

1. INTRODUCCIÓN

Gracias a su alta capacidad de adaptación a las rigurosas condiciones ambientales y a las elevadas altitudes que caracterizan la región Andina Boliviana las llamas convierten las pasturas de muy baja calidad en valiosos productos animales como estiércol (combustible y fertilizante), carne (proteína de alta calidad), fibra (ropa de abrigo), piel y cuero (accesorios de trabajo y uso doméstico). Adicionalmente las llamas son usadas tradicionalmente como animales de carga y juegan un importante papel en la vida cultural y espiritual del productor andino.

En el transcurso del tiempo las llamas, como otras especies nativas, han sido y siguen siendo desplazadas por otras especies o razas importadas de alto rendimiento (bovinos, ovinos, caprinos y ganado caballar) de su hábitat original a regiones marginales de pobres recursos naturales (tierra, agua, pasturas). Allí, además, poco o nada prosperan las actividades agrícolas y la cría de otros animales domésticos por lo que la explotación de este recurso juega un rol crucial en la economía familiar de los productores.

Los sistemas de producción en los Andes se caracterizan por los bajos niveles de producción. Gran parte de éstos son básicamente utilizados para el consumo familiar y tan sólo un pequeño porcentaje es comercializado, en su mayor parte en mercados locales por la falta de estructuras viales de acceso a otros mercados potenciales. En el caso de la fibra de llama su oferta es usualmente de pobre calidad y pequeño volumen, debido a los intervalos largos de crecimiento del vellón y a las esquilas irregulares. A esto se suma que la fibra no es seleccionada (al barrido) y contiene un alto grado de contaminación (tierra, excrementos, vegetales). Los bajos precios del mercado y sus fluctuaciones constantes, no justifican mayores inversiones ni dedicación por parte de los productores para mejorar la calidad de su producto pues los precios no contemplan esta variable (Velarde, 1993). Los bajos precios se deben, a su vez, a que la fibra de llama en la opinión popular es erróneamente categorizada como gruesa, cerdosa y apta sólo para la producción de tapetes y frazadas. En cambio, la alpaca es generalmente asociada con productos textiles finos y de alta calidad. Estas posiciones deben ser reconsideradas y con mucha cautela ya que las llamas poseen una doble capa en su cobertura pilosa con una capa gruesa externa y una excelente capa fina interna, llamada vellón. Este fino vellón podría ofrecer una promisoriosa posibilidad para los criadores de llama, como un producto comerciable de alto precio si se superaran los actuales obstáculos a la producción de la fibra de llamas en Bolivia, ya que en particular la calidad de fibra de poblaciones locales ofrece excelentes posibilidades para una explotación económicamente viable.

Gran parte de estos factores adversos se deben al desconocimiento del potencial genético de las poblaciones locales de llamas, la discontinuidad en la colección de los productos, las deficiencias en su transformación, la ausencia de un control de calidad adecuado y al total desconocimiento de las exigencias del mercado por parte de los productores.

Para la obtención de un producto competitivo que satisfaga las demandas del mercado y para que se desarrolle en éste, es necesario mejorar la calidad de la fibra en los caracteres de mayor interés e importancia económica. Esto sólo se podrá alcanzar a través de programas de cría y medidas de manejo óptimo. Los requisitos principales para establecer los programas de cría son: la evaluación detallada de los recursos animales para determinar el potencial genético de las poblaciones de llama, el conocimiento de los sistemas de

producción y de las estructuras de las organizaciones comunales como también de comercialización. Además, se deben considerar tanto la demanda de los productos y tendencias en el mercado como también las exigencias de calidad del mercado meta, especialmente las de la industria transformadora.

En este sentido, el objetivo de este trabajo comprende la caracterización de los recursos genéticos de diferentes poblaciones de llamas en Bolivia en relación con la calidad de la fibra y la identificación de sus atributos.

Considerando las posibilidades de su comercialización y las exigencias de calidad en el mercado, se deben establecer programas constructivos sobre la base de los existentes sistemas de producción y estructuras organizacionales comunales para el desarrollo consecuente de las poblaciones de llama. De esta manera, se contribuirá al aumento de los ingresos económicos de los productores y, a través de ello, a su bienestar. Otro aspecto a favorecer y asegurar corresponde a la conservación de este valioso recurso animal y de su diversidad mediante su uso sustentable, garantizando que esta producción se integre y desarrolle en los eslabones del ciclo comercial ofertando un producto con cabida en un mercado de alta calidad.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Fibras textiles de origen animal

Previo a la descripción de las fibras textiles de origen animal, se presenta una reseña sobre la definición y la clasificación general de las fibras textiles según su origen.

2.1.1 Definición y clasificación de las fibras textiles

Según las normas americanas (ASTM, 1986; D-123) las fibras textiles están definidas de la siguiente manera:

- (a) En forma general, el término fibra textil se emplea para nombrar varios tipos de materiales que forman el elemento básico de las fabricaciones textiles (prendas) o estructuras textiles.
- (b) Como término específico denomina la unidad de materia que está caracterizada por tener una longitud por lo mínimo de 100 veces más largo que su propio diámetro o finura y con la cual se puede producir hilos o producir prendas a través de entrecruzamientos realizados por diferentes métodos incluyendo el tejido, hilado, torsión y fieltro (felting).

El término filamento, en cambio, se refiere a una fibra con una longitud extrema. Otros parámetros de importancia de estas fibras o filamentos son: finura, elasticidad, absorción de la humedad, reacción al calor y a la luz solar, reacción a la aplicación de compuestos químicos durante el proceso de transformación y la resistencia a insectos y microorganismos (Encyclopedia Britannica, 2001).

Según la Norma D-2368-71 de la ASTM (1975) las fibras para uso textil se clasifican en dos grandes grupos: las fibras manufacturadas, llamadas también artificiales y sintéticas, y las fibras de origen natural.

Las fibras o filamentos manufacturados corresponden a los producidos por medios químicos ya sea de materia polimera orgánica (natural o sintética) o de materia inorgánica. Las fibras poliméricas orgánicas naturales tienen procedencia vegetal o animal. Entre las primeras se encuentran: los alginatos o seda de alginatos, producto de las sales metálicas de las algas marinas cafés; los acetatos primarios como secundarios, provenientes del acetato de celulosa; la viscosa rayón, que son celulosas regeneradas o reconstituidas ya que la celulosa se la transforma a su estado líquido y luego se la regenera en forma de filamento o comúnmente conocida como seda sintética; y por último, la fibra de zeína derivada de la proteína del maíz y los filamentos de látex que resultan de la goma. En el segundo grupo, de origen animal, se encuentran las fibras caseínicas que derivan de subproductos lácteos.

Las fibras poliméricas orgánicas sintéticas se subdividen a su vez en derivados de polímeros condensados y derivados de adición de polímeros. Entre los primeros se encuentran las poliamidas o nailon, los poliésteres y los poliuretanos. Los derivados de la adición de polímeros se subdividen en polihidrocarburos (polietileno, polipropileno y

poliesterina); esteres acrílicos sustituidos por los polihidrocarburos, como el acrílico o el anidex, y los halógenos como el polivinilo, vinilo y la fluorofibra. La fibra de vidrio, la fibra metálica y las fibras de silicato (SiO_2) se constituyen como las fibras manufacturadas de aplicación en la industria textil, procedentes de materia inorgánica.

Las fibras naturales se clasifican según su procedencia en tres diferentes grandes grupos: celulosas, proteínas y minerales. Las de origen vegetal o de celulosas están compuestas por fibras extraídas de tallos o vástagos (lino, cáñamo, yute, kenaf y ramio), de frutos (fibra de coco), de hojas (abacá, cántala, henequén y sisal) y de semillas (algodón y ceiba). Las fibras naturales se elaboran principalmente a partir de minerales como el asbesto y los amiantos. A continuación se ilustran las diferentes clasificaciones de las fibras derivadas de las proteínas o fibras de origen animal.

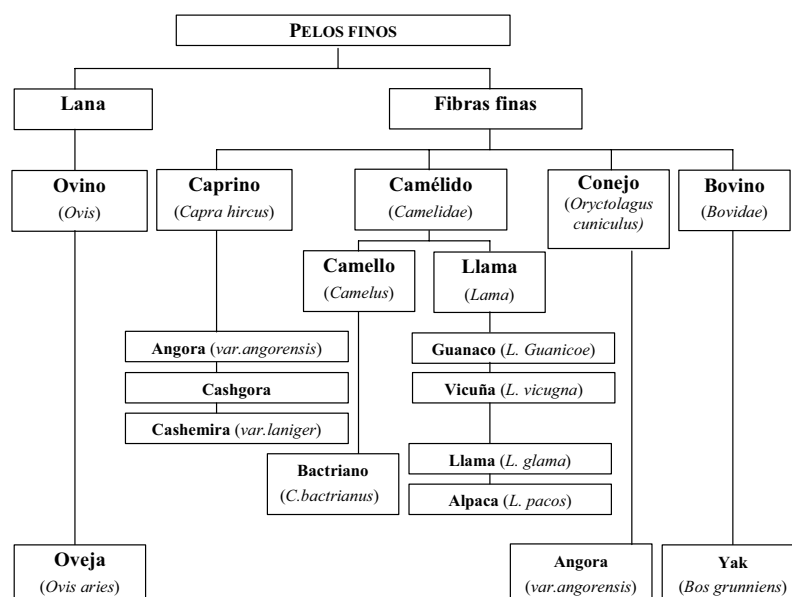
Fibras finas de origen animal

Las fibras de origen proteínico o animal se dividen en los grupos de filamentos y de pelos finos (véase diagrama 1).

La seda (filamento) es producida por las larvas de algunas lepidópteras nocturnas en su fase de metamorfosis a crisálida. Este filamento es segregado por la larva y con el cual construye su capullo. Hay dos tipos de mariposas productoras de seda una es la silvestre o Tussah a la que pertenecen las de origen chino (*Antheraea pernyi*), japonés (*Antheraea yamamai*) e hindú (*Antheraea milita*). En la otra variedad se encuentra la mariposa de la mora (*Bómbix mori*), denominada así por que sus gusanos o larvas se alimentan de las hojas de este árbol, mayormente de *Morus alba* y en menos proporción de *Morus nigra* (Zahn y col., 1994).

El grupo de los pelos finos a su vez se divide en dos ramas según su procedencia, volumen e importancia que le da el hombre. La primera es la de la lana y la otra de las fibras finas o comúnmente denominadas “**Fibras especiales o nobles**” (véase diagrama 1).

Diagrama 1: Fibras de origen animal



Por definición según el ISO 6938-1984 la lana está conformada sólo por fibras provenientes de razas de ovinos (*Ovis aries*).

Las fibras especiales o nobles se obtienen del pelo de cabras, de varios miembros de la familia camélida, del conejo y de los bovinos. El atractivo de la mayoría de estas cotizadas fibras dentro la industria textil se encuentra en su suavidad, lustre y fineza. Pero también se halla en el romanticismo y misterio de sus orígenes, pues los animales de los cuales éstas se obtienen habitan regiones remotas (laderas del Himalaya, desiertos de Mongolia o en la Cordillera de los Andes) con condiciones climáticas poco favorables, formando parte esencial de la vida económica, social y cultural de sus habitantes. Otro aspecto importante que refuerza este estatus de exclusividad es su escasez y, por ende, sus altos precios en relación con otras fibras de origen animal. Entre las características técnicas que las hacen diferentes a la lana se encuentran el menor diámetro, baja presencia de ondulación y menor espesor de las escamas cuticulares lo que redundará en un mayor lustre y suavidad.

2.1.2 Función y morfología de la fibra de origen animal

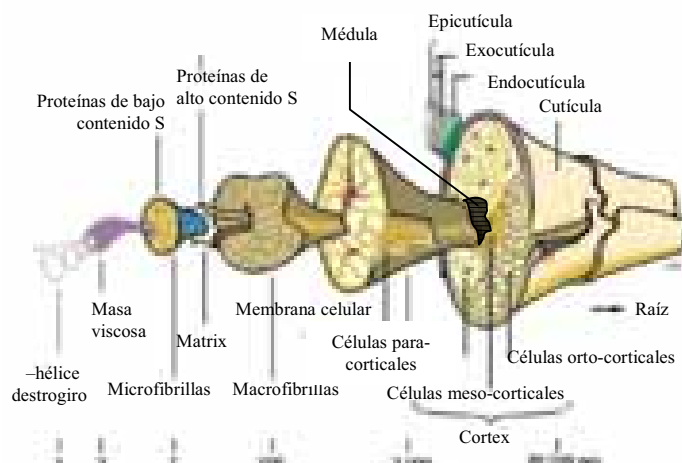
La cobertura pilífera de los mamíferos, la superficie de interacción entre el animal y el mundo exterior, cumple las funciones de protección del cuerpo contra las influencias mecánica y químico biológicas, de órgano sensor con el medio ambiente y la de termoregulación (Ryder, 1973). A mayor longitud de las fibras que componen el vellón, mayor es el volumen de aire capturado. Además, a mayor número de fibras, menor será el movimiento del aire. De estos dos factores depende la retención del calor (Westendorf, 1974). Ryder (1973) afirma que el factor más importante de esta capacidad de retención la constituye el desarrollo evolutivo de una capa interna en el vellón (undercoat) y la presencia de la médula en las cerdas (fibras gruesas) que tienen un efecto aislante. La protección contra las altas temperaturas o tolerancia al calor es posible gracias a la baja conductividad de calor de las fibras queratinizadas. Mientras que el tipo de vellón favorece la evaporación de la transpiración, que permite un enfriamiento en la superficie de la piel (Turner, 1962). Cuanto más erizadas y cortas sean las fibras, mayor será la circulación del aire en el vellón, y de esta manera, mejorará el intercambio de éste con el medioambiente. La capacidad del animal de protegerse de las inclemencias del frío, calor, viento, radiación solar y lluvias depende de la estructura de las fibras y del vellón en sí (Herrmann, 1994).

El cabello humano y las fibras de animales se forman dentro de folículos pilosos en la epidermis en cuya base se encuentran las papilas. El folículo es un órgano dinámico en el cual acontece simultáneamente la división y diferenciación de las células que formarán la fibra. Esto sucede mediante la biosíntesis de proteínas monoméricas a través de genes, que origina el movimiento ascendente de los queratinocitos, el autoensamblaje de proteínas en forma de estructuras moleculares y finalmente su cornificación o queratinización a través de la formación de enlaces con puentes disulfidos (Zahn y col., 1991).

La morfología de la estructura interna de una fibra queratínica se presenta en la figura 1. Este tipo de fibras está compuesto por tres prototipos de células: las que cubren la fibra en forma de capas celulares escamosas o cutícula, las que se encuentran debajo de ésta conformando el cuerpo de la fibra o corteza, y las células medulares, en caso de existir una médula formando un canal en el eje central de la fibra. La **cutícula**, que es la capa exterior de la fibra, está compuesta por células epiteliales planas, las cuales longitudinal y

periféricamente se superponen entre sí en forma de escamas cuyos cantos o extremos se dirigen a la punta de la fibra (Zahn y col., 1996). El espesor de la cutícula varía, según el tipo de la fibra, entre $0.4\mu\text{m}$ (fibras especiales) y $1\mu\text{m}$ (lana) y el largo varía entre 30 y $60\mu\text{m}$. Cada célula cuticular está compuesta por tres estratos: exocutícula, rica en azufre; endocutícula, pobre en azufre; y la epicutícula, capa que cubre la cutícula con una membrana dura y resistente compuesta de ácidos grasos. Entre las células superpuestas se encuentra además un complejo membranocelular. La cutícula protege a la fibra de los posibles daños mecánicos e influencias de los cambios climáticos. El modelo, forma y distribución de las escamas cuticulares varían entre los tipos de fibras dentro y entre las especies. Según Phan (1994) la altura de los cantos, la forma y la frecuencia media de las escamas en la cutícula son muy específicas para algunas especies y se las puede distinguir claramente usando el microscopio electrónico.

Figura 1: Morfología de la fibra de origen animal



Fuente: Modificado de Marshall y col., 1991

El componente mayor de la fibra es la **corteza** formada por células corticales alargadas y largas dispuesta en forma paralela al eje de la fibra. Estas fibras son producidas por las células basales de la papila, éstas tienen un tamaño variable y se alinean como cigarrillos, con rangos que oscilan entre los 80 a $100\mu\text{m}$ de largo y 3 a $5\mu\text{m}$ de ancho en la parte media (Botkin y col., 1988). Cada célula cortical está compuesta por varias macrofibrillas, quienes durante la queratinización son cementadas con un material intermacrofibrilar. Las macrofibrillas, a su vez, están compuestas de finas microfibrillas (filamentos intermediarios). Un complejo membranocelular de un espesor aproximado de 25nm envuelve las células corticales (Zahn y col., 1991). En la corteza existen diferentes tipos de células: ortocortex, paracortex y, en muy pocos casos, mesocortex. En las fibras con alta ondulación, como el merino, las células ortocorticales, más suaves y con un contenido más bajo de ligamientos disulfidos (cistina) que las paracorticales, tienden a ubicarse en su parte exterior, donde se forma la ondulación de la fibra, mientras estas últimas se encuentran a lo largo de la parte interna y, gracias a su alto contenido de cistina, cuando hay humedad tienden a ensancharse más que las células ortocortex, haciendo más notable las ondulaciones en la fibra. La proporción de estos dos tipos de células corticales es la responsable directa de la formación de las ondulaciones (Botkin y col., 1988; Leeder y col., 1998).

Los **pigmentos** son componentes que se encuentran en la corteza determinando el color natural de las fibras. Los colores se desprenden de la acumulación de dos tipos de melanina: la eumelanina y la feomelanina, ambas presentes en forma de granulas elipsoidales con un largo de 0.8 hasta 1.0 μm y un ancho de 0.3 hasta 0.4 μm . Por lo general éstas se encuentran entre las macrofibrillas de la corteza y ocasionalmente en la endocutícula. En general los colores naturales presentan ambos tipos de melaninas pero en diferentes composiciones y concentraciones. Mientras la eumelanina produce tonos desde café hasta negro, las fibras rubias y rojizas se deben a la presencia de feomelanina. En las fibras negras las granulas de melanina son duras y tienen una alta densidad de 1.7g/cc (Zahn, 1989).

La **médula**, constituida por células vacías (vacuolas) con esqueletos de proteínas amorfas y filamentos finos, es un canal que se ubica a lo largo del eje central de la fibra (Zahn y col., 1996). Su conformación tiene origen en la papila de ciertos folículos primarios. Puede encontrarse continua o fragmentada ocupando variadas proporciones del centro de la fibra. Su presencia es común en las fibras gruesas (Botkin y col., 1988).

2.1.3 Estructura del grupo folicular en la piel

Durante el período fetal del animal se determina tanto el desarrollo, como la estructura definitiva de los folículos pilosos y sus glándulas asociadas. La estructura de los folículos establecen las propiedades de las fibras que se producirán, las cuales a su vez le dan al vellón su estructura individual. Existen dos tipos de folículos pilosos conocidos como primarios y secundarios. Carter, (1943) (citado por Ryder y Stephenson, 1968) la unidad básica en una población folicular la conforman un grupo de tres folículos primarios (grupo trí), cuyo desarrollo empieza con la formación de un folículo central solitario primario a la edad de 60 días de vida fetal del animal, seguido a los 10 días, con la aparición de los otros dos folículos primarios ubicados a los lados del central. A la edad fetal de 3 meses culmina el inicio de la formación de los folículos primarios que ya se encuentran asociados tanto a las glándulas sebáceas y sudoríparas como al músculo erector, como se puede ver en la figura 2 idealizada del grupo folicular en la piel.

Las fibras formadas del folículo central primario con un diámetro mayor a 70 μm , llamadas kemp, son más gruesas en el vellón y, debido a su corto período de crecimiento, sólo unos meses antes de la muda, son cortas en longitud y terminan en punta. Generalmente estas fibras no presentan ondulaciones (Bergen von, 1963; Ryder, 1973). La característica principal del kemp es que presenta una amplia, continua y reticulada médula que ocupa más del 60% del ancho total de la fibra (ASTM D 2968-75, 1976), de tal manera que la corteza forma un anillo alrededor de ésta.

Las fibras heterotípicas se forman en los folículos primarios laterales, que presentan un diámetro muy variable (promedio 50 μm) y su médula varía de angosta, fragmentada y discontinua a continua y ancha, aunque es menor que la de las fibras kemp, presentando cierta ondulación. Las fibras heterotípicas se caracterizan por tener una muda mucho menos frecuente que los kemp, presentando así un crecimiento más continuo y, por ende, formando fibras más largas.