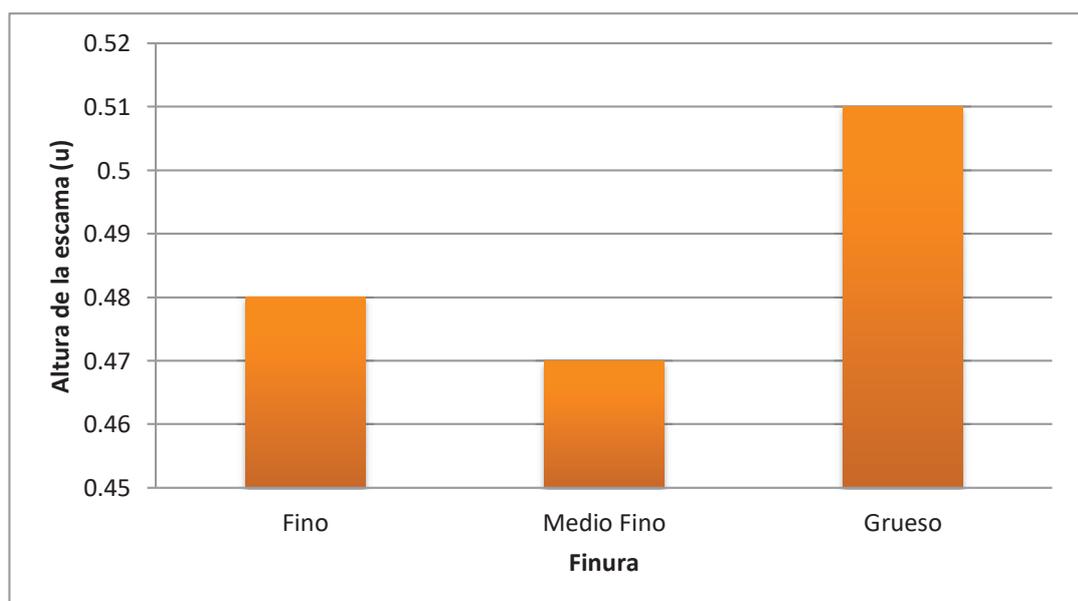
Esta variable ha sido relacionada con la propiedad fieltrante, así como suavidad y el brillo en fibras naturales, (a menor altura de escama, mayor suavidad y brillo; Harizi, *et al.*, 2014). De acuerdo a nuestros resultados, ellos indican que la altura de la escama en alpacas agrupadas por edad, difieren entre ellas. Respecto a la misma variable, Antonini *et al.* (2006), en un estudio comparativo de los atributos cuticulares de vellones de alpacas huacaya, suri y llamas, indican que la altura de la escama corresponde a 0.40, 0.52 y 0.47 $\mu$ , respectivamente, los mismo autores indican un efecto significativo del diámetro de la fibra entre especies sobre esta variable, asumiendo que existe una relación entre la edad y

el diámetro de la fibra, en los animales utilizados en el presente estudio, los resultados serían consistentes a los reportados por Antonini *et al.* (2006). Considerando otra especie, la altura promedio de la escama en fibra de dromedarios, ha sido registrada en 0.12 $\mu$  y 0.24 $\mu$  para fibra fina y gruesa, respectivamente (Harizi *et al.*, 2014), estos resultados indican que la altura de la escama se incrementa al aumentar el diámetro de la fibra, lo cual también es consistente a nuestros resultados.

**Cuadro N° 22.** Promedios de mínimos cuadrados de la altura de la escama influenciada por la finura de fibra en alpacas.

Finura	Promedio ( $\mu$ )	$\pm$ DS
Fino	0.48 <sup>a</sup>	0.09
Medio Fino	0.47 <sup>a</sup>	0.07
Grueso	0.51 <sup>a</sup>	0.05

Letras diferentes como superíndice en filas denotan diferencia estadística ( $P < 0.05$ ).



**Gráfico N° 10.** Altura de la escama influenciada por la finura.

Cuadro N° 22 y gráfico N° 10, se representan los promedios de mínimos cuadrados de la altura de la escama, en este caso influenciado por los 3 niveles de finura en alpacas, las cuales fueron observados en la fibra de dichos animales. Luego del respectivo análisis estadístico, no se detectaron diferencias estadísticas significativas a una probabilidad del 95% ( $P < 0.05$ ).

Respecto a esta variable, y en consideración a otra especie, en el caso de dromedarios, la altura promedio de la escama en estos animales, correspondió a  $0.12\mu$  y  $0.24\mu$  para fibra fina y gruesa, respectivamente (Harizi *et al.*, 2014), lo cual indica que la altura de la escama es mayor cuando se incrementa el diámetro de la fibra, resultados parcialmente consistentes a los hallazgos de nuestra investigación. Aparentemente en el caso de la presente investigación no se Según los estudios de Antonini *et al.* (2006), en una investigación comparativa de los atributos cuticulares de vellones de alpacas huacaya, suri y llamas, indican que la altura de la escama corresponde a  $0.40$ ,  $0.52$  y  $0.47\mu$ , respectivamente, los mismo autores indican un efecto significativo del diámetro de la fibra sobre esta variable, asumiendo que existe una relación entre la edad y el diámetro de la fibra, en los animales utilizados en el presente estudio, los resultados serían consistentes a los reportados por Antonini *et al.* (2006).

#### **4.3. DETERMINACION DEL INDICE DE HAUSMAN**

Para la determinación del índice de Hausman se observó el diámetro de fibra de las 60 muestras de fibra de alpaca, nuestros resultados los cuales indicaran el índice de Hausman para las fibras que es una forma

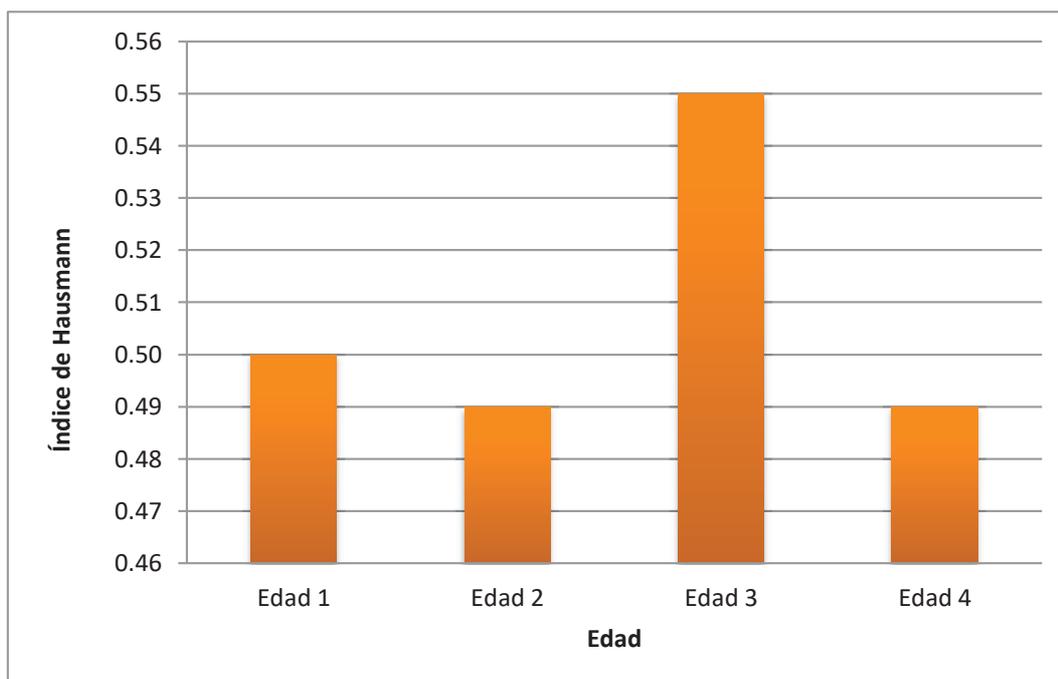
de evaluar la estructura de las escamas de una fibra, Se obtiene dividiendo la frecuencia promedio de escamas entre el diámetro medio de fibra (Appleyard, 1978). Este índice será mayor conforme las fibras sean más finas.

Conforme engruesa la fibra, la altura disminuye y el índice se hace menor, y a su vez el número de escamas por mm de fibra aumenta (Carpio y Santana, 1978).

**Cuadro N° 23.** Promedios de mínimos cuadrados del índice de Hausman de la escama influenciada por la edad en alpacas.

Edad	Promedio	±DS
Edad 1	0.50 <sup>a</sup>	0.15
Edad 2	0.49 <sup>a</sup>	0.11
Edad 3	0.55 <sup>a</sup>	0.09
Edad 4	0.49 <sup>a</sup>	0.07

Letras diferentes como superíndice en filas denotan diferencia estadística ( $P < 0.05$ ).



**Gráfico N° 11.** Índice de Hausman influenciado por la edad.

El cuadro N° 23 y el gráfico N° 11, nos muestra el promedio de mínimos cuadrados del índice de Hausman de las escamas influenciadas por las cuatro edades de las alpacas en estudio. Hallando el análisis estadístico (ANVA) nos indican que la edad uno, dos, tres y cuatro, son estadísticamente similares dado que no muestran diferencias estadísticas significativas. ( $P < 0.05$ ).

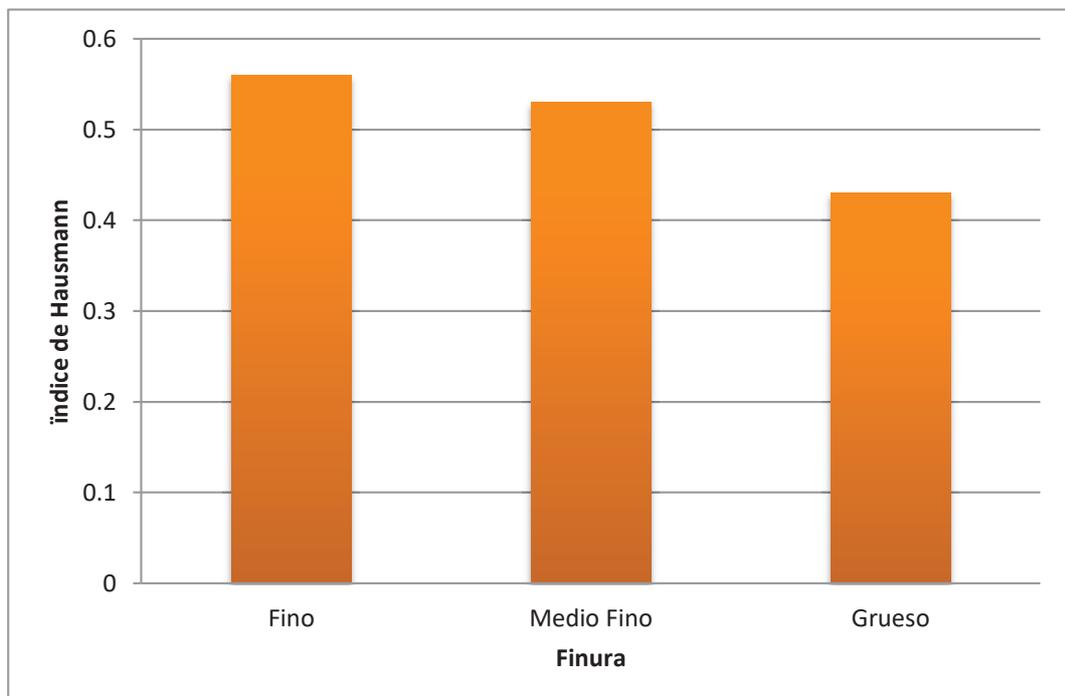
Carpio y Santana (1978), indican que para el caso de la vicuña se encontró un valor promedio de 1.30 con un rango de 1.56 – 1.04 para fibra fina y para fibra gruesa el promedio del índice fue de 0.212 con un rango de 0.211 a 0.214, estos autores indican que, si se comparan los resultados, con los hallados en lana, pelo y kemp, se observa que se cumple la relación del índice de Hausman, es decir que tiende a disminuir con el aumento del diámetro de las fibras. Así, para la lana el promedio es de 0.481 y 0.149, respectivamente.

Para el caso del presente estudio, se podría generalizar que el índice de Hausman sólo se modifica cuando las alpacas alcanzan la tercera y cuarta edad, correspondiente a 3.1 – 4 años y de 4.1 a más años, respectivamente, y el índice hallado sería semejante al encontrado en lana de ovinos (Carpio y Santana, 1978).

**Cuadro N° 24.** Promedios de mínimos cuadrados del índice de Hausman de la escama influenciada por la finura de fibra en alpacas.

Finura	Promedio	±DS
Fino	0.56 <sup>a</sup>	0.12
Medio Fino	0.53 <sup>a</sup>	0.07
Grueso	0.43 <sup>b</sup>	0.09

Letras diferentes como superíndice en filas denotan diferencia estadística ( $P < 0.05$ ).



**Gráfico N° 12.** Índice de Hausman influenciado por la finura.

El cuadro N° 24 y el Gráfico N° 12, fueron sometidos al análisis de varianza (ANVA) y a la prueba de mínimos cuadrados, y representan el promedio de los mínimos cuadrados del índice de Hausman de las escamas influenciadas por tres niveles de finuras (fina= $\leq$  a 22  $\mu$ , media fina 22.1 – 26  $\mu$  y gruesa  $\geq$  26.1  $\mu$ ). Luego de realizar el análisis estadístico. Podemos visualizar que la finura uno, dos muestran similitud, a diferencia de la finura tres la cual si presenta diferencia estadística significativa hacia los demás ( $P < 0.05$ ).

Con relación a este índice, Carpio y Santana (1978), indican que un estudio realizado en vicuñas, observaron que el valor del índice tiende a disminuir conforme se incrementa el diámetro de las fibras, observación similar al encontrado en esta investigación. Los mismos autores indican que para el caso de lana se encontró un valor de 0.481, valor similar a nuestros hallazgos.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES

1. Considerando el patrón general de la forma de la escama, en la edad 1 se encontraron diferencias significativas ( $P=0.03$ ), la edad 2 (2 - 3 años) no se detectaron diferencias ( $P=0.15$ ), los mismo se observó en la edad 3 (3-4 años) a una  $P= 0.15$ , al igual que en la edad 4 ( $P=0.15$ ).

Para el caso de la forma de los márgenes de las escamas en la edad 1 (1-2 años), existe dependencia (o diferencia estadística a una  $P=0.004$ ) entre el margen y las diferentes calidades de diámetro (fino, medio fino y grueso). Para la edad 2 (2-3 años), se encontró una probabilidad significativa de  $P=0.009$ ; lo que indica que existe diferencia significativa entre las diferentes finuras, influenciada por la forma de los márgenes de las escamas. En la edad 3 (3- 4 años), también se hallaron diferencias estadísticas ( $P=0.02$ ), bajo el mismo esquema. Finalmente, para la edad 4 (4 a más años) todos los casos fueron lisos en todas las categorías de finura.

2. Con relación a la frecuencia, se encontró que la edad 1 y 2 son estadísticamente similares, en contraposición a la edad 3 y 4 ( $P<0.05$ ). En cuanto a la finura, se detectaron que la finura uno y tres son estadísticamente iguales a diferencia de la finura dos ( $P>0.05$ ).

En cuanto al área de la escama influenciada por la edad, se observó que las edades uno, dos y tres muestran que similitud, a diferencia de la edad d cuatro, las cuales si presentaron diferencia estadística significativa

( $P < 0.05$ ) entre ellas. El área celular no fue influenciada por efecto de la finura ( $P > 0.05$ ).

Con relación al perímetro de la escama influenciada por la edad se observó que las edades uno, dos, y tres son iguales estadísticamente y la edad cuatro es diferentes a las anteriores ( $P < 0.05$ ). Asimismo, el perímetro no fue influenciado por la edad a una  $P < 0.05$ .

Considerando el ángulo del borde de la escama influenciada por la edad, no existe diferencias entre las edades dos, tres y cuatro, a diferencia de la edad uno la cual es diferente a los demás ( $P < 0.05$ ); asimismo, observamos que conforme se incrementa la edad, el valor del ángulo va disminuyendo, no se detectaron diferencias estadísticas ( $P > 0.05$ ) en el ángulo de las escamas por efecto de la finura de las alpacas.

En relación a la altura de la escama influenciada por la edad en alpacas, se detectaron que son estadísticamente similares, por efecto de la altura de la escama dado que no muestran diferencias significativas a una probabilidad del 95% ( $P < 0.05$ ).

3. El índice de Hausman influenciado por las 4 edades, fue significativo, la edad uno, dos, tres y cuatro no muestran diferencias estadísticas significativas. ( $P < 0.05$ ). para el mismo índice por efecto de la finura, la finura uno y dos muestran similitud a diferencia de la finura tres.

## CAPITULO VI

### RECOMENDACIONES

- Se recomienda la ejecución de trabajos de investigación utilizando los resultados de la media de diámetro de fibra, patrón general, márgenes de la forma de las escamas cuticulares, frecuencia promedio, área celular, perímetro, ángulo del borde, altura promedio de las escamas cuticulares y el índice de Haussman de la fibra de alpaca Huacaya., porque son resultados confiables y actuales en la región Cusco.
- Se recomienda a partir de esta línea de base para empezar un desarrollo de un programa de mejoramiento genético de la fibra de la alpaca y seguir con las investigaciones de este tipo la cual contribuirá en las futuras investigaciones que se puedan realizar respecto al tema de mejora genética y de igual manera al desarrollo de los productores alpaqueros de nuestra región.
- Se recomienda a las Universidades y otras instituciones realizar trabajos de investigación sobre la Caracterización Ultraestructural de la cutícula de la fibra de alpacas Huacaya, una de las características especiales de la suavidad frente a otras fibras y lanas es debido a las escamas cuticulares, sin embargo urge conocer con mayor profundidad la corteza, patrón, márgenes, frecuencia promedio, área celular, perímetro, ángulo del borde, altura promedio de la escama e Índice de Haussman de la fibra de alpaca, para mejorar con posibles aplicaciones tecnológicas textiles.

## CAPITULO VII

### BIBLIOGRAFIA.

1. Antonini, M.; Gonzales, M.; Cristofanelli, S. y F. Pierdominici (2006). Estructura cuticular de la fibra en tres tipos de camélidos domésticos peruanos IN: Camélidos sudamericanos domésticos – Investigaciones recientes. DESCO. Lima - Perú.
2. Appleyard, H. M (1978). Guide to identification of animal fibres. Leeds, U.K. Wool Industries Research Association. Ed 2.
3. Aylan Parker, J. y McGregor, B. A. (2002). Optimización de técnicas de muestreo y la estimación de varianza muestral de la lana en los atributos de calidad en alpacas. Small Rumin Res 44, 53-64.
4. Brims, MA, Ad Peterson y SG Gherardi (1999). Presentación de la OFDA2000 - Para la medición rápida de perfil diámetro de grapas lana sucia. IWTO, grupo de lana cruda informe RWG04, Florencia, Italia.
5. Bustinza, V. (2001). La alpaca, conocimiento del gran potencial andino. Edit. Univ. Nac. Del Altiplano, Puno, Perú. p113-126.
6. Carpio, M. (1981). La fibra de camélidos sudamericanos. Grafica Universidad Nacional Agraria la Molina-Perú.p359.
7. Carpio, M. y P. Santana. (1978). Estudio preliminar de la longitud y análisis cuticular en la fibra de vicuña. Informe de trabajo de investigación en vicuñas. Volumen I. Universidad Nacional Agraria La Molina. Programa de Ovinos y Camélidos Americanos. Lima – Perú.

8. FAO. (2005). Situación Actual de los Camélidos sudamericanos en el Perú. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Proyecto de Cooperación Técnica en apoyo a la crianza y aprovechamiento de los Camélidos sudamericanos en la Región Andina  
<http://www.fao.org/regional/Lamerica/prior/segalim/animal/paises/pdf/2914per.pdf>. (Accesado el 04 de setiembre 2010).
9. Flórez, A., Bryant, FC., Malpartida, E., Gamarra, J., y Arias, J. (1986). Comparación de los sistemas de pastoreo continuo y rotativo con ovinos en praderas nativas Altoandinas. Texas tech. Univ. Edit. And. Univ. Agrar. La Molina. Rep. Tec. N° 81.
10. Franco, F.E. (2006). Efecto alimenticio sobre el rendimiento y calidad de fibra en alpacas. Tesis de Magister en producción y Reproducción Animal. Lima. Editorial Universidad Nacional Mayor de San Marcos. pp71.
11. Frank, E; Hick, M; Prieto, A; Castillo, M. (2009). Metodología de la identificación cualitativa y cuantitativa de fibras textiles naturales. SUPPRA N°1. 2009.
12. Gonzáles, H., Carlos, L., Velarde, R., Rosadio, R., García, W., Gavidia, C. (2008). Evaluación de un método numérico de medición del diámetro de la fibra de alpaca. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, 19(1): 1- 8.
13. José Paul Monteza Basalduz (2016): Desarrollo de electrodos de filtros de grafito modificados con plata: Caracterización física y

electroquímica y su aplicación en la generación de peróxido de hidrogeno (Tesis Magister en Química). Universidad PUCP – Lima Perú

14. Harizi, T., Msahli, S., Sakli, F., Mekki, M., y T. Khorchani. (2014). Surface Morphology Investigation of Tunisian Dromedary Hair. *Journal of Agricultural Science and Technology A* 4. 454-459.
15. Hoffman, E., y Fowler, ME. (1995). *Fiber in: The complete alpaca book*. USA: Ed. Clay Press. pp 44-84
16. Hoffman E. (2003). *Fiber in: The Complete Alpaca Book*. Edition Clay Press. California - USA.
17. Holgado, V. (1987). *Lluvia y temperatura en los andes del sur del Perú*. Vol. Extraord. IVITA – La Raya. Cusco – Perú.
18. Huamani, R. y Gonzales, C. E. (2004). Efecto de la edad y el sexo en los parámetros físicos de la fibra de alpaca (lama pacos) huacaya en Huancavelica Tesis. Edt. UNH. Huancavelica, Perú. p 80.
19. Jones, L. (2001). *Hair Structure Anatomy and Comparative Anatomy*. Edit. Elsevier. New York – USA, pp. 95.
20. Kong, Kyong W., Echarri Juan M., Lorente, Carlos L. (2013): “Servicio de microscopia electronica de barrido y microanalysis del UMF – Facultad de Ingenieria – UNLP”. Segmentos formados de Investigation 2013 – Facultad de Ingenieria. Universidad nacional La Plata – Argentina. P (660)

21. Lira, M. (2000). Análisis científico de fibras arqueológicas. Universidad de Chile. 6, 49 – 57.
22. McColl, A. (2004). Methods for measuring microns. Alpacas Magazine. Herd Sire; 164 – 168.
23. McGregor, A. (2012). Properties, processing and performance of rare natural animal fibres: A review and interpretation of existing research results, RIRDC 11 (150)14.
24. Menares, V. (2010). Conservación y restauración de textiles arqueológicos: análisis y tratamientos realizados a tres piezas provenientes de la costa sur-central del Perú MNAAHP, Lima, Perú. Tesis posgrado. Universidad de Chile. Facultad de Artes.
25. Miranda, F. (1990). Estación Actual del Hábitad de la Alpaca y Llama. En Evaluación del Momento Base de las Zonas de Intervención Del Programa Ecológico y Desarrollo Sostenible del Sector de los Camélidos Andinos. CISA Juliaca – Puno.
26. Montes, M., Quicaño, I., Quispe, R., Quispe, E. & Alfonso, L. (2008). Características de fibra de alpaca huacaya producida en la region alto andina de Huancavelica, Perú. Actualidades sobre Adaptación, Producción, Reproducción y Mejora Genética en Camélidos. Universidad Nacional de Huancavelica, Perú.

Disponible en internet en:

<http://www.procasud.com>

27. Phan, K. H.; Wortmann, G.; Wortmann, F. J. (2000). Microscopic characteristics of shahtoosh and its differentiation from Cashmere/pashmina, in : Int. Wool Text. Org. Conference, Aachen, 2000.
28. Quispe, E. (2005). Mejoramiento genético de alpacas en la Región de Huancavelica. Proyecto de inversión pública a nivel de perfil. Universidad Nacional de Huancavelica. Perú.
29. Quispe, E., Alfonso, L., Flores, A. & Guillen, H. (2007). I Simposium Internacional de Biotecnología aplicada en camélidos sudamericanos. Grafica Huancayo – Perú. P180.
30. Quispe, P. E., Poma, G. A., y A. Purroy. (2013). Características productivas y textiles de la fibra de alpacas de raza huacaya. Revista Complutense de Ciencias Veterinarias 7(1):1-29
31. Tillman A. Y CH. Tillman. (2006). Surface scanning electron microscopy of suri alpaca fiber and other members of the camel family. Alpacas Magazine. Spring 2006:158 – 171.
32. 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); pp 361 – 374.
33. San Martín, H. & Franco, E. (2007). Efecto del nivel alimenticio sobre el rendimiento y calidad de fibra en alpacas. Edit. Sirivs Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima – Perú; pp 18.
34. Santiago, G. (2004). El ganado lanar en la Argentina – Rio Cuarto. Edit. U.N.R.C. pp246.

35. Schmid, S. (2006). The value chain of alpaca fiber in Perú, an economic analysis in fiber. Institut für Agrarwirtschaft, ETH Zürich. Pp123.
36. Sosa, C. (2006). Determinación de receptores para prolactina en células epiteliales de folículos pilosos primarios y secundarios de piel de alpaca (*Lama pacos*) mediante inmunohistoquímica. (Tesis). FMV-UNMSM- Lima, Perú.
37. Tillman, C. (2006). Surface scanning electron microscopy of Suri alpaca fiber and other members of the camel family, *Alpacas Magazine Spring* 158-171.
38. Valbonesi A, Cristofanelli S, Pierdominici F, Gonzales M and Antonini M (2010). Comparison of fiber and cuticular attributes of alpaca and llama fleeces. *Textile Research Journal* 80, 344–353.
39. Vassis, P., Butcher, P. y A. Lee. (2003). Reflection from natural fibres: Determination of the scale angle profile. *Journal of Materials Science*, 38: 4541 – 4549.
40. Vásquez, D., E. Pablo G. Perovic y A. de Olsen. (2000). Patrones cuticulares y medulares de pelos de mamíferos del noroeste argentino (*Carnivora y Artiodactyla*) *Journal of Neotropical Mammalogy*. Vol. 7, Núm. 2:131.147.
41. Velarde, R. (1993). Comercialización de productos derivados de los Camélidos Sudamericanos: Informe del Simposio sobre Camélidos Sudamericanos – Santiago de Chile, Grafica Gan. FAO/RLA – p 42.

42. Villarroel, J. (1991). Las fibras. En: Avances y perspectivas del conocimiento de los CSA Edi. Fernández Baca. FAO Santiago Chile 363 - 386.
43. Villarroel, J. (1963). "Estudio de la fibra de Alpacas". Anales Científicos. UNA La Molina. 1 (3): 247 – 173.
44. Von Bergen, W. (1976). Wool Handbook. Edit. Wakpreting co. New York, U.S.A. p 341.
45. Wang, X., L. Wang and X. Liu (2003). The quality and processing performance of Alpaca.
46. Wang y Liu. (2005). Internal structure and pigment granules in colored alpaca fibers, school of engineering and Technology, Deakin University. Australia.6, 1-20.
47. Wildman, A.B. (1955). The structure and identification of wool and other animal textile fibres. In: Proc. Of the Int. Wool Textile Res. Conf., Australia. Vol. F: 156-220.
48. Xungai W., Lijing W., L. Xin and W. Huimin. (2004). Softness of alpaca Fibres, In Growth with Diversity: Australian Alpaca Association, Mitcham, Vic., p. 71-75.

# ANEXOS

**ANEXO 1.** Matriz de parámetros físicos OFDA, variables evaluadas, datos de las alpacas Huacaya, del IVITA – Maranganí.

Código	Fecha nacimiento	Arete	Sexo	Edad	L.M	DAM	C.V	C.F	F.H	Índice De Confort (%)
111	29/01/2013	H031	M	TUI	14.5	16.97	26.45	98.96	17.37	42.6
112	14/03/2013	H076	H	TUI	12.5	17.24	23.38	99.12	17.14	36.4
113	19/03/2013	H078	H	TUI	11.4	18.37	16.17	99.79	17.21	31.9
114	19/03/2013	H078	H	TUI	11.4	18.37	16.17	99.79	17.21	31.9
115	02/04/2013	H082	M	TUI	15.4	20.39	23.01	96.56	20.2	37.2
121	31/01/2013	H032	M	TUI	14.5	19.03	22.96	97.91	18.84	37.5
122	10/01/2013	H009	M	TUI	16	21.91	23.52	93.66	21.81	31.5
123	16/02/2013	H055	M	TUI	14.5	19.12	22.99	98.61	18.94	41.2
124	02/02/2013	H035	H	TUI	12.9	22.04	18.94	97.63	21.09	34.8
125	16/02/2013	H055	M	TUI	14.5	19.12	22.99	98.61	18.94	41.2
131	31/01/2013	H033	M	TUI	13.5	25.28	22.45	86.92	24.92	24.9
132	07/02/2013	H045	H	TUI	11.6	30.14	33.49	63.46	33.17	23.8
133	10/01/2013	H010	H	TUI	13.2	25.67	23.14	84.08	25.47	26.5
134	10/01/2013	H026	M	TUI	12.4	24.73	26.86	82.33	25.41	22.4
135	17/01/2013	H016	M	TUI	9.5	24.93	21.51	87.53	24.38	31.2
211	05/01/2012	H023	H	ADULTA	9.2	19.34	27.88	95.39	20.08	38.4
212	09/01/2012	H028	H	ADULTA	10	17.37	23.22	99.1	17.24	44.5
213	01/02/2012	H062	H	ADULTA	12.5	18.5	23.66	98.67	18.44	44.7
214	07/01/2012	H025	H	ADULTA	7.5	16.77	22.33	99.54	16.51	37.7
215	06/04/2012	H105	H	ADULTA	11.2	17.9	24.34	98.21	17.95	49.4
221	25/01/2012	H052	H	ADULTA	12.6	22.99	27.9	90.87	23.87	28.6
222	06/02/2012	H072	H	ADULTA	12.5	24.28	26.34	85.67	24.82	35.5
223	11/01/2012	H030	M	ADULTO	9.5	22.7	20.58	92.84	22.02	36.5
224	01/01/2012	H003	M	ADULTO	11	20.52	21.75	97.36	20.1	35.1
225	16/02/2012	H086	H	ADULTA	11.2	22.56	23.49	94.03	22.45	35.2
231	24/01/2012	H049	M	ADULTO	11.6	22.7	25.09	91.29	22.93	34

232	19/02/2012	H091	M	ADULTO	14.5	27.18	30.93	81.33	29.12	25.4
233	06/02/2012	H073	M	ADULTO	11	26.51	24.35	78.13	26.59	26.4
234	06/01/2011	H037	M	ADULTO	16.5	25.57	29.23	82.72	26.91	27.9
235	02/01/2011	H023	M	ADULTO	10.2	28.98	17.66	66.79	27.45	26.9
311	16/02/2011	H091	M	ADULTO	11.7	20.8	16.96	99.17	19.6	44.2
312	01/01/2011	H003	H	ADULTA	7.5	17.12	21.06	99.19	16.67	45.9
313	06/02/2011	H078	H	ADULTA	9	17.42	22.48	98.77	17.18	47.6
314	01/01/2011	H010	H	ADULTA	14.9	19.26	20.98	98.29	18.75	43.4
315	13/01/2011	H013	H	ADULTA	12.7	19.05	20.28	98.59	18.43	40.2
321	03/02/2011	H074	H	ADULTA	10.2	22.5	32.06	88.3	24.39	33.4
322	01/01/2011	H005	H	ADULTA	13.2	20.35	23.25	96.76	20.21	48
323	02/01/2011	H022	H	ADULTA	9.9	19.7	31.07	94.39	21.14	42.6
324	18/01/2011	H052	H	ADULTA	10.5	21.25	25.31	93.85	21.51	39
325	02/01/2011	H016	H	ADULTA	10.5	22.48	18.96	96.24	21.51	29.1
331	19/02/2011	H099	H	ADULTA	9.8	23.02	24.84	91.23	23.2	34.6
332	02/03/2011	H110	H	ADULTA	8.7	21.72	21.63	95.08	21.25	32.7
333	22/02/2011	H105	H	ADULTA	11.2	18.07	23.37	98.94	17.96	45.4
334	18/02/2011	H007	H	ADULTA	9	26.52	24.05	76.76	26.53	28.8
335	10/02/2011	H081	H	ADULTA	10	26.06	23.51	82.51	25.94	32.1
411	10/03/2010	H058	H	ADULTA	10.5	23.49	27.77	87.25	24.36	33.2
412	08/05/2009	H081	H	ADULTA	15.5	18.97	22.27	98.28	18.67	42.7
413	05/01/2008	H013	H	ADULTA	10.5	23.05	24.33	91.95	23.12	33.6
414	05/01/2008	H007	H	ADULTA	8	20.64	24.33	94.87	20.7	38
415	20/01/2008	H045	H	ADULTA	15.2	23.18	26.22	92.61	23.67	38
421	01/05/2009	H077	H	ADULTA	10.4	22.64	20.6	93.8	21.96	31.3
422	01/01/2010	H001	H	ADULTA	14.5	22.01	21.78	94.78	21.57	37.5
423	08/01/2009	H012	M	ADULTO	14	25.91	20.44	82.66	25.1	26.6
424	31/01/2008	H071	H	ADULTA	9.5	25.1	22.96	83.46	24.86	29.1
425	12/01/2008	H022	H	ADULTA	8.4	24.44	18.69	91.62	23.33	32.7
431	12/01/2008	H021	H	ADULTA	10.2	25.54	19.49	85.61	24.54	31.7
432	24/02/2010	H050	M	ADULTO	11.2	27.16	22.97	77.02	26.9	29.5
433	02/02/2009	H054	M	ADULTO	12	29.58	19.52	61.83	28.43	26.5

434	24/02/2009	H048	H	ADULTA	9.4	26.49	17.84	81.58	25.13	27.9
435	24/02/2009	H048	H	ADULTA	9.4	26.49	17.84	81.58	25.13	27.9

## ANEXO 2. Matriz de las variables dependientes evaluadas

EDAD	FINURA	FRECUENCIA PROMEDIO	INDICE DE HAUSSMAN	AREA CELULAR	PERIMETRO CELULAR	ANGULO DEL BORDE	ALTURA DE LA ESCAMA
1	FINA	12	0.68	49.65	30.08	103.68	0.69
1	FINA	16	0.90	105.33	42.61	92.90	0.42
1	FINA	10	0.52	85.44	38.06	93.84	0.42
1	FINA	12	0.65	98.79	41.26	103.68	0.69
1	FINA	10	0.51	117.07	47.09	107.12	0.47
1	MEDIA FINA	9	0.45	109.68	45.43	108.40	0.53
1	MEDIA FINA	11	0.51	143.07	50.81	124.25	0.51
1	MEDIA FINA	9	0.38	113.59	46.31	110.23	0.41
1	MEDIA FINA	11	0.49	93.11	43.65	124.25	0.39
1	MEDIA FINA	10	0.52	160.37	57.92	89.06	0.39
1	GRUESA	9	0.36	130.42	48.74	140.59	0.50
1	GRUESA	10	0.33	168.46	57.01	129.1	0.59
1	GRUESA	9	0.36	224.98	73.39	140.59	0.52
1	GRUESA	10	0.40	223.40	76.56	129.1	0.53
1	GRUESA	9	0.37	193.66	70.71	140.59	0.55
2	FINA	12	0.63	152.16	59.06	102.73	0.52
2	FINA	10	0.58	109.90	46.23	70.96	0.46
2	FINA	8	0.43	178.16	56.00	117.44	0.49
2	FINA	12	0.73	193.31	60.49	102.73	0.44
2	FINA	10	0.56	174.26	55.27	70.96	0.33
2	MEDIA FINA	14	0.59	127.72	52.23	80.89	0.52

2	MEDIA FINA	14	0.56	162.75	57.95	80.89	0.42
2	MEDIA FINA	10	0.43	108.57	45.29	109.84	0.42
2	MEDIA FINA	10	0.51	148.23	52.43	121.80	0.39
2	MEDIA FINA	10	0.43	181.18	66.67	82.20	0.40
2	GRUESA	10	0.46	131.43	50.31	78.47	0.45
2	GRUESA	9	0.34	139.94	51.32	82.20	0.49
2	GRUESA	10	0.39	125.65	46.24	78.47	0.50
2	GRUESA	9	0.36	140.05	50.08	61.86	0.53
2	GRUESA	10	0.36	166.45	59.83	78.47	0.52
3	FINA	9	0.44	209.75	73.39	98.84	0.51
3	FINA	10	0.61	134.57	60.19	81.70	0.41
3	FINA	12	0.67	139.07	54.48	82.92	0.51
3	FINA	9	0.48	125.85	49.66	102.22	0.49
3	FINA	10	0.51	145.32	54.56	81.70	0.47
3	MEDIA FINA	12	0.52	217.60	65.59	81.58	0.48
3	MEDIA FINA	14	0.69	136.06	49.14	73.28	0.50
3	MEDIA FINA	13	0.65	130.84	51.37	86.60	0.58
3	MEDIA FINA	13	0.60	175.29	59.40	61.86	0.51
3	MEDIA FINA	13	0.57	172.60	58.68	61.86	0.57
3	GRUESA	10	0.45	215.32	61.95	82.95	0.46
3	GRUESA	12	0.57	192.96	62.46	114.53	0.56
3	GRUESA	12	0.64	134.40	53.26	61.86	0.52
3	GRUESA	10	0.39	135.15	53.37	82.952	0.55
3	GRUESA	12	0.48	143.00	56.12	114.53	0.55
4	FINA	10	0.43	205.18	66.29	61.86	0.46

4	FINA	9	0.47	118.42	47.05	81.58	0.47
4	FINA	12	0.50	203.07	65.20	114.53	0.42
4	FINA	10	0.49	217.60	68.19	81.58	0.55
4	FINA	10	0.41	228.13	70.14	81.58	0.39
4	MEDIA FINA	13	0.57	133.68	56.62	81.58	0.51
4	MEDIA FINA	12	0.56	190.51	63.20	79.36	0.39
4	MEDIA FINA	14	0.52	221.31	70.52	66.90	0.49
4	MEDIA FINA	13	0.51	266.70	82.84	79.36	0.52
4	MEDIA FINA	14	0.56	259.53	86.51	66.90	0.54
4	GRUESA	14	0.55	175.69	67.12	65.82	0.50
4	GRUESA	14	0.52	178.77	70.19	65.82	0.36
4	GRUESA	10	0.35	216.76	72.78	66.90	0.54
4	GRUESA	10	0.39	237.54	66.76	66.90	0.44
4	GRUESA	14	0.51	208.94	68.76	114.53	0.49

**Análisis estadístico de las variables dependientes de fibra de alpaca  
Huacaya evaluadas.**

**ANEXO 3: ANVA de la Frecuencia Promedio de la escama de fibra  
de alpaca.**

VARIABLE	G L	S C	C M	F c	Pr > F
Edad	3	22.79	7.60	3.02	0.04*
Finura	2	14.72	7.36	2.92	0.06 N.S
Error	54	136.02	2.51		
Total	59	173.54			

**C.V = 14.32415**

**R<sup>2</sup> = 0.216170**

**N.S: NO SIGNIFICATIVO**

**\* : SIGNIFICATIVO**

**\*\* : ALTAMENTE SIGNIFICATIVO**

**ANEXO 4: ANVA del Índice de Hausman de la escama.**

VARIABLE	G L	S C	C M	F c	Pr > F
Edad	3	0.04	0.01	1.44	0.24 NS
Finura	2	0.19	0.09	10.16	0.00**
Error	54	0.50	0.01		
Total	59	0.73			

**C.V = 19.50170**

**R<sup>2</sup> = 0.313311**

N.S: NO SIGNIFICATIVO

\* : SIGNIFICATIVO

\*\* : ALTAMENTE SIGNIFICATIVO

### ANEXO 5: ANVA del Área de la escama.

VARIABLE	G L	S C	C M	F c	Pr > F
Edad	3	40429.09	13476.36	9.22	<.0001 **
Finura	2	6058.01	3029.01	2.07	0.14 NS
Error	54	78933.84	1461.74		
Total	59	125420.95			

**C.V = 23.58491**

**R<sup>2</sup> = 0.370646**

N.S: NO SIGNIFICATIVO

\* : SIGNIFICATIVO

\*\* : ALTAMENTE SIGNIFICATIVO

### ANEXO 6: ANVA del perímetro de la escama de fibra de alpaca.

VARIABLE	G L	S C	C M	F c	Pr > F
Edad	3	2459.02	819.67	10.03	<.0001**
Finura	2	437.71	218.86	2.68	0.08 NS
Error	54	4411.83	81.70		
Total	59	7308.56			

**C.V = 15.65247**

**R<sup>2</sup> = 0.396348**

**N.S: NO SIGNIFICATIVO**

**\* : SIGNIFICATIVO**

**\*\* : ALTAMENTE SIGNIFICATIVO**

**ANEXO 7: ANVA del ángulo del borde de la escama de fibra de alpaca.**

VARIABLE	G L	S C	C M	F c	Pr > F
Edad	3	12361.93	4120.64	13.45	<.0001 **
Finura	2	391.53	195.76	0.64	0.53 NS
Error	54	16544.83	306.39		
Total	59	29298.29			

**C.V = 19.08865**

**R<sup>2</sup> = 0.435297**

**N.S: NO SIGNIFICATIVO**

**\* : SIGNIFICATIVO**

**\*\* : ALTAMENTE SIGNIFICATIVO**

**ANEXO 8: ANVA de la altura de la escama de la escama evaluada en la fibra de alpaca Huacaya.**

VARIABLE	G L	S C	C M	F c	Pr > F
Edad	3	0.03	0.01	2.26	0.09 NS
Finura	2	0.01	0.01	1.42	0.25 NS

Error	54	0.25	0.00		
Total	59	0.29			

**C.V = 13.84668**

**R<sup>2</sup> = 0.150987**

**N.S: NO SIGNIFICATIVO**

**\* : SIGNIFICATIVO**

**\*\* : ALTAMENTE SIGNIFICATIVO**

### **ANEXO 9: Promedio de Mínimos Cuadrados**

<b>Variables</b>	<b>N°</b>	<b>Frecuencia promedio</b>	<b>Índice Hausman</b>	<b>Área</b>	<b>Perímetro</b>	<b>Angulo del borde</b>	<b>Altura de la escama</b>
Edad							
	1	10.37	0.50	134.47	51.31	115.83	0.51
	2	10.60	0.49	119.32	53.96	87.99	0.46
	3	11.47	0.55	160.51	57.57	84.63	0.51
	4	11.88	0.49	204.12	68.14	78.35	0.47
Finura							
	1	10.63	0.56	149.55	54.27	91.73	0.48
	2	11.77	0.53	162.62	58.13	88.55	0.47
	3	10.84	0.43	174.15	60.85	94.81	0.50

Fuente: Elaboración propia