

Procesamiento de Imágenes Muestrales de Fibra Textil de Origen Animal

Marcelo Arcidiacono¹, Leticia Constable¹, Juan Carlos Vázquez¹

¹Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información, Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional, Maestro López esq. Cruz Roja Argentina, Córdoba. {marceloarcidiacono, leticiaconstable, jcvazquez}@gmail.com

Resumen. En el marco de la sustentabilidad productiva de fibra textil de origen animal, contar con un método ágil y seguro que permita obtener una medida de la calidad de la fibra, resulta sumamente valioso para los productores rurales. Una medida de calidad de la fibra textil puede obtenerse a partir del diámetro de la misma. El laboratorio del SUPPRAD lleva a cabo un procedimiento científico innovador en la obtención de este valor en la que se recoge un corte transversal del mechón en un portaobjetos, para ser fotografiado con equipo adosado a un microscopio. La imagen obtenida es manualmente procesada para determinar el diámetro promedio de fibra. Este procedimiento manual de medición, resulta lento, engorroso e introduce error por intervención humana. Se automatiza el procedimiento por medio de un software de procesamiento de imágenes. Se comentan los resultados obtenidos y se presentan las previsiones para la continuación de este trabajo.

Palabras Clave: Fibra textil, Calidad, Imágenes, Procesamiento Automático.

1 Introducción

La identificación y caracterización de pelos y fibras de origen animal (incluido el humano) o vegetal, adquiere una importancia relevante, por ejemplo, en la tipificación de la dieta en humanos y animales depredadores, en la confección de inventarios faunísticos [1], en la clasificación y en la estimación de abundancia de especies [2], en criminología [3], en la industria peletera [4] y por supuesto en el análisis y estudio de las fibras con propiedades y usos textiles industriales [5] e inclusive artesanales.

Más de un millón de pequeños productores de los Andes centrales de Sudamérica tienen alpacas y llamas como principal medio de subsistencia. Los animales proveen carne, leche, fibra, energía de transporte y guano y, además, constituyen un elemento importante de la identidad cultural de sus pueblos. Poblaciones específicas de estos camélidos califican para ser capturadas, esquiladas y liberadas generando un ingreso adicional a las comunidades en que viven. El aumento de la producción de fibras y demás productos de camélidos sudamericanos, a la vez de preservar un recurso genético animal crítico y los valores culturales asociados y mejorar la calidad de vida de muchos pequeños productores, debe ser parte de una estrategia global de inversión sostenida en investigación y desarrollo apropiados.

El Programa SUPPRAD de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Católica de Córdoba, vinculado con instituciones y cooperativas agrícolas y ganaderas, tanto nacionales como internacionales [6], lleva adelante proyectos para identificar objetivos de mejoramiento de las cualidades de

sustentabilidad para la producción de pequeños rumiantes y camélidos en áreas desfavorecidas.

El proyecto de investigación RNA-SU del Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Córdoba, colabora con SUPPRAD en su objetivo de acercar la tecnología a productores de áreas desfavorecidas, desarrollando un software para medir la calidad de la fibra textil de origen animal. Esta herramienta se confecciona, sin descuidar la situación económico-cultural del usuario y atendiendo las exigencias de exactitud y precisión.

2 **Ámbito del problema**

En la República Argentina, el Programa Nacional “Fibras Animales” considera de gran valor la producción, comercialización e industrialización de lana, mohair, cashmere, llama, guanaco y vicuña [7].

La lana es producida por las razas de ovinos que hay en el país, el mohair es producido por los caprinos de raza Angora, el cashmere es producido por algunos genotipos de caprinos criollos y las fibras de llama, guanaco y vicuña, son producidas por estos respectivos camélidos sudamericanos.

El comercio internacional de fibras sufre pocas regulaciones y básicamente responde a la oferta y demanda.

Argentina históricamente ha sido muy competitiva en el mercado mundial de lanas, siendo actualmente el cuarto exportador mundial [7]. La competitividad se basa en el volumen que ofrece el país, el bajo costo de producción y la alta calidad. Los bajos costos de producción se deben a la localización de la producción en ambientes de pastizales naturales y manejo extensivo con bajo nivel de insumos.

La calidad de las lanas más finas patagónicas se centra en un muy buen grado de blanco y brillo, pureza, bajos niveles de contaminación vegetal y buena suavidad.

Para el caso del mohair, Argentina es el segundo productor mundial [7], esta fibra tiene buen mercado y se produce en forma competitiva con estándares de calidad, volumen predecible y adecuada descripción.

Para el caso de las fibras de los camélidos silvestres el país tiene grandes oportunidades considerando que es primero en población de guanacos y segundo en vicuñas. En zonas más desfavorecidas, con 3,9 millones de llamas y 3,3 millones de alpacas, la producción total de fibras de camélidos supera los 5 millones de kilogramos anuales. Cerca del 30% de la producción de fibra se transforma y es usada a nivel de predio o comunidad. Alrededor del 80% de la alpaca comercializada es de color blanco y tan sólo el 12% tiene diámetros de fibra menores a los 23 micrones [6].

El valor de la fibra textil está dado, fundamentalmente, por su finura promedio además de otras propiedades que hacen a establecer su cotización tales como el índice de confort PF (*Prickle Factor*) que constituye el porcentaje de fibras con diámetros mayores a 32 micrones, la presencia o ausencia de medulación¹, el crimpado² y la

¹ La medulación constituye un canal hueco en el centro de la fibra que supone un problema importante para la industrialización, especialmente en el teñido, porque causa una mayor refracción de la luz haciendo aparecer a las fibras teñidas más claras.

forma y altura de las escamas [8]. Para determinar una medida satisfactoria de calidad de la fibra textil de origen animal, además de tener en cuenta defectos obvios como la pigmentación y la presencia de fibras atípicas o meduladas [9], la característica de mayor importancia es el diámetro medio. Fibras más finas tienen más aplicaciones industriales y en consecuencia tienen mayor valor económico [10].

3 Descripción del problema

Uno de los problemas más importantes que se presenta, en el mercado textil, es poder determinar la distribución del diámetro y la forma de la fibra como parámetro de calidad [11], además de otros factores. En nuestro país existe poca información aún sobre los valores de Coeficiente de Variación de diámetros de fibra (CV) e índice de confort [12] que permita lograr mejoras genéticas por selección y elevar el porcentaje de especímenes con diámetros menores a los 23 micrones.

La evolución de la adopción tecnológica es lenta en los sistemas ganaderos extensivos. Los principales avances esperables a mediano plazo son la especialización y la intensificación de la producción que incluye el uso de nuevas tecnologías y métodos de comercialización más sofisticados. Estos avances se basan en el uso de tecnologías de información y comunicación (TICs) para mejorar la información y capacitación de todos los actores de la cadena. En particular se espera que la comercialización de fibras y de animales progresivamente se base en evaluaciones objetivas y que esa información, junto a la de mercado esté al alcance del productor.

Desde el punto de vista técnico, en la actualidad, se aplica el uso de microscopios de proyección conocidos como *lanómetros* [12] para medir los diámetros de un número determinado de fibras, y a partir de éstos calcular el promedio de diámetros de fibra (PDF) de la muestra analizada, limita su utilización a un número grande de muestras y a una mayor proporción de fibras por muestra.

El desarrollo del *Air Flow* [13] como instrumento de medición rápido y preciso, constituyó un avance importante para generalizar el análisis de muestras de vellones individuales. Con *Air Flow* se obtiene el PDF de la muestra, como resultado de un gran número de fibras, pero nada informa este instrumento de la frecuencia de los distintos diámetros presentes en la muestra [12].

En los últimos años se ha extendido el uso de nuevos instrumentos de determinación de diámetro de fibras como OFDA® (*Optical Fiber Distribution Analyser*) [14] basado en un analizador de imágenes de muestras de fibra y *Sirolan Laserscan*® [15], un lector de fibras por rayos laser. Ambos instrumentos miden en forma rápida y precisa los diámetros de una gran cantidad de fibras, y a través de programas de computación apropiados, grafican la distribución de frecuencia de los diámetros medidos calculando el diámetro promedio. Las muestras utilizadas en estos procesos de medición, se basan en cortes de vellón de aproximadamente 2 mm de longitud y la medida se obtiene a partir de la captura de diámetros longitudinales.

Investigaciones biomecánicas más recientes, demuestran que el análisis del corte transversal provee mediciones más directas y exactas de la finura y madurez de la

² El crimpado u ondulado, se refiere a un efecto mecánico producido justamente para lograr cohesión entre fibras iguales. Este factor se relaciona con la capacidad hidrófuga (absorción de humedad) de la fibra.

fibra, usualmente utilizadas para validar y calibrar otras medidas indirectas de estas propiedades esenciales [11]. A pesar de su importancia e interés, los métodos transversales para análisis de imágenes, no se aplican más ampliamente aún a las mediciones de calidad, debido al complejo procesamiento de las imágenes que se obtienen en laboratorio por microscopía de escaneo electrónico (SEM) o por requerir de la intervención de un operador calificado que efectúe manualmente la selección de los diámetros a medir, si se emplea un software como SigmaScan Pro 5.0 para procesar la imagen del corte transversal de la fibra, lo que introduce un considerable error en las mediciones y acarrea la indeseable característica de ser irreplicable.

Sin embargo, la caracterización del corte transversal de la fibra textil atrae considerable interés, ya que el tamaño y forma de las mismas tienen un impacto importante en las propiedades físicas y mecánicas de la fibra [16] cuyas aplicaciones industriales son directas.

En cada medida se tiene que tener en cuenta que dada la gran variación de diámetros que tienen las fibras animales diversas e incluso las vegetales, un gran problema es la exactitud y la precisión. Este es un concepto físico y estadístico respectivamente. Siendo la exactitud la relación entre la medida que hace el aparato y la verdadera medida (en grado de definición en el caso de los microscopios) y la precisión, la repetición, o sea, la relación entre las sucesivas secciones de medida que se pueden hacer (es decir, cómo las medias o promedios de las sucesivas medidas se acercan a las obtenidas previamente). Estadísticamente se determinan también el desvío estándar y el coeficiente de variación de diámetro de las fibras medidas en cada sección [17].

La evolución en los modelos y algoritmos de procesamiento de imágenes en fibras textiles, comienzan con algunos trabajos sobre fibras de algodón que demuestran que las propiedades más relevantes pueden medirse a partir de imágenes microscópicas capturadas en cortes longitudinales y/o transversales. Huang et al. [18] [19] [20] [21] analiza el proceso de medición en el que la imagen de una fibra en corte longitudinal.

En trabajos posteriores, Huang et al. [22] analiza imágenes de fibras de algodón en corte transversal. Mediante este análisis, se aseguran mediciones directas y exactas de la finura y madurez de la fibra. Este método de medición se utiliza, además, como medio de calibración de otros métodos. Para llevar a cabo la medición se recurre a un proceso computacional de segmentación que consiste en la separación de la imagen objeto del resto de los objetos y del fondo. Se utiliza también la técnica de Umbral Adaptativo para preservar el detalle de los bordes y luego, para separar en una primera aproximación los objetos del fondo, se recurre a la técnica de Inundación de Fondo. Finalmente, se implementa un proceso de esqueletizado de la fibra para determinar un punto referencial a partir del cual puedan obtenerse medidas geométricas.

4 Propuesta desarrollada

Como ya se dijo, en nuestro país se tiene poca información sobre valores habituales de coeficiente de variación de diámetro de la fibra y factor de picazón. En ese contexto aparece la necesidad de desarrollar técnicas que permitan medir con la mayor precisión y al menor costo posible, el diámetro promedio de fibra textil para el

análisis y aplicación de metodologías de mejoramiento genético, usos comerciales e industriales.

4.1 Objetivos

La propuesta consiste en el desarrollo de un sistema que permita procesar una imagen del corte transversal de fibra textil de origen animal y proporcione una medida promedio del diámetro de las fibras. El presente trabajo intenta contribuir en el proceso de obtención de medidas de diámetros de fibra confiables, para soportar indicadores de calidad de la fibra. Además, pretende constituirse en una herramienta útil y accesible que dará respaldo a las investigaciones científicas que el SUPPRAD lleva adelante para intervenir en proyectos de Desarrollo y Promoción Humana, y así conducir planes y formular recomendaciones viables para evitar la degradación de los recursos naturales y soslayar problemas de pobreza, marginalidad, emigración y desarraigo entre otros. Finalmente, proporcionar una solución adecuada que permita difundir las cualidades de sustentabilidad para avalar comercialmente los productos textiles de la región.

El aporte fundamental en cuanto a innovación tecnológica radica en el hecho de que los instrumentos actuales de análisis de fibras son costosos y permiten obtener la medida de diámetros en forma longitudinal. En cambio, en el presente trabajo se propone un llevar a cabo un proceso de medición de diámetros en forma transversal con hardware y software de bajos costos, en forma totalmente automatizada y eficaz, mediante el uso combinado de técnicas de procesamiento de imágenes y que puede ser llevada a cabo por personal sin capacitación técnica alguna.

4.2 Descripción

En base a las investigaciones previamente citadas, se desarrolla un sistema que permite obtener una medida del radio promedio de la fibra, a partir del procesamiento automático de la imagen de un corte transversal.

El proceso supone varias etapas en el tratamiento de la imagen para lograr identificar, separar y posteriormente medir la fibra.

Inicialmente, se analizaron las estructuras de diferentes estándares gráficos y se eligió el estándar BMP que consiste en un archivo de mapa de bits con píxeles almacenados en forma de tabla de puntos que administra los colores como colores reales, o bien, usando una paleta indexada. Una de las ventajas de este formato gráfico es que permite obtener un mapa de bits independiente del dispositivo de visualización periférico. Las imágenes se codificaron en 24 bits por píxel, es decir, un byte para cada píxel (16.777.216 colores), color verdadero de alta definición, que se consideró un estándar de fácil manejo desde el punto de vista matemático y de procesamiento y que puede contener la mayor cantidad de información de interés respecto de la imagen original (el uso de 32 bits x píxel sólo agrega efectos de transparencia).

Una vez que la imagen es convertida al formato BMP 24 colores, se la somete a una serie de procesos con el fin de subsanar los defectos que puedan provenir de su captura y para conservar sólo aquellas características que resulten de interés en el proceso de medición:

- a) Se convierte la imagen en colores a escala de grises asignando un mismo valor para los bits correspondientes a RGB mediante la aplicación de la expresión obtenida experimentalmente:

$$Y = \text{valor } R * 0.299 + \text{valor } G * 0.599 + \text{valor } B * 0.111$$

Esta expresión se relaciona con la luminancia. La CIE (Comisión Internacional de Iluminación) define la brillantez como el atributo de una sensación visual de acuerdo con el cual un área parece mostrar más o menos luz, siendo la brillantez una cantidad subjetiva, la luminancia “Y” se considera una forma objetiva de medir la cantidad relacionada con el brillo. Se trata de una función de transferencia no-lineal denominada corrección gamma. En sistemas gráficos por computadora “Y” es un parámetro numérico que describe la no linealidad de la reproducción de la intensidad, esta codificación maximiza la imagen perceptual.

Por otro lado, al representar un conjunto de colores en tonos de gris, necesitamos manipular sólo 256 valores diferentes.

- b) Se ecualiza la imagen construyendo un histograma de frecuencias de grises y se calcula el umbral de binarización, tomando en consideración el tipo de histograma que, en general, resulta asimétrico por dificultades de exposición y foco al momento de la captura, para obtener una imagen con un histograma de distribución más uniforme [22].
- c) Se procede a binarizar la imagen en sus valores extremos, tomando como punto binarización el umbral calculado. Con esto se obtiene una imagen en blanco y negro donde se puede distinguir más claramente forma y fondo.

La figura 1 ilustra la anterior secuencia de pasos aplicados al procesamiento de la imagen de un corte transversal de fibra de guanaco y los resultados obtenidos.

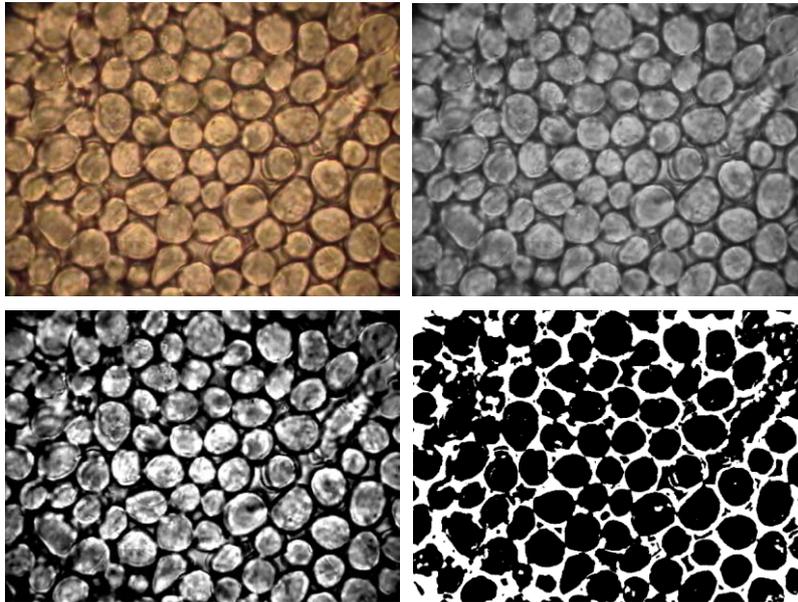


Fig. 1. Imagen superior izquierda: original. Imagen superior derecha: en escala de grises. Imagen inferior izquierda: escala de grises ecualizada. Imagen inferior derecha: binarizada.

Una vez binarizada la imagen, se procede a separar, identificar los objetos a medir.

Para ello se ensayaron varios procedimientos tales como aplicar una convolución de matrices a la imagen según los métodos de Sobel y de Prewitt para detectar bordes.

$$\begin{bmatrix} +1 & +2 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} +1 & 0 & -1 \\ +2 & 0 & -2 \\ +1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +1 & +1 \end{bmatrix}$$

Matrices de Sobel

Matrices de Prewitt

Como puede verse en la figura 2, este procedimiento no presenta utilidad por obtenerse una imagen en la que no se distingue forma y fondo.

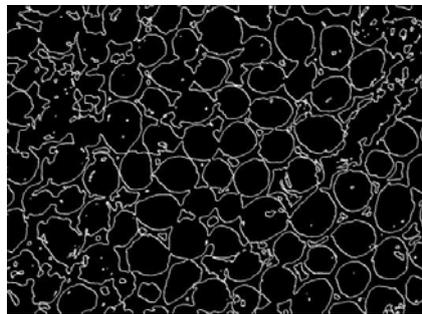


Fig. 2. Resultado de aplicar detección de bordes usando matrices de convolución.

Se ensayó también un método de adelgazamiento-engrosamiento consistente en inicialmente quitar sucesivas capas a los objetos, de manera tal que los objetos más pequeños (que no serán considerados para la medición y que resultan en “ruido” de la imagen binarizada) sean eliminados. Luego se agregan nuevamente las capas como se ilustra en la figura 3.

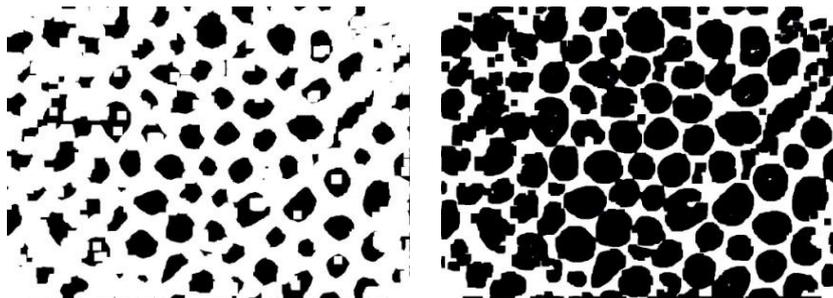


Fig. 3. Imágenes resultantes de aplicar adelgazamiento-engrosamiento

Este método barre el fondo limpiando “el ruido” y se acerca en cierto grado a la separación de objetos, pero presenta la característica indeseable de que se puede perder la forma original del objeto ya que no “guarda memoria” de la forma original.

Por último se ensayó un método de erosión-recuperación, similar al anterior, que presenta la ventaja de conservar la forma original de los objetos porque no elimina las

capas originales y, en cada paso sucesivo, se aproxima al centro geométrico de cada objeto. No obstante, tal como podemos observar en la figura 4, no contribuye a la separación de los objetos de interés ni elimina el ruido de fondo.

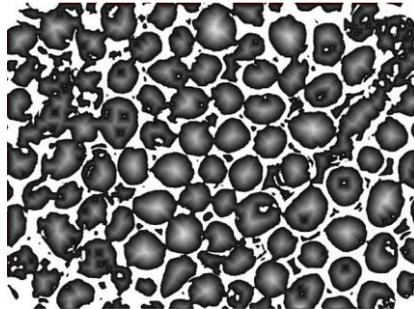


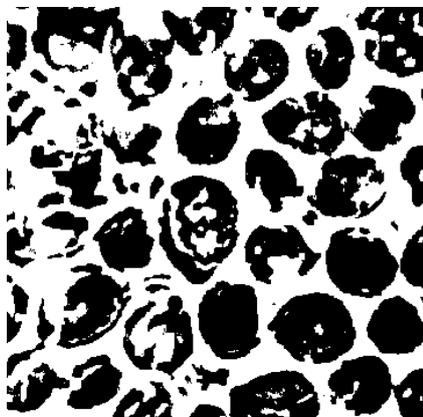
Fig. 4. Imagen resultante de aplicar erosión-recuperación.

Finalmente se implementó una solución que combina algunas de las ideas anteriores con otras nuevas y que proporciona un resultado adecuado. Se aplica un proceso sucesivo de erosión sobre la imagen al mismo tiempo que se conserva en una matriz $m \times n$ del tamaño en píxeles de la imagen original, la información correspondiente a cada nivel de erosión. Los objetos que en este proceso de erosión corresponden a un “adelgazamiento” total en un número de pasos pre-establecido experimentalmente, se rechazan considerándose “ruido” en la imagen. Aquellos objetos cuyo nivel de “adelgazamiento” supera el valor pre-establecido, se consideran de interés y pueden ser recuperados a partir de la información guardada en la matriz de información correspondiente.

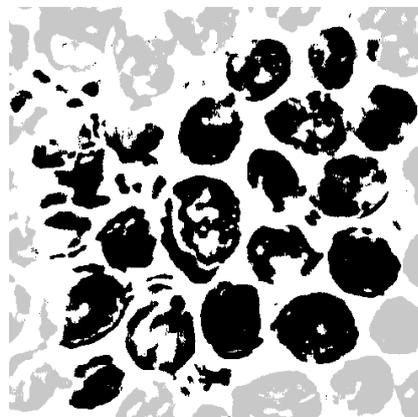
En consecuencia, el proceso completo consiste en sucesivos barridos de la imagen binarizada, en cada uno de los cuales, se descartan primeramente las fibras que se encuentren en contacto con los bordes de la imagen ya que se desconocen sus dimensiones reales, se distingue entre fondo y forma, se rellenan sectores interiores (sólo aquellos sectores que corresponden a componentes conexas y que son interiores al objeto), se seleccionan los objetos a medir tomando en consideración que todo aquello que presente interés en ser medido, no debe exceder ciertos rangos máximo y mínimo entre los cuales puede tratarse de una fibra. Cabe destacar que los valores máximos y mínimos son proporcionados por el laboratorio y corresponden a tamaños esperados en la fibra animal. Por tratarse de fibras naturales, existe un rango apreciable y bastante conocido dentro del cual, el objeto presentado, puede ser considerado o no una fibra.

Por último, se identifica un centro geométrico de dichos objetos tomando como referencia el píxel más “profundo” obtenido en el proceso de erosión-recuperación usado anteriormente y, a partir de éste, se miden 32 radios como distancia a los bordes de la figura. Se calcula el radio promedio y se aproxima la figura a una circunferencia. La aproximación a una circunferencia se debe a que las fibras naturales tienen una geometría muy simple y a los fines prácticos de determinación de calidad esta aproximación es válida y estándar.

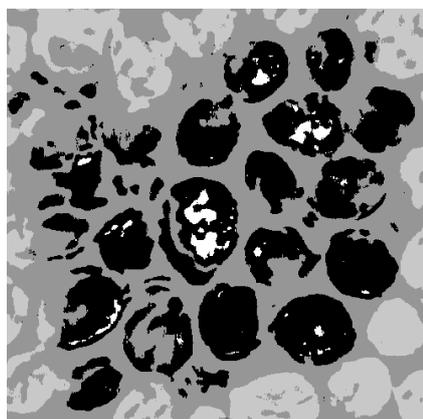
La figura 5 muestra una secuencia de imágenes que ilustran los pasos del proceso detallado en el párrafo anterior.



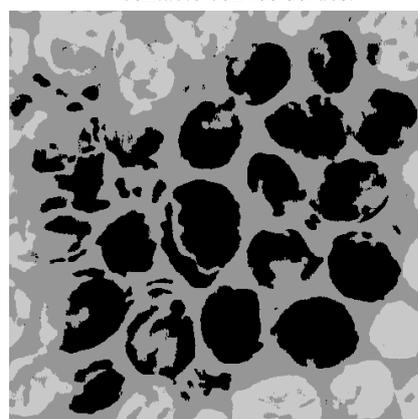
Paso 1. Imagen binarizada.



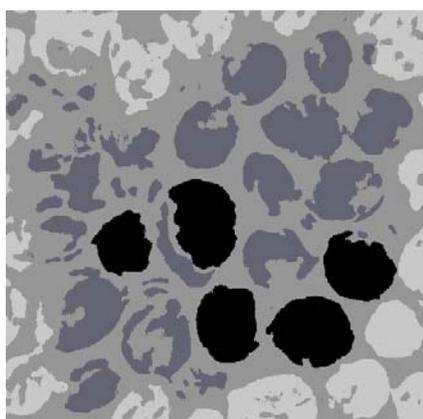
Paso 2. Eliminación de objetos en contacto con los bordes.



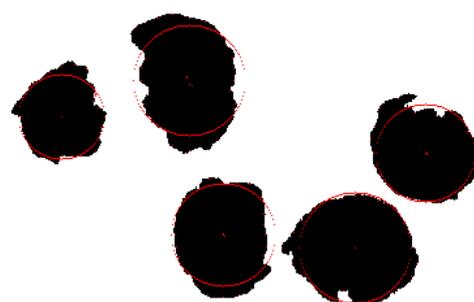
Paso 3. Separación fondo – figura



Paso 4. Relleno de blancos internos.



Paso 5. Selección de objetos útiles a medir.



Paso 6. Determinación del centro geométrico y radios promedio.

Fig. 5. Etapas del proceso automatizado de solución.

4 Discusión de Resultados

El método resultó satisfactorio principalmente porque las mediciones que se obtuvieron en píxeles, con la equivalencia 2 píxeles = 1 micra de acuerdo al aumento del microscopio con el que se capturaron las imágenes, resultaron en valores adecuados para el radio promedio de las fibras, en comparación con los obtenidos a partir de otros métodos de medición en laboratorio y existe total independencia del operador en la medición lo que asegura la precisión y exactitud requeridas. Es decir que el proceso es repetible y su exactitud conocida.

Por otra parte, como ya se dijo, se usan 32 medidas de distancia del centro geométrico de cada objeto a medir para calcular el radio de la fibra ya que experimentalmente se prueba que no se presentan mejoras tangibles en las medidas por aumentar este número.

5 Conclusiones

Por último, y atendiendo la problemática a campo que presenta la determinación de la calidad de la fibra a partir del conocimiento de su finura, el método es útil por cuanto presenta características de buena performance, bajo costo de equipamiento y no requiere operación por parte de personal calificado.

Por último, cabe destacar que el software fue desarrollado en Java lo que lo hace portable en cuanto a la plataforma y no involucra costos adicionales en licencias.

6 Trabajo Futuro

En adelante se deben centrar los esfuerzos en la evolución del sistema metrológico atendiendo tres factores principales:

- Revisión de la metodología de captura de imágenes.
- Adecuación de los algoritmos al tratamiento de fibras con otras características morfológicas.
- Reconocimiento de patrones morfológicos a través de redes neuronales.

7 Agradecimientos

Agradecemos al Dr. Eduardo Frank por la generosidad con que nos brindó su tiempo y su conocimiento, que sirvieron de guía en nuestro trabajo.

Referencias

1. Chehébar, C. y Martín S., 1989. Guía para el reconocimiento microscópico de los pelos de los mamíferos de la Patagonia.
2. Lindenmayer, D., Incoll, R., Cunningham, R. Pope, M. Donnelly, C. McGregor, C., Tribolet, C. y Triggs B., 1999. Comparison of hairtube types for the detection of mammals. *Wildlife Research*, 26: 745-753.
3. Hausman, L., 1925. A comparative racial study of the structural elements of Human head-hair. *The American Naturalist*, 59 (665): 529-538.
4. Hausman, L., 1920. The microscopic identification of commercial fur hairs. *The scientific Monthly*, 10 (1): 70-78.

5. Ford, J. y Roff, W., 1954. Identification of Textile and Related Fibres. *J. Textile Inst.*, 45: 580-611.
6. Programa SUPPRAD. Sustentabilidad Productiva de Pequeños Rumiantes en Áreas Desfavorecidas. UCC, Facultad de Veterinaria.
7. INTA, 2011. Programa Nacional Fibras Animales. Documento Base actualizado a noviembre de 2011.
8. Adot, O., 2010. Introducción a la Industrialización de la Lana y las Fibras Especiales. Documento Interno SUPPRAD N° 2 (2010).
9. Cancio, A., Rebuffi, G., Mueller, J., Duga, L. y Rigalt, F., 2006. Parámetros Cualitativos de la Producción de Fibras de Llamas (*Lama Glama*) Machos en la Puna Argentina, INTA EEA Bariloche, INTA AER Trancas, INTA EEA Catamarca, Comunicación Técnica, PA 492.
10. Mueller, J., 1993. Objetivos de Mejoramiento Genético para Rumiantes Menores, INTA EEA Bariloche, Comunicación Técnica, PA 238.
11. Frank, E., 2008. Camélidos Sudamericanos. Producción de fibra, bases físicas y genéticas. *Revista Argentina de Producción Animal*. Vol. 28, pp. 112-119.
12. Mueller, J., (2002). Novedades en la determinación del diámetro de fibras de lana y su relevancia en programas de selección. Comunicación Técnica. INTA, Bariloche, 330pp.
13. Rodriguez Iglesias, R., 1998. Principales características que afectan el valor textil de la lana. Producción Ovina. Dpto. de Agronomía. UNS. Rev. 30/10/07.
14. Qi, K., Lupton, C., Pfeiffer, F. y Minikhiem, D., 1994. Evaluation of the Optical Fibre Diameter Analyser (OFDA) for Measuring Fiber Diameter Parameters of Sheep and Goats. *Journal Animal Sci.* 72: 1675-1679.
15. Guzmán Barzola, J.C. y Aliaga Gutiérrez, J.L., 2010. Evaluación del Método de calcificación del Vellón en Ovino Corriedale (*Ovis Aries*) en la Sais Pachacutec. *Producción Animal*. Facultad de Zootecnia UNALM.
16. Xu, B., Pourdeyhimi, B. y Sobus, J., 1993. Fiber Cross-Sectional Shape Analysis Using Image Processing Techniques, *Textile Research Journal*, Vol. 63, N° 12.
17. Frank, E., Hick M., Prieto, A., Castillo, M., 2009. Metodología de Identificación Cualitativa y Cuantitativa de Fibras Textiles Naturales. Documento Interno SUPPRAD N° 1 (2009).
18. Huang, Y. y Xu, B., 2002. Image Analysis for Cotton Fibers. Part I: Longitudinal Measurements. *Textile Research Journal*, 72(8), 713-720.
19. Xu, B. y Ting, Y., 1996. Fiber Image Analysis. Part I: Fiber Image Enhancement. *Textile Research Journal*, 87, 274-283.
20. Xu, B. y Ting, Y., 1996. Fiber Image Analysis. Part II: Measurement of General Geometric Properties of Fibers. *Textile Research Journal*, 87, 284-295.
21. Rojas Vigo, D. A., 2006. Caracterización del Espesor de las Fibras de Alpaca Basada en Análisis Digital de Imágenes. *Electrónica-UNMSM*, N° 17.
22. Huang, Y. y Xu, B., 2004. Image Analysis for Cotton Fibers. Part II: Cross-Sectional Measurements. *Textile Research Journal*, 74(5), 409-416.