

PROYECTO MEJORA DE LAS ECONOMÍAS  
REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL

—

FIBRAS PROTEICAS:  
**PELOS FINOS  
(CAMÉLIDOS Y CABRA).  
IDENTIFICACIÓN,  
CARACTERIZACIÓN,  
CLASIFICACIÓN Y  
ACONDICIONAMIENTO**

CUADERNO TECNOLÓGICO N° 14

Autora:

**Ing. Marina Zoccola**

National Research Council, Institute for  
Macromolecular Studies, Biella - Italy

Experta provista en el marco del contrato  
con Eptisa de España

Noviembre de 2014



Unión Europea



PROYECTO MEJORA DE LAS ECONOMÍAS  
REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL



Unión Europea

Delegación de la Comisión Europea en Argentina  
Ayacucho 1537  
Ciudad de Buenos Aires  
Teléfono (54-11) 4805-3759  
Fax (54-11) 4801-1594



INTI



Instituto Nacional de Tecnología Industrial  
Gerencia de Cooperación Económica e Institucional  
Avenida General Paz 5445 - Edificio 2 oficina 212  
Teléfono (54 11) 4724 6253 | 6490  
Fax (54 11) 4752 5919

[www.ue-inti.gob.ar](http://www.ue-inti.gob.ar)

CONTACTO

Información y Visibilidad: Lic. Gabriela Sánchez  
gabriela@inti.gob.ar

PROYECTO MEJORA DE LAS ECONOMÍAS  
REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL

FIBRAS PROTEICAS:  
**PELOS FINOS  
(CAMÉLIDOS Y CABRA).  
IDENTIFICACIÓN,  
CARACTERIZACIÓN,  
CLASIFICACIÓN Y  
ACONDICIONAMIENTO**

CUADERNO TECNOLÓGICO N° 14

Autora:

**Ing. Marina Zoccola**

National Research Council, Institute for  
Macromolecular Studies, Biella - Italy

Experta provista en el marco del contrato  
con Eptisa de España

Noviembre de 2014



INTI



Unión Europea

## INDICE

<b>PRESENTACIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>5</b>
1.1. Lana y pelos finos: estructura morfológica y química.....	5
1.2. Pelos finos.....	6
<b>2. IDENTIFICACIÓN DE LAS FIBRAS ANIMALES ESPECIALES</b> .....	<b>7</b>
2.1. Microscopia óptica .....	7
2.2. Microscopia electrónica de barrido (SEM).....	9
2.3. Características microscópicas de las fibras camélidas .....	9
2.3.1. La alpaca.....	10
2.3.2. La llama .....	10
2.3.3. La vicuña.....	11
2.3.4. El guanaco .....	11
2.4. Nuevos métodos en identificación de pelos finos.....	13
2.4.1. Análisis del ADN.....	13
2.4.2. Calorimetría diferencial de barrido .....	14
2.4.3. Espectroscopia del infrarrojo cercano .....	18
2.4.4. Cromatografía líquida acoplada a la espectrofotometría de masas.....	20
<b>3. PARÁMETROS QUÍMICOS Y FÍSICOS QUE CARACTERIZAN LAS FIBRAS DE CAMÉLIDOS</b> .....	<b>21</b>
3.1. Finura .....	21
3.1.1. Métodos para la determinación de la finura.....	21
3.2. Determinación de la longitud.....	22
3.3. Determinación del color.....	23
<b>4. PRODUCCIÓN DE FIBRAS DE CAMÉLIDOS</b> .....	<b>24</b>
<b>5. NUEVOS MÉTODOS DE PROCESAMIENTO DE LAS FIBRAS PROTEICAS</b> .....	<b>27</b>
5.1. Tratamientos con plasma .....	27
5.2. Tratamiento con enzimas .....	30
5.2.1. Uso de proteasas para conferir a la lana características anti-fieltrantes.....	30
5.2.2. Mejora de la despigmentación de las fibras animales lujosas con enzimas ....	31
5.2.3. Teñido de fibras animales asistido por enzimas.....	33
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	<b>34</b>
<b>7. REFERENCIAS</b> .....	<b>35</b>
<b>8. FIGURAS</b> .....	<b>37</b>
<b>9. TABLAS</b> .....	<b>38</b>

## 1. PRESENTACIÓN

La Unión Europea y el INTI firmaron un convenio de financiación destinado a mejorar la competitividad de las miPyMEs del norte argentino acercando respuestas tecnológicas apropiadas al nuevo entorno productivo industrial. Los responsables de la ejecución del Proyecto "Mejora de las Economías Regionales y Desarrollo Local" son el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), en representación del gobierno nacional, y la Delegación de la Unión Europea en Argentina.

Durante más de medio siglo, el INTI ha construido capacidades profesionales e infraestructura tecnológica de relevancia que lo posicionan hoy como actor importante para aportar innovación tecnológica aplicada a los procesos productivos de toda la economía y para el desarrollo de soluciones industriales que incrementen la productividad y la competitividad de la industria nacional.

Con la ejecución de este proyecto se busca acercar la tecnología y las capacidades técnicas a las regiones de menor desarrollo relativo del país, poniendo a disposición de las miPyMEs y Pymes los medios para satisfacer las demandas de mejora de eficiencia y calidad de sus productos y/o servicios para dar un salto cualitativo en cada una de las provincias del NOA y NEA.

Por tanto, a través de un diagnóstico y evaluación de necesidades tecnológicas hecho en articulación con los gobiernos provinciales, se diseñó un plan de acción sectorial que se implementará hasta el 2015, en cinco sectores industriales determinados como prioritarios: industrialización de alimentos, curtiembre, textil, y metalmecánica junto a la gestión medioambiental como eje transversal a los sectores industriales anteriores.

El proyecto Mejora de las Economías Regionales y Desarrollo Local surge como parte de las acciones de vinculación internacional del INTI, en donde la cooperación técnica con organismos públicos y privados del mundo -presentes en el campo tecnológico- favorecen el intercambio de conocimientos como elemento fundamental para el desarrollo industrial local.

En esa dirección, uno de los componentes de este proyecto es la convocatoria de especialistas en diversas temáticas, para cumplir con misiones de trabajo en nuestro país. El objetivo de cada misión es brindar capacitaciones específicas a técnicos de las provincias norteñas, de acuerdo a la especialidad de cada experto, a grupos de trabajo de Centros Regionales de Investigación y Desarrollo así como a Unidades Operativas que conforman la red INTI, y brindar asistencia técnica a las miPyMEs que acompañen el desarrollo de las actividades del proyecto. Además, mantiene entrevistas con actores locales quienes constituyen un recurso esencial y estratégico para alcanzar los objetivos planteados.

La publicación que se dispone a conocer ha sido concebida como resultado de una misión técnica de uno de los expertos intervinientes en este proyecto. Cada experto al finalizar su trabajo en el país, elabora un informe técnico con recomendaciones para el fortalecimiento del sector para el cual fue convocado y que da lugar a la presente producción, editada

con el propósito de divulgar los conocimientos a partir de las necesidades detectadas y los resultados del intercambio efectivo hecho en territorio, conjugando los basamentos teóricos con la realidad local.

### **Dra. Graciela Muset**

DIRECTORA DEL PROYECTO MEJORA DE LAS ECONOMÍAS REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL

El contenido de este documento es responsabilidad exclusiva del autor y en ningún caso se debe considerar que refleja la opinión de la Unión Europea.

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. LANA Y PELOS FINOS : ESTRUCTURA MORFOLÓGICA Y QUÍMICA**

La lana y los pelos finos están caracterizados por una estructura histológica compleja que tienen origen en el bulbo folicular.

Estos están compuestos de dos principales componentes morfológicos, es decir, la cutícula y la corteza. La cutícula consiste en una fina capa de células planas que se superponen como las escamas de un pez y con el extremo libre que mira hacia la punta de la fibra. La corteza está formada por células alargadas y en forma de husillo, dispuestos en la dirección del eje de la fibra, que tiene una longitud de aproximadamente 100  $\mu\text{m}$  y de un ancho máximo de aproximadamente 5  $\mu\text{m}$ . La cutícula y la corteza se mantienen unidas por un estado de proteínas amorfas que toma el nombre de cemento intercelular.

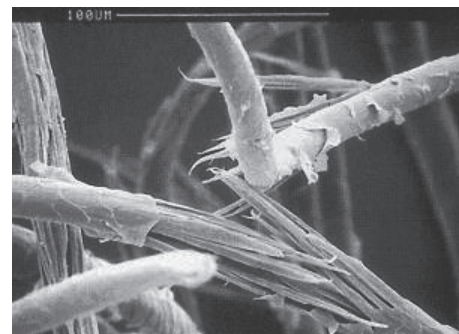
En lanas gruesas o en muchos pelos finos puede estar presente en el núcleo de la fibra una médula.

La lana, después de ser esquilada, a menudo contiene menos del 50% de fibra limpia, debido a la presencia de contaminantes tales como sustancias de grasa, churre, tierra, suciedad y vegetales.

La grasa de lana es la secreción de las glándulas sebáceas del animal, mientras que el churre es la secreción de las glándulas sudoríparas del animal. Minerales, tierra y materia vegetal son sustancias adquiridas por el animal durante el pastoreo, mientras que otras impurezas provienen de la contaminación del vellón con heces y orina.

Con respecto a otras fibras animales, la cantidad de fibra limpia es en general más limpia en comparación a la lana.

Después del lavado, la lana y los pelos animales están esencialmente formados por proteínas puras a partir de los cuales se obtienen por hidrólisis de los ácidos normalmente presentes en los hidrolizados de proteínas de muchos aminoácidos. En particular, la lana y los pelos de animales finos, son queratinas, es decir, proteínas caracterizadas por la presencia de fuertes enlaces disulfuro debidos a los aminoácidos de cistina que lo hacen insolubles y de difícil reacción con diversos reactivos químicos.



*Ilustración 1. Estructura morfológica de las fibras de lana. Rupturas de las cuales sobresalen las células corticales.*

## 1.2. PELOS FINOS

Mientras que la lana es la fibra obtenida de la lana de oveja, los pelos finos derivan de especies animales diferentes de la oveja merina y fueron seleccionados en base a sus características de rendimiento y la capacidad de ser hilados con los sistemas tradicionales.

Estas fibras se utilizan generalmente para obtener artículos de valor o de lujo aprovechando sus características de finura, suavidad, lustre, color y también rareza.

La cantidad limitada de producción y, a veces, las dificultades de abastecimiento determinan el precio que suele ser bastante alto en comparación con la lana.

En la terminología comercial, los pelos finos de animales pueden ser referidos como fibras animales especiales, fibras animales con pelos finos, fibras especiales, fibras lujosas.

Los nombres oficiales (que se emplean en el etiquetado de los productos textiles) de las fibras especiales de origen animal están descritos en la Directiva 96/74 CE de la Comunidad Europea en la clase 2 y son alpaca, llama, camello, cashmere, mohair, angora, vicuña, yak, guanaco, castor, nutria, precedido o no de lana o pieles.

A continuación se muestra un resumen de las principales fibras especiales animales:

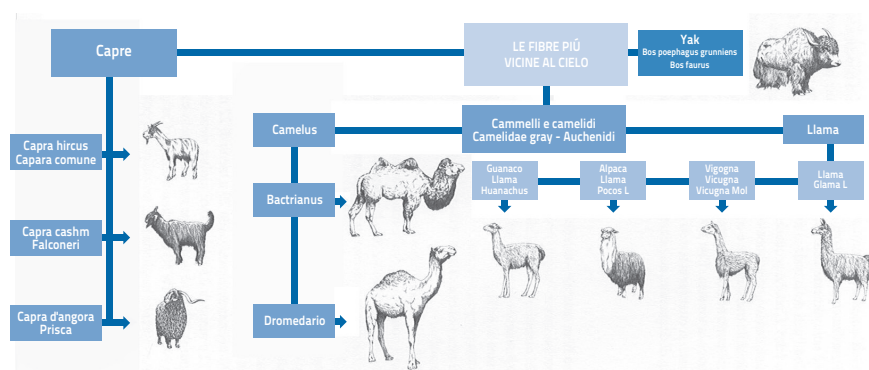


Ilustración 2. Principales fibras especiales animales

## 2. IDENTIFICACIÓN DE LAS FIBRAS ANIMALES ESPECIALES

La lana y las fibras animales muestran grandes similitudes en sus propiedades químicas y físicas y por lo tanto sus mezclas no se pueden separar por medios mecánicos o químicos (solubilidad mediante disolventes selectivos).

Para ello, los métodos utilizados actualmente para la identificación de fibras de lana y pelos finos son métodos microscópicos especiales que hacen uso de la microscopía electrónica de barrido (SEM) y microscopía óptica.

### 2.1. MICROSCOPIA ÓPTICA

Los métodos en microscopía óptica han sido tradicionalmente aplicados para la identificación de las fibras animales en base a las normas ASTM y AATCC (1-2).

Las ventajas de la microscopía óptica como técnica de identificación de fibras animales vienen dadas por, la facilidad de preparación de la muestra, el costo relativamente bajo de la instrumentación, la posibilidad de observar tanto la morfología de la superficie de la fibra (forma, disposición de las cutículas, etc.) como también la morfología interna, en particular, la médula y los pigmentos.

Los límites se deben a la mala resolución y profundidad de campo de la instrumentación, a la limitada magnificación (máximo 500x) y a la interferencia de la imagen con tintes oscuros, pigmentos y sustancias presentes en la superficie de la fibra.

Las normas ASTM y AATCC proporcionan información muy precisa sobre los métodos de muestreo y la estadística a utilizar, pero no describen las características morfológicas que permiten distinguir a una fibra de la otra.

Por este motivo, es necesario referirse a la literatura específica (3) y la experiencia del operador.

Para identificar las diversas fibras de origen animal se toma en consideración la médula y el pigmento, (si existe) y la forma y disposición de las células cuticulares (3).

La médula puede ser continua, interrumpida, escalonada, fragmentada o con forma de islas.

La médula fragmentada o con forma de isla es un rasgo distintivo de los pelos de camélidos, mientras que las médulas escalonadas son características del pelo de conejo de angora.

En cuanto a las características de las células cuticulares éstas se pueden distinguir en base a:

- Tipo de margen (liso, crenado, onda, etc.)
- Tipo de perfil (mosaico regular, irregular, regular ondeadas, ondeadas e interrumpidas, etc.).
- Distancia entre un margen y el otro en las células cuticulares a lo largo del eje de la fibra (corta, larga, etc.)

A continuación se muestran las imágenes de las fibras animales más comunes en microscopía óptica.

La fibra de lana tiene un diámetro bastante irregular, las células cuticulares se encuentran bastante cercanas a lo largo del eje de la fibra y su contorno está bien marcado.

El cashmere es la primera capa sin cerdas de la cabra cashmere.

El diámetro de la fibra es regular, las escamas están distanciadas, tienen márgenes lisos y en general recubren completamente la fibra.

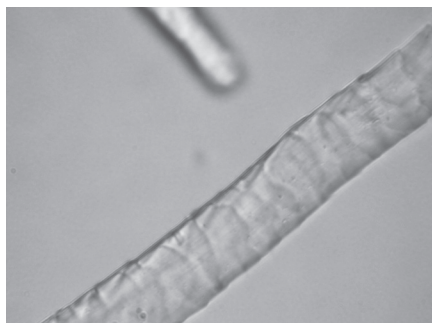


Ilustración 3. Lana (400x)

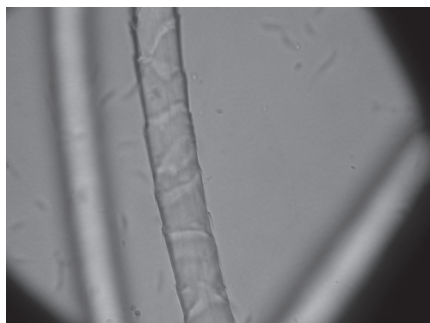


Ilustración 4. Cashmere (200x)

El pelo de camello se distingue de las otras fibras animales porque las celulares cuticulares poseen márgenes con pendientes elevadas.

El pelo de conejo de angora presenta una médula característica denominada escalonada (con una sola serie o muchas) y sus cutículas son de forma típicamente puntiagudas.

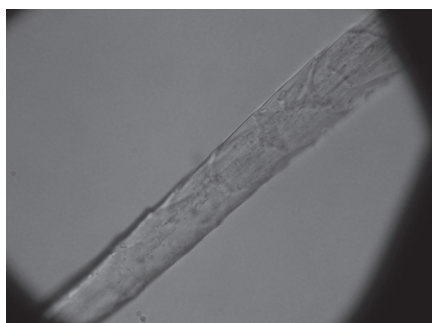


Ilustración 5. Pelo de camello (200x)

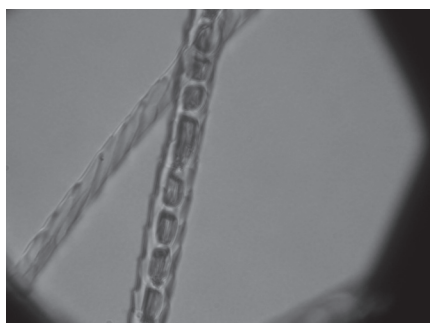


Ilustración 6. Pelo de conejo de angora (200x)

La fibra de alpaca, como también la llama, viene caracterizada en microscopía óptica por una médula particular en forma de isla. La pigmentación, cuando está presente, supone la apariencia de los agregados de gránulos presentes en la corteza dejando una zona periférica anular sin pigmento.

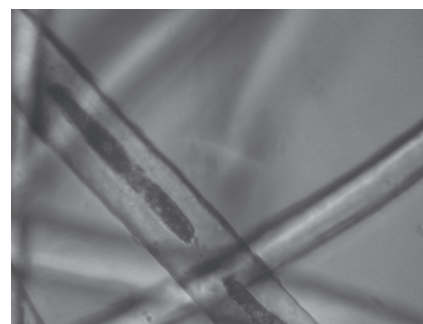


Ilustración 7. Fibra de alpaca (200x)



Ilustración 8. Fibra de alpaca pigmentada (200x)

Es importante decir que en la microscopía óptica no es posible medir el espesor de las células cuticulares por problemas relacionados a la resolución de la técnica.

## 2.2. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM).

La microscopía electrónica de barrido, en comparación con la microscopía óptica, permite medir el espesor de las células cuticulares, que generalmente es mayor a  $0,55 \mu\text{m}$  para la lana y menor de  $0,55 \mu\text{m}$  para los pelos finos.

Las ventajas de la técnica, con respecto a la microscopía óptica, están relacionadas con la alta magnificación, la resolución y la profundidad de campo.

Las principales desventajas se deben a la complejidad de la técnica, al elevado costo de la instrumentación, así como la capacidad de examinar en vista longitudinal sólo las características de la superficie de las fibras, sin poder investigar las características internas tales como la médula y el pigmento.

## 2.3. CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS DE LAS FIBRAS CAMÉLIDAS

En general, en lo que respecta a las características microscópicas de las fibras de camélidos, (examinadas por microscopía óptica o electrónica) se pueden hacer las siguientes consideraciones (4):

### 2.3.1. La alpaca

Las características microscópicas de fibras de alpaca son típicas de los camélidos. El diámetro a lo largo del eje de la fibra es regular, con cutículas delgadas y próximas, cuya forma y disposición dependen del diámetro: en las fibras finas tienen una disposición solapada como en lana fina, un mosaico ondulado con diseño continuo, mientras que en las fibras más gruesas tienen una disposición más cercana entre ellas, con bordes irregulares y ondulados.

Los bordes exteriores de las células cuticulares sobresalen menos de la fibra en comparación con la fibra de lana y por lo tanto, la fibra examinada longitudinalmente, se presenta más lisa.

En la mayoría de las fibras se encuentra una estructura medular cuya forma y distribución es una función del diámetro de la fibra. Las fibras finas, generalmente de sección circular o elíptica, no poseen medula o contienen una médula sola fragmentada; las fibras ordinarias poseen médulas poco interrumpidas o enteras, que en sección transversal se muestran alargadas o multilobulares. La forma y distribución de la médula afectan en gran medida a las características del producto y el comportamiento químico y físico de las fibras (tacto, impermeabilidad, densidad aparente). La coloración de la fibra se debe a gránulos de pigmentos dispersos o agrupados en forma de islas en el cortex: su cantidad y distribución genera diferentes intensidades en pigmentación, y por consiguiente del color.

### 2.3.2. La llama

Las características morfológicas de la superficie de las fibras son muy similares a las de la alpaca. El diámetro a lo largo del eje de la fibra es regular y sus células cuticulares, sobresalen poco, impartiendo a las fibras un contorno liso. La forma de las células cuticulares en fibras más finas viene representada por un mosaico ondulado irregular con márgenes estrechos y poco pronunciados.

En las fibras de diámetro más grueso las células cuticulares toman una forma ondulada continua, siendo más agrupadas que el mosaico de fibras finas, con contornos más dentados y rizados.

También las fibras de llama se caracterizan por la presencia de una estructura, medular central, con diferentes características variables dependiendo del diámetro de las fibras.

Las fibras finas tienen una médula interrumpida: las interrupciones son pocas y distantes, y la médula es estrecha en comparación con el diámetro de la fibra.

Las fibras gruesas presentan una médula variable por tipo y forma en función del diámetro, de continuo a interrumpido o fragmentado, con una apariencia similar a la médula de las fibras de alpaca de gran diámetro.

Interesante es el análisis de sus secciones transversales: las fibras tienen secciones multilobulares que es típico de las fibras de llama.

Las fibras pigmentadas, tales como la alpaca, presentan dentro gránulos de pigmento agrupados de manera irregular, pero que tienden, para ambos tipos de pelo, a delimitar una zona periférica sin pigmentar, característica especialmente visible en sección transversal.

### 2.3.3. La vicuña

Las fibras finas de vicuña se caracterizan por un diámetro regular y una superficie lisa. Son muy similares a los de la variedad de alpaca Huacayo, y las diferencias se ven principalmente en la mayor finura promedio de la vicuña.

En las fibras finas la disposición de las células cuticulares forma un mosaico irregular ondulado, con bordes en las cutículas muy juntos y que sobresalen ligeramente. Una parte de las escamas están ubicadas como un anillo alrededor de la fibra. Las cerdas, cuando están presentes, tienen una disposición de las células cuticulares como ondas continuas y apretadas, con bordes dentados y plisados, de hecho indistinguible de las fibras de llama y alpaca con microscopia. La mayor parte de las fibras finas no tienen médula, mientras que las fibras de mayor diámetro presentan médulas interrumpidas fragmentadas o con forma de islas.

Además se pueden observar fibras desprovistas de pigmentación y, cuando el pigmento está presente, mostrar un aspecto de agregados de gránulos en el cortex, evidenciando, especialmente en las fibras gruesas, una zona anular desprovista de pigmento.

### 2.3.4. El guanaco

Desde el punto de vista microscópico las fibras de guanaco son morfológicamente muy similares a las fibras de vicuña y difieren en otras características (finura y color). La forma, la distribución y el contorno de las células cuticulares de guanaco y vicuña son prácticamente indistinguibles. La distribución del pigmento, cuando está presente, sigue la misma tendencia que se caracteriza por la presencia de agregados o gránulos dispersos, más densamente agrupados hacia la cutícula, pero separado de esta última por una zona periférica anular desprovista de pigmentación.

La forma y la distribución de la médula son similares a la vicuña, sin embargo siendo la vicuña apenas más fina que el guanaco, esta última presenta estadísticamente un mayor número de fibras meduladas (50% o más).

A continuación se muestran algunas imágenes de fibras de camélidos (alpaca, llama, guanaco y vicuña) comparadas con fibras de lana y cashmere, observadas en un microscopio electrónico de barrido.

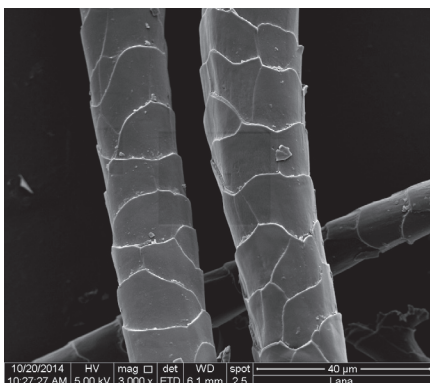


Ilustración 9. Fibras de lana (SEM)

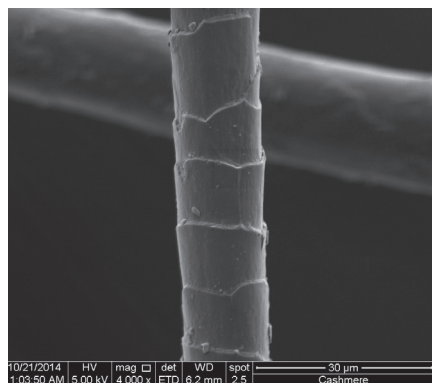


Ilustración 10. Fibras de cachemira (SEM)

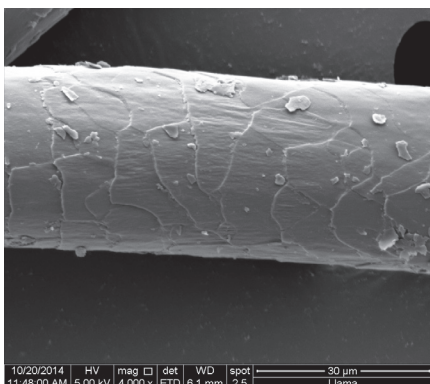


Ilustración 11. Fibra de llama (SEM)

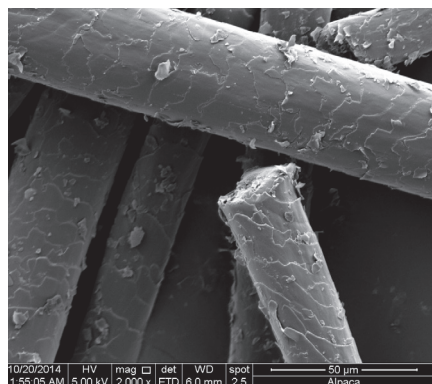


Ilustración 12. Fibras de alpaca (SEM)

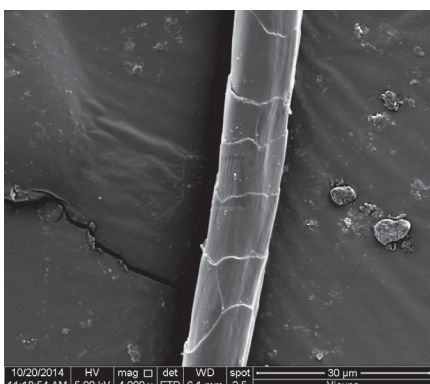


Ilustración 13. Fibra de Vicuña (SEM)

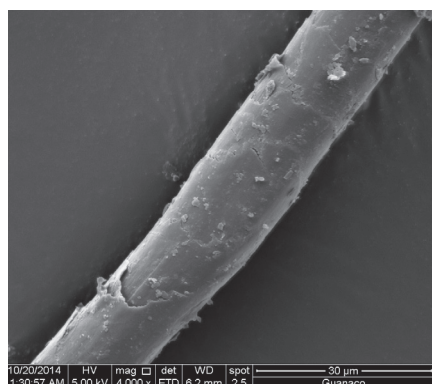


Ilustración 14. Fibra de Guanaco (SEM)

En las siguientes imágenes de pelos finos (fibra de vicuña) se mide el espesor de las cutículas. Esta particularidad, es una característica principal que permite distinguir lana (espesor de la cutícula superior a  $0,55 \mu\text{m}$ ) de pelos finos (espesor de la cutícula menor a  $0,55 \mu\text{m}$ ).

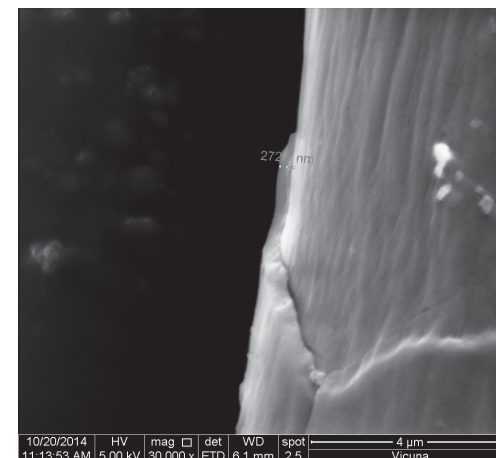


Ilustración 15. Fibra de Vicuña (SEM). Medición del espesor en una cutícula

## 2.4. NUEVOS MÉTODOS EN IDENTIFICACIÓN DE PELOS FINOS

Con el uso de métodos basados en la microscopía óptica y electrónica, la correcta identificación de los pelos finos depende en gran parte de la experiencia del operador, por lo tanto, para aumentar la objetividad del análisis, se han estudiado y están siendo estudiados nuevos métodos, basados principalmente en las diferencias bioquímicas entre los diferentes pelos finos.

Entre ellas se destacan:

- análisis del ADN
- calorimetría diferencial de barrido
- espectrometría del infrarrojo cercano
- cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas

### 2.4.1. Análisis del ADN

Las fibras de origen animal se forman a partir de materiales que tienen su origen en células. El ADN (ácido desoxirribonucleico), la molécula que lleva la heredabilidad de caracteres, se encuentra en el núcleo de la célula. En el pelo animal, durante el proceso de



queratinización, las células se vuelven metabólicamente inactivas, sin embargo las partes restantes del núcleo que contiene el ADN permanecen retenidas en el pelo y protegidas de la degradación química y biológica.

El ADN puede ser extraído de los pelos de animales e hibridado con ciertas secuencias de ADN llamadas oligonucleótidos que son únicos para cada especie. Oligonucleótidos específicos para cada especie, se pueden utilizar para distinguir entre muestras de ADN de especies muy parecidas entre sí permitiendo diferenciar, por ejemplo, pelos de oveja y pelos de cabra (5-6).

Además, el desarrollo de la tecnología de la amplificación in vitro de ADN conocida como la PCR (polymerase chain reaction) permite Incluso analizar pequeñas cantidades de ADN extraído.

De las primeras pruebas, de análisis del ADN para distinguir pelos de animales (método cualitativo), hoy en día se realizan pruebas cuantitativas sobre el material textil tratado (7).

#### 2.4.2. Calorimetría diferencial de barrido

Las características térmicas de las fibras animales especiales han sido investigadas con calorimetría diferencial de barrido, estas pruebas realizadas en diferentes condiciones experimentales (8). La literatura científica describe en detalle los diferentes eventos térmicos que se obtienen para la lana merina en un rango de temperatura entre 230 y 255 °C donde el termograma muestra dos picos endotérmicos, o un pico a temperaturas más bajas y una loma a temperaturas más altas.

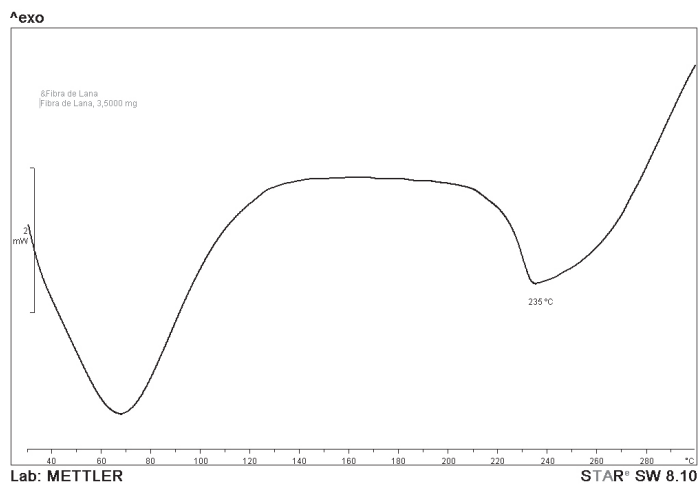


Ilustración 16. Gráfico DSC de fibras de lana

Este comportamiento ha sido explicado principalmente a través de dos teorías distintas: la primera identifica los dos eventos endotérmicos con la desnaturalización térmica de la hélice alfa (estructura secundaria) de las células corticales y del cemento intercelular, mientras que la segunda teoría atribuye los dos eventos endotérmicos a la desnaturalización del orto y del paracortex, responsables del rizo de lana merino.

Esta segunda teoría, la más fiable, es apoyada por el hecho de que las fibras de mohair muestran, en su gráfico de DSC, sólo un pico endotérmico a temperaturas bastante bajas, y se sabe que la fibra de mohair sólo se forma a partir de células del ortocortex.

En la práctica, los gráficos térmicos y las diferentes temperaturas de desnaturalización térmica de orto y paracortex podrían ser de ayuda o de confirmación para la identificación de fibras especiales.

A continuación se presentan los gráficos termo analíticos de fibras de mohair y de fibras camélidas (alpaca, llama, guanaco y vicuña).

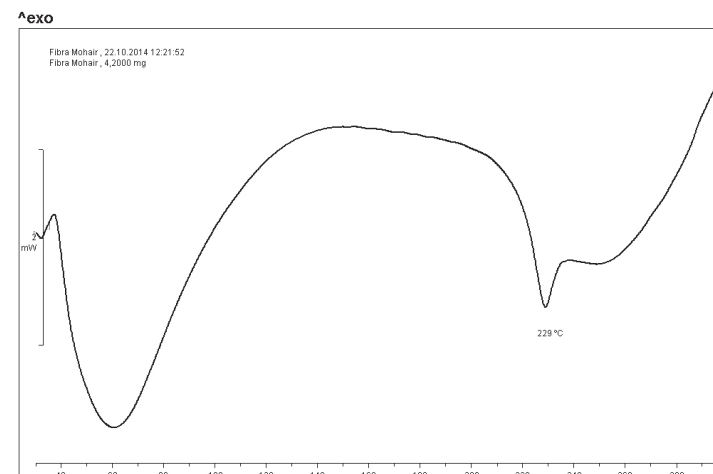


Ilustración 17. Gráfico DSC de fibras de mohair

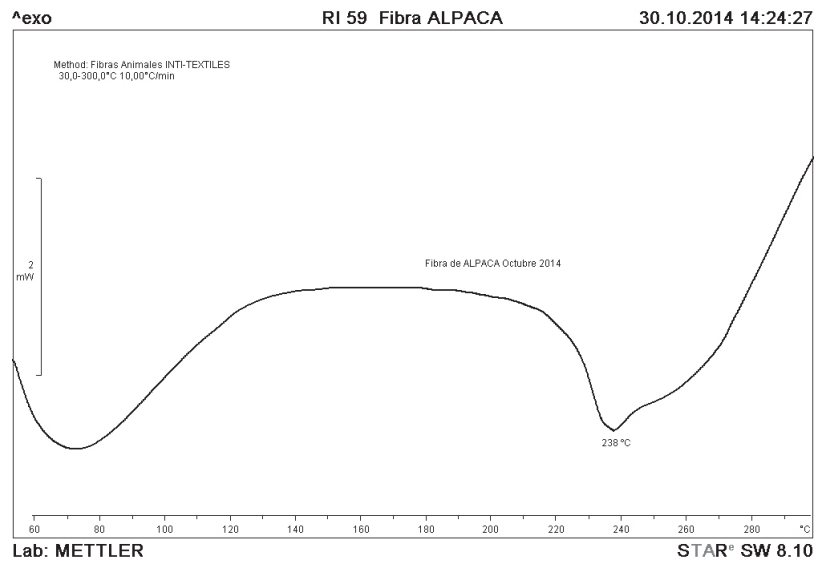


Ilustración 18. Gráfico DSC de fibras de alpaca

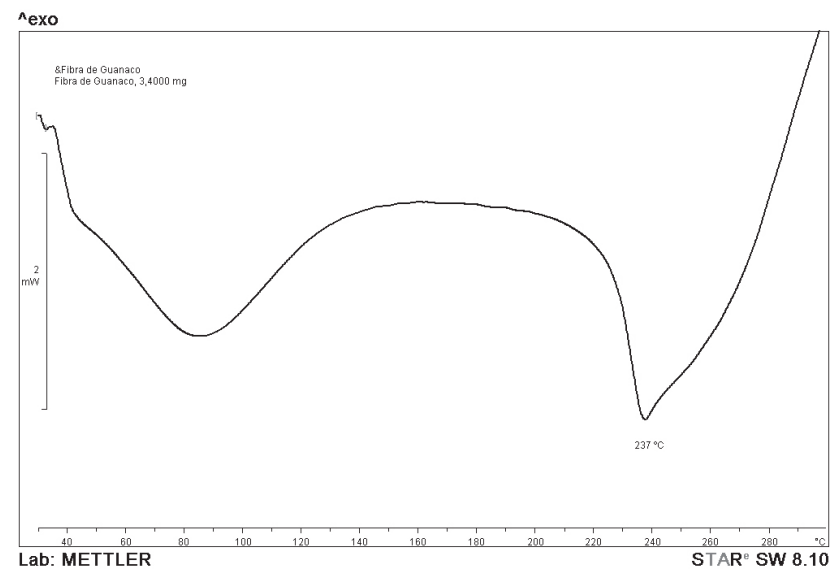


Ilustración 20. Gráfico DSC de fibras de guanaco

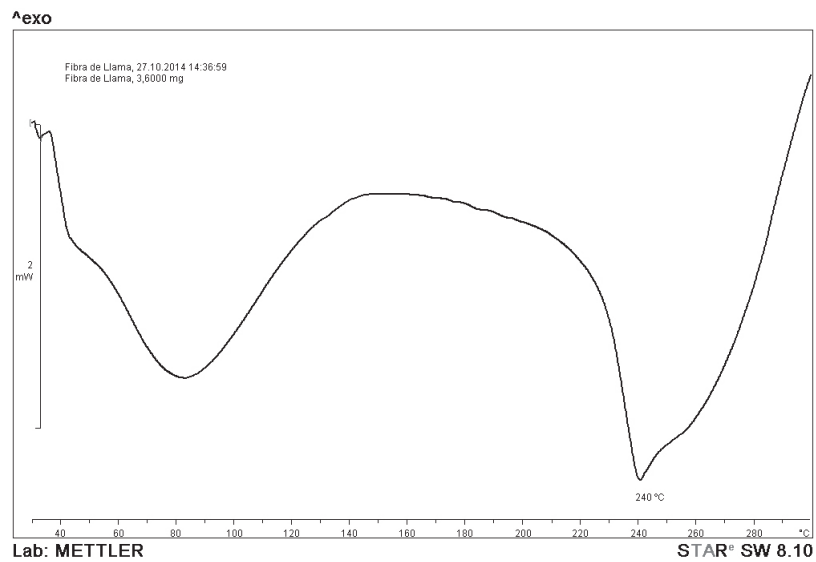


Ilustración 19. Gráfico DSC de fibras de Llama

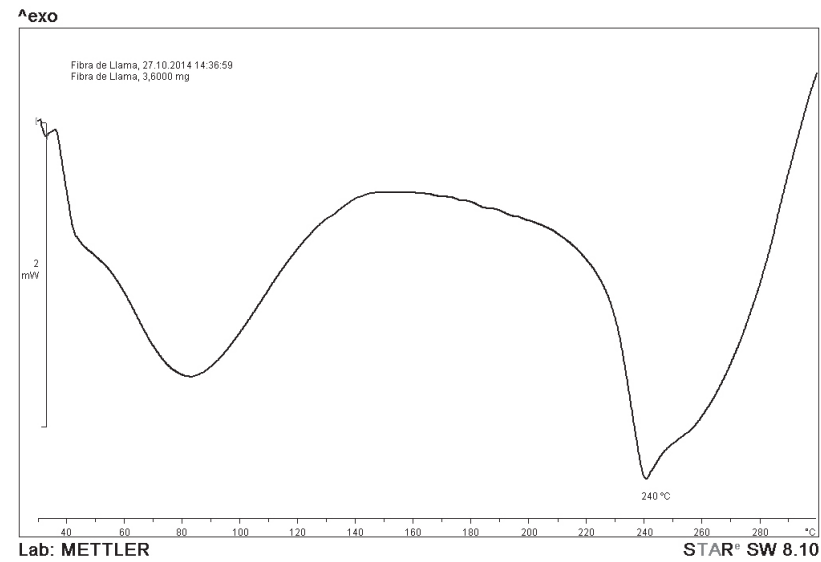


Ilustración 21. Gráfico DSC de fibras de vicuña

### 2.4.3. Espectroscopia del infrarrojo cercano

La espectrofotometría en el infrarrojo cercano, unida al análisis quimiométrico de los datos, se ha estudiado como un método rápido y no destructivo para la identificación de las principales fibras animales y para la determinación cuantitativa de las mezclas lana-cashmere (9).

Las principales diferencias entre los espectros de los distintos pelos de animales derivan de características físicas más que por las características químicas de las fibras (principalmente la pigmentación y el diámetro promedio).

Utilizando el método SIMCA (Soft Independent Modelling by Class Analogy) es posible clasificar las fibras analizadas (lana, cashmere, yak y conejo de angora) en grupos distintos con la única coincidencia entre tipos de cashmere y yak (ver Figura 23). Un análisis cuantitativo fue probado para mezclas peinadas de lana-cashmere y se calcula el error estándar de predicción.

En la práctica, la espectroscopia en el infrarrojo cercano se puede utilizar como un medio para un screening inicial y de manera rápida de fibras animales y para una determinación aproximada de la cantidad de cashmere en mezclas de lana-cashmere.

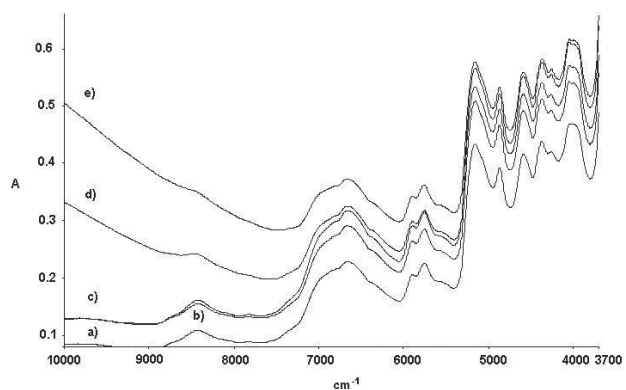


Ilustración 22. Espectros en el infrarrojo cercano de fibras de a) conejo de angora, b) cashmere blanco, c) lana d) cashmere pigmentado y e) yak pigmentado

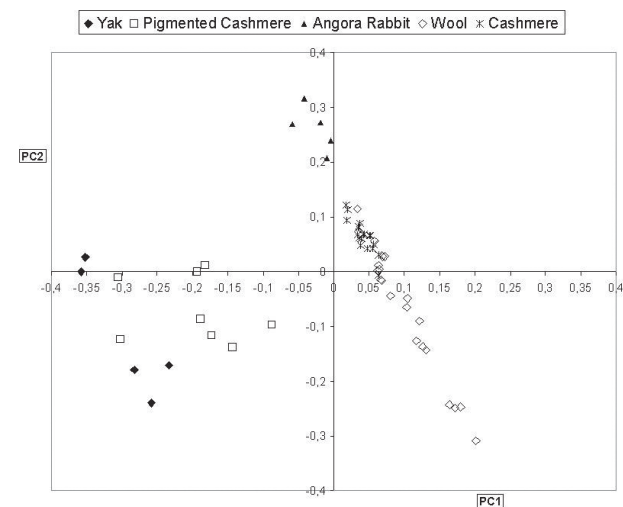


Ilustración 23. Distribución por agrupamiento (cluster) de muestras de diferentes fibras de origen animal

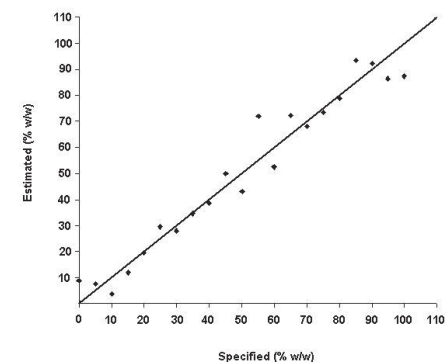


Ilustración 24. Valor porcentual de cashmere en una mezcla lana-cashmere. Valores conocidos versus valores estimados mediante un análisis quimiométrico utilizando espectros NIR

#### 2.4.4. Cromatografía líquida acoplada a la espectrofotometría de masas

Esta técnica nos permite identificar y cuantificar fibras de diferentes especies animales (lana, cashmere y yak) en base a la presencia en la fibra de péptidos característicos de cada especie.

La queratina extraída en pelos de animales viene digerida con la enzima tripsina con el fin de obtener mezclas de péptidos que se analizan por cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas de electrospray. Se identifican especies específicas de péptidos para cada fibra animal (10).

Los resultados muestran que la identificación cualitativa de lana, cashmere y yak es excelente y la mayoría de los *markers* utilizados para el análisis cuantitativo son proporcionales a la cantidad de proteína extraída.

### 3. PARÁMETROS QUÍMICOS Y FÍSICOS QUE CARACTERIZAN LAS FIBRAS DE CAMÉLIDOS

Los parámetros más importantes para la definición del valor de pelos finos de animales, y en particular las fibras de camélidos, son la longitud, la finura y el color.

#### 3.1. FINURA

Mientras que en fibras sintéticas se habla de título que es el cociente entre la masa y la longitud de un filamento, expresada en tex (es decir, el peso en gramos de 1000 metros de filamento) o denier (es decir, el peso en gramos de 9000 metros de filamento), en las fibras de lana y pelos finos se habla de finura, es decir, el diámetro de las fibras expresado en micrómetros.

Los equipos para la medición de la finura son:

- El lanámetro o microscopio de proyección (norma IWTO-International Wool Textile Organisation- 8-2011).
- El equipo airflow (norma IWTO DTM 61-2001).
- OFDA u Optical Fibres Diameter Analyzer (norma IWTO 47-2013).

##### 3.1.1. Métodos para la determinación de la finura

- El método basado en el lanámetro consiste en proyectar sobre una pantalla la imagen ampliada (500x) de pequeñas fibras y medir el diámetro de estas imágenes por medio de una escala graduada. La muestra a ensayar se coloca en un ambiente acondicionado durante al menos 24 horas (a una temperatura de  $20 \pm 2$  ° C y humedad relativa de  $65 \pm 2\%$ ) y las fibras se cortan con un micrótopo a una longitud predeterminada.

La muestra de fibra preparada de esta manera se examina con el lanámetro. El lanámetro, o microscopio de proyección, está constituido por una fuente de luz, un condensador de luz, una placa de soporte del portaobjetos, un objetivo, un ocular y una pantalla circular de proyección.

Los fragmentos de fibras obtenidas de este modo se dispersan uniformemente en un portaobjetos utilizando el medio de dispersión como un líquido viscoso con un índice de refracción adecuado y que tiene la característica de no absorber agua. Normalmente se utiliza el aceite de madera de cedro. La muestra de fibra así preparada se examina bajo el lanámetro. La técnica manual de medición de las fibras en la pantalla está diseñada de modo que se asegure una selección al azar de fragmentos de fibras de la muestra.

Del análisis del lanómetro se obtiene el diámetro medio de las fibras de la muestra, la desviación estándar, el coeficiente de variación y el histograma de finura.

- El método basado en el flujo de aire se basa en el principio de que la superficie lateral de una masa de fibras que tienen sección transversal circular o casi circular es proporcional al diámetro medio de las fibras. La teoría del método se basa en la ecuación de Kozeny, que permite determinar la resistencia opuesta por una almohadilla de fibras para el deslizamiento del aire. Mediante la medición de la caída de presión que se produce en un flujo de aire que pasa a través de una almohadilla de fibras, se obtiene, con cálculos apropiados, la superficie lateral de las fibras que forman la almohadilla. El instrumento debe calibrarse periódicamente con muestras de fibras de diámetro conocidos, medidas con el lanómetro o con muestras proporcionadas por asociaciones específicas (Interwoollabs- International Association of Wool Textile Laboratories). El equipo Air Flow proporciona el diámetro promedio de la muestra de fibra y no los parámetros de dispersión.
- El equipo OFDA (Optical Fibre Diameter Analyser) es esencialmente un microscopio con el cual la lectura de los diámetros de las fibras viene realizada de manera automática. El instrumento magnifica y captura imágenes de cada fibra a través de una cámara de vídeo para luego medir el diámetro. Los resultados que proporciona son el diámetro medio de la muestra de las fibras, la desviación estándar, el coeficiente de variación y el histograma de finura.

En cuanto a las fibras de camélidos es importante y posible con el lanómetro y el OFDA obtener la determinación cuantitativa de las fibras medulladas y la determinación de la cantidad de fibras gruesas, o cerdas, que se identifican como las fibras que tienen un diámetro mayor a 30  $\mu\text{m}$ .

### 3.2. DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD

La medición de la longitud de las fibras de origen animal viene referida a la norma IWTO 17-2011. La muestra de fibras, preparada con una pinza automática a partir de una cinta peinada y en el que todas las fibras salen de la misma línea, se inserta, a una velocidad constante, entre las placas de un condensador eléctrico de medición. La capacidad del condensador, a medida que la muestra pasa entre las placas, es proporcional a la masa de fibras entre las placas en cada tiempo establecido y por lo tanto relacionada con la cantidad de fibras en cualquier posición dada de la longitud de la muestra.

La señal emitida por el condensador de medición es utilizada para obtener un diagrama acumulativo de longitud. La señal pasa a una computadora, proporcionando los siguientes parámetros:

- altura (longitud promedio respecto a la sección de las fibras)
- coeficiente de variación de la altura
- barba (longitud promedio respecto al peso de las fibras)

- coeficiente de variación de la barba
- porcentaje (en sección y en peso) de las fibras más largas o más cortas de una longitud dada.

La determinación de la longitud y de su variabilidad son fundamentales para establecer el ciclo de procesamiento de las fibras y el producto final (por ejemplo las fibras animales cortas con elevada variabilidad en altura no pueden ser usadas para el proceso de peinado).

### 3.3. DETERMINACIÓN DEL COLOR

El color de los pelos animales viene dado por la presencia de pigmentos, la eumelanina, responsable de la coloración marrón y la feomelanina de la coloración que tiende al rojo. La melanina se ubica en granos con forma ovoidal, presentes en la matriz proteica entre las células corticales.



Ilustración 25. Gránulos de pigmento (SEM)

La determinación de las melaninas es bastante compleja e implica el uso de métodos basados en la determinación de *markers* cuantitativos, respectivamente de eumelanina y feomelanina usando métodos cromatográficos (cromatografía líquida de alto rendimiento - HPLC). Tales métodos de determinación cuantitativa de pigmentos pueden ser utilizados para investigaciones científicas con fines específicos, pero en la práctica industrial y comercial, las escalas de color son comúnmente utilizadas a partir de fibras pigmentadas y de la mezcla de diferentes colores.



Ilustración 26. Paleta de colores para la fibra de alpacapigmento (SEM)

## 4. PRODUCCIÓN DE FIBRAS DE CAMÉLIDOS

La producción de fibras de camélidos es típica de América del Sur, y el número de animales en estado silvestre viene graficado en la siguiente figura (11) en la cual se indica el número de guanacos, vicuñas y llamas, en Argentina.

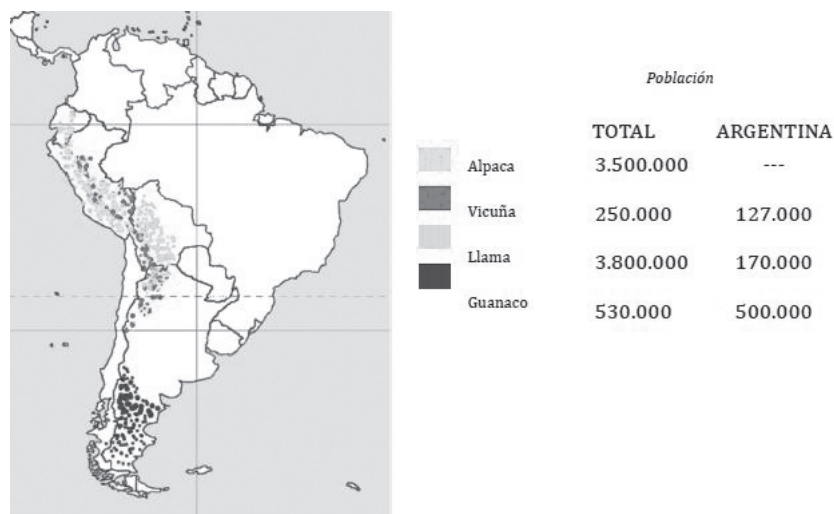


Ilustración 27. Población de camélidos en América del Sur

Resultados similares han sido reportados por Jilguero y Mueller, donde también indican la producción de fibra de camélidos en América del Sur (12).

ESPECIE	POBLACION (NÚMERO DE CABEZAS)	PRODUCCIÓN DE FIBRA (KG DE FIBRA AL BARRER)
Alpaca	3.503.774	4.055,595
Llama	4.080.596	3.342.866
Vicuña	319.457	5.580
Guanaco	577.697	1.500

Tabla 1. Producción de fibras de camélidos en América del Sur

En América del Sur las fibras de camélidos son producidas casi exclusivamente al nivel de los pequeños agricultores. La mayor parte de la producción de las fibras se lleva a cabo en las zonas marginales. En cuanto a las zonas geográficas de producción de alpaca, llama y vicuña, estos viven normalmente a gran altura en los Andes centrales, mientras que la población de guanacos se encuentra en la Patagonia.

En cuanto a los países mayormente importadores de fibras finas (incluyendo a los camélidos y en particular de vicuña), los datos de hace unos años indican que los países principales importadores son Italia y China (13).

PAÍSES IMPORTADORES	VALORES (en miles de usd)	VOLUMEN (Toneladas)	PEINADO (% del total)	NO PEINADO (% del total)
Italia	97.444	3.625	40	60
China	54.264	6.901	78	22
Hong Kong	18.820	638	91	9
Reino Unido	12.549	1.072	40	60
República de Corea	12.028	700	-----	-----
Japón	11.661	682	45	55
Francia	10.772	691	57	43
Alemania	8301	659	20	80

Tabla 2. Importaciones de fibras lujosas peinadas y no peinadas. Año 2007. Referencia Trade Map

Los precios de las fibras están determinados en relación a su finura y secundariamente al color.

En cuanto a la alpaca, algunas diferencias de precios son significativas dependiendo de la finura y a los criterios que utilizan los productores en clasificación de la fibra, basados en estándares propios que pueden cambiar de acuerdo a las leyes del mercado. La finura promedio en cualquier caso se toma como el principal factor para las operaciones comerciales (14).

Otro parámetro que influye en el valor de la fibra es la cantidad de fibras gruesas y méduladas que crean problemas en el procesamiento de la alpaca, pero aún más en la llama, la vicuña y el guanaco.

La longitud de la fibra se determina por el período de esquila, las fibras de alpaca son considerablemente largas y permiten obtener efectos especiales de hilatura, especialmente aquellas fibras de la alpaca Suri, particularmente brillante y similar a la seda.

El color es el segundo parámetro en orden de importancia para la determinación del precio. El blanco ha sido tradicionalmente el color solicitado por el mercado capaz de ser teñido en todos los tonos de color y mezclados con otros colores naturales.

Hoy en día, por razones relacionadas con la ecología, se aprecian los hermosos colores naturales de la alpaca.

La llama produce una fibra de menor calidad que la alpaca, generalmente tiene un diámetro mayor y una dispersión de los diámetros más amplia. El proceso de descordado puede ser una forma válida para disminuir el número de fibras de diámetro mayor a 30  $\mu\text{m}$  y de esta manera aumentar el factor de confort sobre la piel de tejidos de llama.

La vicuña produce una de las fibras más finas y exóticas que se conocen. Después de años de prohibición del comercio internacional del pelo del animal considerado una especie protegida en peligro de extinción, recientemente, como consecuencia de un aumento significativo de los animales, se permitió un período de explotación del pelo en algunas reservas protegidas.

La cantidad de fibra producida anualmente por un animal es muy baja, por lo general el color es marrón claro, marrón canela y el pelo debe ser descordado de forma manual o mecánicamente, para eliminar las pocas fibras gruesas que contiene. Típicamente, las fibras producidas por la vicuña son más bien cortas.

En cuanto al guanaco, como también para la vicuña, la comercialización del pelo es bastante limitada.

Incluso el guanaco tiene un doble manto (fibras finas y gruesas), y en consecuencia, después de la esquila, el pelo viene descordado para eliminar las fibras más gruesas, presentes en cantidades bajas. El resultado es una fibra suave y ligera, más bien corta y segundo en rango en cuanto a la finura de la vicuña.

## 5. NUEVOS MÉTODOS DE PROCESAMIENTO DE LAS FIBRAS PROTEICAS

Los nuevos métodos de procesamiento de las fibras proteicas refieren el uso de tecnologías respetuosas con el medio ambiente, capaces de aportar un valor añadido al producto final en términos de características al tacto o capaces de procesar la fibra de manera más ecológica con el medio ambiente, mediante el reemplazo o la reducción del uso de reactivos tóxicos.

Entre estos métodos pueden incluirse la tecnología con plasma y los procesos enzimáticos.

### 5.1. TRATAMIENTOS CON PLASMA

El plasma es un estado de la materia en la que un número significativo de átomos y / o moléculas son eléctricamente cargados o ionizados, pero siendo neutro en su totalidad. En el plasma, electrones e iones se mueven independientemente y no están enlazados entre sí como en los demás estados de la materia.

La forma más fácil para producir un plasma queda determinado por W. Crooke: un tubo de vidrio tiene dos electrodos en sus extremos, conectados a un circuito externo. El tubo está conectado a una bomba de vacío. Después de vaciar el tubo de aire (típicamente hasta presiones del orden de  $10^{-2}$ - $10^{-6}$  mbar), se llena con un gas noble (helio, neón, argón). Luego se aplica un alto voltaje en los extremos de la tubería: de esta manera el gas neutro es ionizado por la colisión de los electrones emitidos por el cátodo (el electrodo cargado negativamente). En un cierto punto, los procesos de ionización y recombinación de los electrones con los iones recién formados alcanzan el equilibrio. Si la fracción de gas ionizado es suficientemente grande, el gas neutro se ha convertido en un plasma.

Un ejemplo de un equipo de plasma escala laboratorio está compuesto por un generador de frecuencia, por ejemplo, en el campo de la radiofrecuencia o de las microondas, un sistema de vacío y una cámara de reacción en la que están colocados los electrodos.

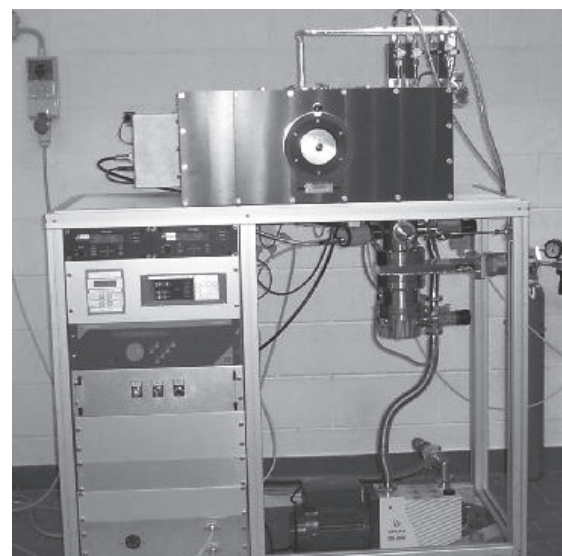


Ilustración 28. Equipo de laboratorio de plasma al vacío

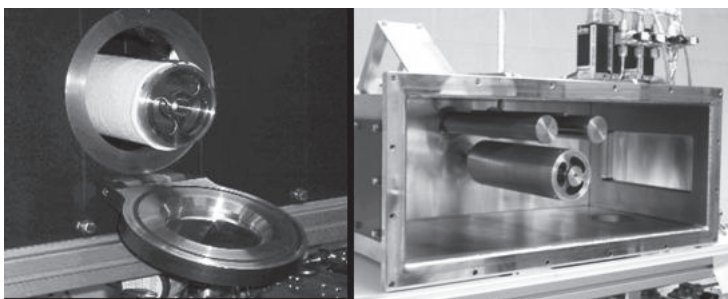


Ilustración 29. Cámara de reacción

El plasma puede utilizarse para activar una superficie, para degradarla (interacciones *etching*), para injertar átomos en la superficie, o para depositar en la superficie films orgánicos (polimerización por plasma).

A diferencia de una polimerización tradicional donde la estructura del polímero depositado sobre el sustrato es prevista a partir del monómero, en la polimerización por plasma, se prevé una estructura del polímero no predecible a partir del monómero de partida con una reordenación casual de fragmentos del monómero.

Las ventajas de la polimerización en plasma en comparación con la polimerización tradicional, están asociadas a mejores y diversas propiedades que puede tener el film depositado de polímero, al espesor controlado y al tratamiento ecológico debido a la no utilización de disolventes, que generalmente son acuosos.

Los estudios sobre tratamientos con plasma en el sector textil van en búsqueda de una alternativa en tratamientos químicos-húmedos y procesos de pre-tratamiento, por ejemplo acabados para resistencia al encogimiento, repelencia al agua, hidrofiliidad, que tienden a alterar las propiedades mecánicas de los tejidos y que son generalmente peligrosos para el medio ambiente.

En los pelos de animales (las pruebas se llevaron a cabo en lana) la aplicación de plasma a baja temperatura, bajo vacío o a presión atmosférica, genera una serie de cambios químicos y físicos en la cual modo e intensidad son en función de las condiciones de funcionamiento que incluyen potencia, tiempo y grado de vacío. Es para destacar que el plasma actúa en la superficie de las fibras dejando inalteradas las características internas de la masa de fibras en un tratamiento, sin ir más allá de los niveles de energía, o aplicados a tiempos prolongados que pueden dañar irreversiblemente las fibras.

Tratamientos de *etching* con plasma de oxígeno producen sobre las fibras la oxidación parcial y la eliminación de lípidos de la superficie, a un aumento de los grupos CO, COO y CON, a la formación de ácido cisteico a partir de la cistina. A los efectos prácticos se incrementa la reactividad química de la superficie de las fibras de lana con un aumento de la hidrofiliidad, aumento de la capacidad a tratamientos de baño acuoso y hacia las resinas catiónicas con el consecuente aumento en la humectabilidad e incremento en la afinidad tintórea.

La humectabilidad del material textil se puede cuantificar midiendo el ángulo de contacto. Morfológicamente la superficie de las fibras de lana tratadas con plasma se ve más rugosa.

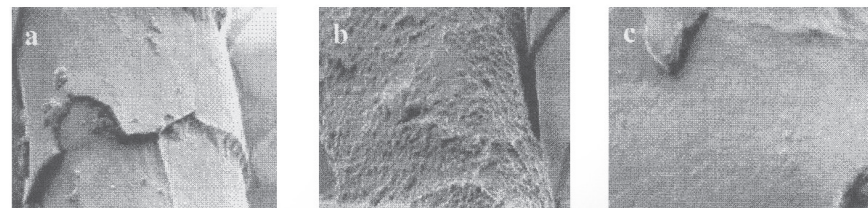


Ilustración 30. Fibra de lana a) sin tratar b) y c) tratadas con plasma

En cuanto al efecto del tratamiento con plasma de oxígeno al tacto de la lana, las modificaciones superficiales inducidas por el plasma en la superficie de las fibras (que es para aumentar la hidrofilia, la oxidación de la cistina de la exocutícula y la reducción del número de enlaces reticulados superficiales) facilitan la afinidad y la difusión dentro de la fibra de los tintes en solución acuosa y determinan la mejora del proceso de teñido en términos de agotamiento, brillo superficial y solidez del color.

Además estudios sobre tratamientos por plasma como pueden ser tratamientos anti-fieltrantes en lana han demostrado que:

- La tendencia a que las fibras de lana se afieltren, es reducida por la acción del plasma, pero no alcanza los valores que un tratamiento clorado.
- La posterior aplicación de una resina reduce la tendencia a afieltrarse a valores comparables a las de un tratamiento de cloro / Hercosett.
- La comparación entre la lana tratada con la resina antes y después del tratamiento con plasma indica la necesidad de la acción superficial del plasma antes de la deposición de la resina, para inducir un buen efecto anti-fieltrante.

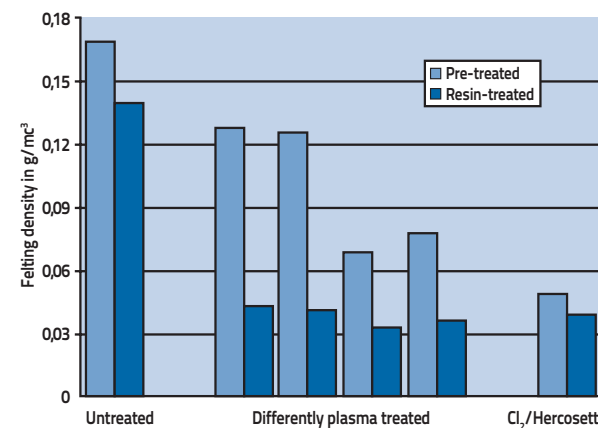


Ilustración 31. Afieltroamiento de la lana pre-tratada con plasma y tratada con resina, comparado al tratamiento cloro-Hercosett



## 5.2. TRATAMIENTOS CON ENZIMAS

Las enzimas se pueden definir como catalizadores biológicos de naturaleza proteica que ejercen su función dentro de las células vivas. Estas son capaces de acelerar la velocidad de las reacciones químicas de transformación de muchas sustancias presentes en los organismos vivos gracias a la capacidad de unirse específicamente a una amplia variedad de moléculas.

Muchas enzimas se pueden extraer o mismo ser sintetizadas por la industria, y pueden cumplir su función in vitro.

Esta característica ha sido explotada desde los primeros años del siglo XX para aplicaciones a nivel manufacturero e industrial, y se ha convertido cada vez más relevante en los últimos años.

Las razones que llevaron al desarrollo y al éxito de estas técnicas residen en las propiedades y cualidades particulares de las enzimas. Cada enzima cataliza un solo tipo de reacción con una eficiencia extremadamente alta: la velocidad de una reacción catalizada puede ser mayor por un factor de  $10^5$ - $10^8$  en comparación con una reacción no catalizada: las enzimas también son extremadamente selectivas en el reconocimiento del sustrato, generalmente operan en condiciones blandas (pH y temperatura) y son amigables con el medio ambiente. Por lo tanto, la sustitución o el uso de un proceso químico tradicional (que puede incluir el uso de sustancias contaminantes) con un proceso enzimático puede reducir la cantidad de contaminantes empleados y liberados en el medio ambiente.

Este último aspecto, junto con la presión de las unidades de control para reemplazar los procesos convencionales con los nuevos con bajo impacto ambiental, esto es ecológicamente aceptables, ha orientado a la investigación textil hacia la obtención de productos y procesos basados en el uso de una amplia variedad de enzimas (proteasa, celulasa, lipasa, oxidasa).

Esto ha llevado a la industria textil en los últimos años a convertirse en uno de los principales campos de aplicación de la enzimología y ha estimulado la innovación en la bioquímica aplicada. La industria de la lana y los pelos de origen animal en general ven el estudio de las enzimas proteolíticas en diversos procesos tales como anti-fieltrantes, mejora de la decoloración y despigmentación, teñido a baja temperatura (15).

### 5.2.1. Uso de proteasas para conferir a la lana características anti-fieltrantes

El afieltrado de pelos animales se debe a un efecto de fricción diferencial de las fibras en respuesta a un movimiento raíz contra punta.

El afieltrado de un objeto de lana o pelo animal, pueden ser disminuido o anulado con los procesos de degradación que tienen por objeto reducir las células cuticulares sobresalientes a través de la oxidación con compuestos a base de cloro, adición de resinas o los procesos combinados de clorado y adición de resinas de poliamida.

Estos procesos son perjudiciales para el medio ambiente por producir sustancias tóxicas por lo que se está tratando de reemplazar con procesos de plasma o el uso de enzimas.

Las primeras pruebas de utilización de enzimas proteolíticas como subtilisina, sin embargo, han llevado a un daño inaceptable con roturas de las células corticales ya que las enzimas proteolíticas tienden a degradar la parte amorfa de las fibras, es decir, el cemento intercelular entre las células corticales.

Las posibles soluciones son el empleo de enzimas inmovilizadas sobre un sustrato, o también el aumento de las dimensiones de las enzimas de manera tal que estas no tengan el modo de entrar en el interior de las fibras y estén forzadas a actuar sobre la superficie.

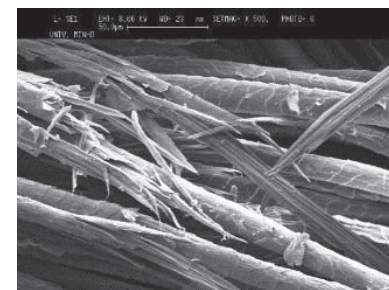


Ilustración 32. Fibras de lana dañadas por proteasas

La subtilisina de mayor impedimento estérico en tanto esta unida covalentemente a polietilenglicol, en contraste con la subtilisina tal cual es, hidroliza sólo la capa cuticular de la lana y esto ha sido confirmado por la liberación más baja en aminoácidos en el medio, desde la más alta tenacidad de las fibras y su menor tendencia a afieltrarse. Para ello, la producción de enzimas en difusión controlada podría ser una solución para un futuro tratamiento enzimático de fibras de lana y pelos animales, que debe ser una alternativa a los tratamientos convencionales con cloro (16).

### 5.2.2. Mejora de la despigmentación de las fibras animales lujosas con enzimas

La despigmentación es el proceso por el cual se destruyen los pigmentos de melanina que dan los colores de pelo marrón y rojizo a los animales y que no permiten que la fibra pueda ser teñida con colores brillantes o tonos pastel.

Si bien haya una tendencia creciente a utilizar algunas fibras de origen animal en su color natural, cuando es necesario eliminar el pigmento por lo general se lleva a cabo una etapa de ataque químico con un pH ácido en presencia de iones de hierro, seguido por una etapa de blanqueo a pH básico en presencia de un oxidante.

Una receta clásica de la despigmentación de laboratorio puede ser la siguiente:

**Etapa de ataque:**

- Relación de baño 1:50
- Sulfato ferroso 1% (w/v)
- Acido fosforoso 0.6% (w/v)
- 80 °C por 60 min
- Enjuague en frio a 20 °C por 20 min

**Etapa de blanqueo:**

- Peróxido de hidrogeno (solución al 30% w/w) 4%
- Pirofosfato de sodio 1% (w/v)
- Hasta un pH 9 con amoniaco
- 70 °C por 90 min

El proceso de despigmentación lleva a un elevado consumo de reactivos generalmente tóxicos y a un gran daño de las fibras con disminución de las propiedades mecánicas.

Una serina proteasa, una enzima que funciona a pH 9 y a temperaturas inferiores a 45 ° C, se ensayó para la despigmentación de cashmere con color rojizo. La proteasa de serina se introdujo en el baño de blanqueo que se mantuvo a 45 °C durante 20 minutos antes de elevar la temperatura a 70 °C durante la etapa de blanqueo.

Utilizando 2 GSU (unidad de actividad enzimática que se determina a través de una prueba apropiada y equivalente a mg de azo-caseína hidrolizado por minuto por gramo de producto) de la enzima se obtuvo un grado aceptable de blanqueo usando una cantidad más pequeña de peróxido de hidrógeno y dañando en menor medida las fibras. La proteasa actúa principalmente en el cemento intercelular amorfo, entre la estructura secundaria *hélice alfa* de las células corticales y, en una cantidad y durante un tiempo apropiado, es capaz de promover la penetración de los reactivos dentro de la fibra de origen animal (17).

PROCESO DE DESPIGMENTACIÓN	GRADO DE BLANQUEO (CIEW)	SOLUBILIDAD ALCALINA (%)	ACIDO CISTEICO (% del total)
Convencional	23	76	4,3
Con enzima (2 GSU)	23	75	3,6
Convencional (*)	5,3	72	3,7
Con enzima (2 GSU)	16	68	3

(\*) la cantidad de agua oxigenada ha sido reducida en un 30%

Tabla 3. Despigmentación convencional y favorecida por enzimas en fibras de cashmere en diferentes concentraciones de agua oxigenada

**5.2.3. Teñido de fibras animales asistido por enzimas**

Los tratamientos convencionales de teñido de las fibras animales requieren altas temperaturas (98 °C) durante largos períodos de tiempo, por lo que se tienen altos valores de consumo de energía y daños de las fibras. En un estudio reciente en teñido de lana asistido por enzimas se explota la capacidad de la enzima para debilitar el cemento intercelular que favorece la penetración de los colorantes en las fibras y permitiendo el teñido a temperaturas más bajas que 98 °C (18). Para el pretratamiento enzimático de las fibras se utilizó proteasa Multifect neutral, que funciona a pH 6-8, y a la temperatura de 40-60 °C, en una cantidad igual al 5% del peso del material.

Se ha dejado actuar a la enzima sobre un hilado de fibras de origen animal durante 20 min a 50 °C, antes de añadir el tinte, se elevó la temperatura a 85 °C y se tiñó hasta agotamiento del colorante.

El pretratamiento enzimático, combinado con el teñido a baja temperatura, alcanzó valores de agotamiento del colorante de un 90% similar a los obtenidos con un colorante clásico a 98 °C. Resultados de la solidez al lavado, solidez a la transpiración ácida y solidez al frotado han demostrado valores similares a los obtenidos con una tintura tradicional a 98 °C.

## 6. CONCLUSIONES

El presente cuaderno tecnológico ha considerado diversos aspectos de la ciencia y la tecnología relacionados a las fibras de lana y fibras lujosas en particular alpaca, llama, guanaco y vicuña.

Se discutieron temas relacionados con la estructura química y morfológica de pelos finos, y las técnicas utilizadas en el estudio para su identificación, especialmente los parámetros físicos y químicos (finura, longitud y color) que determinan su valor comercial.

También se han dado algunas orientaciones sobre la producción y exportación de fibras de camélidos y se desarrolló una sección sobre nuevas tecnologías (especialmente la tecnología de plasma y el uso de enzimas) para el tratamiento de fibras animales amigables con el medio ambiente.

De esta manera se trató de dar a los técnicos e investigadores de INTI Textiles (Centro de Investigaciones Textiles de Buenos Aires) una visión tecnológica científica general sobre las fibras especiales, especialmente camélidos, que seguramente aprovecharán a la mejora de estas fibras en vista del desarrollo de las actividades textiles locales relacionados con la artesanía y la industria.

## 7. REFERENCIAS

1. ASTM Method D 629-95, 'Standard Test Methods for Quantitative Analysis of Textiles', American Society for Testing and Materials, *Annual Book of ASTM Standards* 07.01 Textiles (1), 206-226 (1997).
2. AATCC – American Association of Textile Chemist and Colorists. Test Method 20A, 'Fiber Analysis: Quantitative', *AATCC Technical Manual* 65, 67 (1990).
3. Wildman AB The microscopy of animal fibres. Leeds: Wool Ind. Res. Assoc., 1954.
4. Tonin C., Bianchetto Songia M., Innocenti, R., Pozzo P.D., Zoccola. M. I camelidi sudamericani. Parte IV le caratteristiche chimico-fisiche e microscopiche delle fibre tessili, *Industria Laniera T&A* anno 1997 n 2 109-115.
5. Hamlyn, P.F., Nelson, G., and McCarthy, B.J. Wool Fibre Identification using Novel Species-Specific DNA Probes. *Journal of the Textile Institute* 1992, 83(1), 97-103.
6. Nelson, G., Hamlyn, P.F., and Holden, L. A Species-Specific DNA Probe for Goat Fibre Identification. *Textile Research Journal*, 1992, 62 (10), 590-595.
7. Tang, M., Zhang, W., Zhou, H., Fei, H., Yang, J., Lu, W., Zhang, S., Ye, S., Wang, X. A real-time PCR method for quantifying mixed cashmere and wool based on hair mitochondrial DNA *Textile research Journal*, 2014, 84 (15) 1612-1621.
8. Vineis, C., Aluigi, A., Tonin, C. Outstanding traits and thermal behaviour for the identification of speciality animal fibres, *Textile Research Journal*, 2011, 81(3) 264-272.
9. Zoccola, M., Lu, N., Mossotti, R., Innocenti, R., Montarsolo, A. Identification of wool, cashmere, yak, and angora rabbit fibers and quantitative determination of wool and cashmere in blend: a near infrared spectroscopy study, *Fibers and Polymers*, 2013, 14 (8), 1283-1289.
10. Paoletta S., Bencivenni, M., Lambertini, F., Prandi, B., Faccini, A., Tonetti, C., Vineis, C., Sforza, S. Identification and quantification of different species in animal fibres by LC/ESI-MS analysis, *J. Mass Spectrom.* 2013, 48, 919-926.
11. Marino, P., Cadena de valor de las fibras Camélicas TECNOINTI-Salta, Noviembre 2013.
12. Cardellino, R.C. and Mueller, J.P. Fibre production and sheep breeding in South America, *Proc. Assoc. Advmt. Anim. Breed. Genet.* 2009, 18, 366-373.
13. Calmieri C. N. Algunas consideraciones sobre el mercado de fibra de vicuña en la Argentina. *Demanda mundial, Revista de Divulgación Técnica Agrícola y Agroindustrial* 2011, 13 ISSN: 1852 -7086.
14. Tonin, C., Bianchetto Songia, M., Strobino, C., I camelidi sudamericani, Parte III: le caratteristiche merceologiche delle fibre tessili, *Industria Laniera T&A* 1997 (1) 17-22.
15. Tesi di laurea Cinetica ed equilibri in processi di tintura della lana coadiuvata da enzimi, candidato Mirco Giansetti, relatore Franco Ferrero, correlatori Riccardo Innocenti e Raffaella Mossotti, Politecnico di Torino, Facoltà di Ingegneria, Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Chimica, anno accademico 2007-2008.

16. Carla Silva, J.S.M., Prabakaran, M., Gubitz, G., Cavaco-Paulo, A., Treatment of wool fibres with subtilisin and subtilisin-PEG, *Enzyme and Microbial Technology* 2005, 36, 917–922.
17. Tesi di laurea Impiego di enzimi nei processi di candeggio e depigmentazione di fibre animali, candidata: Roberta Peila, relatore Franco Ferrero, correlatori Riccardo Innocenti e Claudio Tonin, Politecnico di Torino, Facoltà di Ingegneria, Corso di Laurea in Ingegneria Chimica, anno accademico 1998-1999.
18. Periolatto, M., Ferrero, F., Giansetti, M., Mossotti, R., Innocenti, R., Enzyme-aided wool dyeing with a neutral protease at reduced temperatures, *Engineering in Life Sciences, Special Issue: From systems biology to biosystems engineering*, 2010, 10 (5), 474-479.

## 8. FIGURAS

Ilustración 1. Estructura morfológica de las fibras de lana. Rupturas de las cuales sobresalen las células corticales.....	5
Ilustración 2. Principales fibras especiales animales.....	6
Ilustración 3. Lana (400x).....	8
Ilustración 4. Cashmere (200x).....	8
Ilustración 5. Pelo de camello (200x).....	8
Ilustración 6. Pelo de conejo de angora (200x).....	8
Ilustración 7. Fibra de alpaca (200x).....	9
Ilustración 8. Fibra de alpaca pigmentada (200x).....	9
Ilustración 9. Fibras de lana (SEM).....	12
Ilustración 10. Fibras de cachemira (SEM).....	12
Ilustración 11. Fibra de llama (SEM).....	12
Ilustración 12. Fibras de alpaca (SEM).....	12
Ilustración 13. Fibra de Vicuña (SEM).....	12
Ilustración 14. Fibra de Guanaco (SEM).....	12
Ilustración 15. Fibra de Vicuña (SEM).Medición del espesor en una cutícula.....	13
Ilustración 16. Gráfico DSC de fibras de lana.....	14
Ilustración 17. Gráfico DSC de fibras de mohair.....	15
Ilustración 18. Gráfico DSC de fibras de alpaca.....	16
Ilustración 19. Gráfico DSC de fibras de Llama.....	16
Ilustración 20. Gráfico DSC de fibras de guanaco.....	17
Ilustración 21. Gráfico DSC de fibras de vicuña.....	17
Ilustración 22. Espectros en el infrarrojo cercano de fibras de a) conejo de angora, b) cashmere blanco, c) lana d) cashmere pigmentado y e) yak pigmentado.....	18
Ilustración 23. Distribución por agrupamiento (cluster) de muestras de diferentes fibras de origen animal.....	19
Ilustración 24. Valor porcentual de cashmere en una mezcla lana-cashmere. Valores conocidos versus valores estimados mediante un análisis quimiométrico utilizando espectros NIR.....	19
Ilustración 25. Gránulos de pigmento (SEM).....	23
Ilustración 26. Paleta de colores para la fibra de alpaca.....	23
Ilustración 27. Población de camélidos en América del sur.....	24
Ilustración 28. Equipo de laboratorio de plasma al vacío.....	27
Ilustración 29. Cámara de reacción.....	28
Ilustración 30. Fibra de lana a) sin tratar b) y c) tratadas con plasma.....	29
Ilustración 31. Afieltramiento de la lana pre-tratada con plasma y tratada con resina, comparado al tratamiento cloro-Hercosett.....	29
Ilustración 32. Fibras de lana dañadas por proteasas.....	31





PROYECTO **MEJORA DE LAS ECONOMÍAS  
REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL**

FIBRAS PROTEICAS:  
**PELOS FINOS  
(CAMÉLIDOS Y CABRA).  
IDENTIFICACIÓN,  
CARACTERIZACIÓN,  
CLASIFICACIÓN Y  
ACONDICIONAMIENTO**



**INTI**



Unión Europea

Instituto Nacional de Tecnología Industrial  
Gerencia de Cooperación Económica e Institucional  
Avenida General Paz 5445 - Edificio 2 oficina 212  
Teléfono (54 11) 4724 6253 | 6490  
Fax (54 11) 4752 5919  
[www.ue-inti.gob.ar](http://www.ue-inti.gob.ar)



Presidencia  
de la Nación

Ministerio de  
Industria