

## Efecto de mordientes sobre la variación de diámetro y tono de color en hilos de fibra de alpaca teñidos con flores de *colli* (*Buddleja coriacea*)

Effect of mordants on the variation of diameter and colour tone in alpaca fibre threads dyed with *colli* (*Buddleja coriacea*) flowers

Franklin Lozano<sup>1\*</sup>, Arturo Quispe-Quispe<sup>1</sup>, Fulgencio Vilcanqui-Pérez<sup>1</sup>

### RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de mordientes en la variación de diámetro medio de fibra (DMF), finura al hilado (FH) y el tono de color en hilos de fibra de alpaca teñidos con flores de *colli* (*Buddleja coriacea*). El colorante fue extraído usando agua a temperatura de ebullición, seguido del teñido mediante la inmersión del hilo en 160 ml de extracto y finalizando se hizo el pos-mordentado con collpa, alumbre y sal de limón a temperatura de ebullición. El DMF se midió utilizando el equipo S-Fiber Med. Los parámetros de colorimetría se obtuvieron utilizando un espectrómetro y para la identificación de los grupos funcionales se utilizó el espectrofotómetro FT-IR. El DMF en hilos teñidos con *colli* y pos-mordentados incrementaron significativamente con la adición de mordientes, observándose el mayor cambio con sal de limón (30.09  $\mu\text{m}$ ). Esta misma tendencia, se presentó para la finura al hilado. El teñido y la posterior aplicación del mordiente produjo diferentes tonos y matices de color amarillo en el hilo de alpaca con variaciones significativas en los parámetros de colorimetría y la intensidad del espectro FT-IR. El espectro de reflectancia R (%) mostró una curva típica del color amarillo con pequeñas diferencias en la intensidad según los mordientes utilizados. En conclusión, el DMF en hilo teñido con *colli* incrementó en 0.44  $\mu\text{m}$ ; mordentado con

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, Abancay, Perú  
\* E-mail: [flozano@unamba.edu.pe](mailto:flozano@unamba.edu.pe)

Recibido: 1 de junio de 2023

Aceptado para publicación: 11 de enero de 2024

Publicado: 29 de febrero de 2024

©Los autores. Este artículo es publicado por la Rev Inv Vet Perú de la Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original

collpa en 2.78  $\mu\text{m}$ ; alumbre en 3.31  $\mu\text{m}$  y con sal de limón en 3.51  $\mu\text{m}$  comparado con el hilo blanco; además produjo diferentes tonos y matices de color amarillo con variaciones significativas en los parámetros de colorimetría y K/S. La muestra teñida con *colli* sin mordiente presentó la intensidad más alta y menor intensidad en muestras pos-mordentadas en FT-IR.

**Palabras clave:** *Buddleja coriacea* (*colli*), hilo de alpaca, mordiente, teñido, espectroscopia

## ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of mordants on the variation of mean fibre diameter (MFD), spinning fineness (SF), and colour tone in alpaca fibre threads dyed with *colli* flowers (*Buddleja coriacea*). The dye was extracted using boiling water, followed by immersion of the thread in 160 ml of extract and post-mordanting with collpa, alum, and lemon salt at boiling temperature. MFD was measured using S-Fiber Med equipment. Colorimetry parameters were obtained using a spectrometer, and FT-IR spectrophotometer was used for identification of functional groups. MFD in *colli*-dyed and post-mordanted threads significantly increased with the addition of mordants, with the highest change observed with lemon salt (30.09  $\mu\text{m}$ ). The same trend was observed for SF Dyeing with *colli* flower extract and subsequent mordant application produced different shades and hues of yellow colour in alpaca thread with significant variations in colorimetry parameters and FT-IR spectrum intensity. The reflectance spectrum R (%) showed a typical yellow colour curve with small differences in intensity due to the mordants used. In conclusion, MFD in *colli*-dyed thread increased by 0.44  $\mu\text{m}$ ; collpa mordanted by 2.78  $\mu\text{m}$ ; alum by 3.31  $\mu\text{m}$ , and lemon salt by 3.51  $\mu\text{m}$  compared to white thread, also producing different shades and hues of yellow colour with significant variations in colorimetry parameters and K/S. The sample dyed with *colli* without mordant presented the highest intensity, and lower intensity was observed in post-mordanted samples in FT-IR.

**Key words:** *Buddleja coriacea* (*colli*), alpaca yarn, mordant, dyeing, spectroscopy

## INTRODUCCIÓN

Perú alberga la mayor población de camélidos sudamericanos en el mundo y es el principal productor de fibra de alpaca (MINAG, 2018). La alpaca (*Vicugna pacos*) es la especie de camélido sudamericano de mayor población en los Andes peruanos debido a la producción de fibra fina, carne y cuero (Paucar-Chanca *et al.*, 2019; Castilla *et al.*, 2021), estando ubicadas principalmente en las regiones de Puno, Arequipa, Cusco, Huancavelica y Apurímac (Castilla *et al.*, 2021). Las características de la fibra de alpaca son la suavidad, alta resistencia mecá-

nica, propiedades de aislamiento térmico, y finura en el diámetro (Frank *et al.*, 2006; Mucha y Janeczek, 2018). Los textiles producidos a partir de la fibra de alpaca tienen mucha demanda y con precios altos en el mercado internacional. En particular, las fibras teñidas con colorantes naturales son muy apreciadas debido a su naturaleza no tóxica, ecológica y renovable (Muthu y Gardetti, 2016).

Los colorantes sintéticos tuvieron una creciente utilización en la industria textil, debido al bajo costo, amplia variedad de colores y excelentes propiedades de solidez (Jung y Bae, 2014), llevando el uso de los colorantes

naturales al punto de su extinción. Sin embargo, el uso de colorantes sintéticos está causando una alarmante preocupación debido a los daños producidos por la contaminación al medio ambiental y el ecosistema acuático, debido a que se producen a partir de fuentes petroquímicas que contienen compuestos cancerígenos y tóxicos (Uddin, 2014).

Por esta razón, una alternativa en rápido crecimiento es el uso de fibras y colorantes naturales debido a sus múltiples aplicaciones (Singh *et al.*, 2020). Se tiene el interés científico de comprender los mecanismos que intervienen en la fijación en la superficie (cutícula) y difusión de las moléculas del colorante en las zonas internas de la fibra como la corteza y la médula (Grishanov, 2011). Los diversos trabajos sobre el particular buscan estudiar las propiedades de tinción (color), alimenticias y medicinales de recursos naturales como la flora y fauna (Kasiri y Safapour, 2014), encontrándose distintos resultados sobre el uso de colorantes naturales en proceso de teñido de fibras naturales (Cardon, 2007).

*Buddleja coriacea*, conocido como *colli* (Killeen *et al.*, 1993), es una planta que pertenece a la familia Loganiaceae y crece en las zonas altas (3000-4500 msnm) de los Andes de Perú y Bolivia (Houghton y Mensah, 1999; Jensen, 2000). Las flores se utilizan comúnmente en el proceso de teñido tradicional de fibras naturales de origen animal y vegetal en centros artesanales de las regiones de Cusco y Puno, entre otras (Sucasaca-Quispe y Guevara-Garmica, 2021).

En el proceso de teñido de fibras de alpaca con extracto de flores de *colli* es suficiente el tratamiento térmico para lograr la adhesión del colorante sobre la cutícula y su difusión al interior de la fibra (Grishanov, 2011). Los mordientes utilizados en el proceso de pos-mordentado únicamente se utilizan para generar tonos y matices a partir del color obtenido con el colorante *colli*. La adhesión del colorante y mordiente sobre la superficie de las fibras afecta las propiedades

colorimétricas de las muestras, permitiendo generar distintos tonos y matices (Rather *et al.*, 2016). El color y los tonos formados dependen del tipo de mordiente, el pH, la concentración de colorante utilizada y el método de aplicación. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de tres tipos de mordientes sobre la variación del diámetro medio de fibra (DMF), finura al hilado (FH), parámetros de colorimetría y espectro de FT-IR (Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier) en muestras de hilos de fibra de alpaca teñidos con flores de *colli* (*Buddleja coriacea*).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Flores de colli (Buddleja coriacea)*

Las flores de *colli* fueron recolectadas en los meses de marzo y abril en los bosques de la región de Apurímac, Perú (provincias de Abancay y Andahuaylas) a una altitud de 4200 msnm. Las flores de *colli* debían estar en estado maduro de color característico naranja oscuro (Figura 1).

### *Hilo de fibra de alpaca y mordientes*

El hilo de alpaca procesada color blanco y los mordientes como: ccollpa (sulfato de sodio-  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), alumbre (sulfato de aluminio y potasio dodecahidrato- $\text{KAl}(\text{SO}_4)_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ) y sal de limón (ácido oxálico- $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ ), fueron adquiridos en un centro comercial de venta de hilos textiles, colorantes y mordientes en la ciudad de Cusco (Perú).

### *Preparación de extracto de colorante colli*

Se usó la metodología de Nina (2018) con algunas modificaciones. Las flores de *colli* fueron secadas (estufa: Memmert UF55Plus), trituradas y tamizadas. Se mezclaron 200 g de *colli* en 1 L de agua destilada, luego fue calentado a 95 °C (ebullición) durante 2 h. La solución de colorante se filtró con papel granulado para separar las impu-



Figura 1. Características de las flores de *colli* colectadas para el proceso de teñido

rezas y se almacenó en frasco ámbar en refrigeración para uso posterior.

#### *Teñido y pos-mordentado*

Se utilizaron cuatro recipientes donde se sumergieron 4 g de hilo y 160 ml de solución filtrada de colorante. Se llevó a temperatura de ebullición (95 °C) durante 10 min antes de realizar el proceso de pos-mordentado. En el primer recipiente no se adicionó mordiente, en el segundo 1 g de alumbre, en el tercero 2 g de sal de limón y en el cuarto 2 g de collpa. Se mantuvieron a 95 °C por 5 min adicionales. Luego se dejó enfriar, y se lavaron y secaron a temperatura ambiente. El hilo blanco sin teñir fue tomado como muestra de referencia.

#### *Diámetro medio de fibra (DMF) y finura al hilado (FH)*

Para determinar el DMF se usó el equipo S-Fiber Med en el laboratorio de fibras textiles (Natural Fiber's Tech SAC), Lima, Perú. Se utilizó la metodología descrita por Quispe *et al.* (2023). La finura al hilado (FH) se determinó usando la metodología descrita

por Butler y Dolling (1995)  $(FH) = 0.881 \cdot DMF \cdot [1 + 5 \cdot (CV\%/100)^2]^{0.5}$ .

#### *Medición de color (L\*, a\*, b\*), espectro de reflectancia R (%) y espectro de Kubelka-Munk (K/S)*

Para evaluar el color y el espectro de reflectancia R (%), se usó el espectrómetro ULS2048CL-RS-EVO-AVANTES acoplado a una esfera de integración con luz halógena (50 nm). Previa calibración conforme a las indicaciones del fabricante, se confeccionaron tejidos de 2 cm<sup>2</sup> con los hilos teñidos y se colocaron sobre las portamuestras. Las lecturas se realizaron en el rango UV-visible (380–780 nm), 10° y D65. Se obtuvieron los parámetros de color (L\*, a\*, b\*), donde el valor de L\* indica la luminosidad que varía de 0 (negro) hasta 100 (blanco); el valor a\* indica la variación cromática entre verde (-) y rojo (+); y el valor b\* indica la variación cromática entre azul (-) y amarillo (+). Además, se obtuvo la pureza de color (C\*) =  $[(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0.5}$  y la tonalidad (h°) =  $[\arctg(b^*/a^*)]$  (Schanda, 2007; Shimo y Smriti, 2015). Los espectros de reflectancia difusa R (%) fueron transformados en espectros de

Kubelka-Munk ( $K/S$ ) =  $[(1-R)^2/2R]$ , donde R es espectro de reflectancia R (%), K es coeficiente de absorción, y S el coeficiente de dispersión (Myrick *et al.*, 2011).

#### *Análisis de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR)*

Para caracterizar las bandas químicas y los cambios en la intensidad del espectro FT-IR, se usó un espectrofotómetro FT-IR (Thermo NICOLET iS50, EE. UU.) en el intervalo de 400 a 4000  $\text{cm}^{-1}$ , siguiendo la metodología propuesta por McGregor *et al.* (2018) con algunas modificaciones. Cada espectro registrado fue el resultado de 32 escaneos medidos con FT-IR-ATR.

#### *Análisis estadístico*

Se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) para la evaluación de color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), diámetro medio de fibra (DMF) y finura al hilado (FH), considerando a los diferentes mordientes como el factor en estudio. Los resultados experimentales fueron expresados como la media  $\pm$  desviación estándar. Los valores  $p < 0.05$  fueron considerados significativos para la comparación de medias a través de la prueba de Tukey. El análisis estadístico se realizó utilizando el software R v. 4.1.3 (R Core Team, 2022).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Efecto del mordiente sobre la variación de diámetro medio de la fibra y finura al hilado en hilos teñidos con colli*

La industria textil considera el diámetro de fibra como un factor importante para determinar la calidad a través del grosor (Quispe *et al.*, 2013). Otro indicador que se relaciona con el rendimiento y la uniformidad del hilado es la finura al hilado (McGregor, 2006). En este estudio, el diámetro en la fibra teñida con *colli* sin mordiente incrementó en 0.44  $\mu\text{m}$  el DMF; mordentado con *collpa* en 2.78

$\mu\text{m}$ ; mordentado con alumbre en 3.31  $\mu\text{m}$  y mordentado con sal de limón en 3.51  $\mu\text{m}$ , comparado con el hilo blanco de alpaca sin teñir.

La finura al hilado tiene una relación directa con el coeficiente de variación (CV) y el diámetro medio de fibra (DMF). La FH en hilo de alpaca sin teñir fue 24.7  $\mu\text{m}$ , lo que se asemeja a la variación de 21.7 a 25.4  $\mu\text{m}$  encontrada por Roque-Gonzales y Ormachea-Valdez (2018). El valor de la finura al hilado en muestras de hilo teñidos con *colli* sin mordiente (24.88  $\mu\text{m}$ ) fue similar al hilo blanco sin teñir (24.70  $\mu\text{m}$ ), mientras que de los hilos teñidos con *colli* y pos-mordentados disminuyeron significativamente su finura.

Los mordientes actúan como sustancias que ayudan a fijar el colorante en la fibra y a modificar el pH del baño de teñido (Jung y Bae, 2014). Las moléculas de mordientes disueltas en la disolución se adhieren a la superficie y se difunden a las zonas internas (corteza y médula) de las fibras, modificando su volumen y diámetro (Atav, 2012). El pos-mordentado con alumbre hace que formen iones de aluminio ( $\text{Al}^+$ ) que se fijan a las moléculas de la superficie (cutícula y capa F) de la fibra mediante enlaces iónicos; las moléculas del ácido oxálico se fijan mediante enlaces covalentes y las moléculas de sulfato de sodio se fijan mediante enlaces iónicos y covalentes (Mathur y Gupta, 2003).

Cuadro 1. Promedio  $\pm$  DE del diámetro medio de fibra (DMF) y finura al hilado (FH) en fibra de alpaca teñido con *colli* y pos-mordentado con tres mordientes

Tratamiento	DMF ( $\mu\text{m}$ )	FH ( $\mu\text{m}$ )
Fibra blanca	26.58 $\pm$ 0.38 <sup>a</sup>	24.70 $\pm$ 0.45 <sup>a</sup>
Alpaca- <i>colli</i>	27.02 $\pm$ 0.17 <sup>a</sup>	24.88 $\pm$ 0.14 <sup>a</sup>
Alpaca-Ccollpa	29.36 $\pm$ 0.36 <sup>b</sup>	27.45 $\pm$ 0.45 <sup>b</sup>
Alpaca-Alumbre	29.89 $\pm$ 0.63 <sup>b</sup>	27.94 $\pm$ 0.57 <sup>b</sup>
Alpaca-sal de limón	30.09 $\pm$ 0.38 <sup>b</sup>	28.09 $\pm$ 0.40 <sup>b</sup>

<sup>a,b,c</sup> Valores con letras diferentes dentro de columnas indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ )

Cuadro 2. Cuantificación de color de la fibra de alpaca evaluado con espectrómetro según el colorante utilizado

Tratamientos	L*	a*	b*	C*	h°
Fibra blanca	93.26 ± 1.01 <sup>d</sup>	-0.55 ± 0.06 <sup>a</sup>	15.43 ± 1.14 <sup>a</sup>	15.44 ± 1.14 <sup>a</sup>	92.03 ± 0.08 <sup>c</sup>
Alpaca <i>colli</i>	82.56 ± 1.57 <sup>c</sup>	3.02 ± 0.72 <sup>b</sup>	64.36 ± 1.22 <sup>d</sup>	64.43 ± 1.24 <sup>d</sup>	87.32 ± 0.61 <sup>b</sup>
Alpaca <i>collpa</i>	51.42 ± 1.18 <sup>a</sup>	-0.48 ± 0.37 <sup>a</sup>	25.19 ± 1.00 <sup>b</sup>	25.19 ± 1.00 <sup>b</sup>	91.07 ± 0.82 <sup>c</sup>
Alpaca alumbre	82.13 ± 1.75 <sup>c</sup>	-0.73 ± 0.15 <sup>a</sup>	43.67 ± 0.94 <sup>c</sup>	43.68 ± 0.94 <sup>c</sup>	90.96 ± 0.19 <sup>c</sup>
Alpaca sal de limón	72.50 ± 0.96 <sup>b</sup>	3.71 ± 0.63 <sup>b</sup>	45.55 ± 1.00 <sup>c</sup>	45.70 ± 1.04 <sup>c</sup>	85.36 ± 0.71 <sup>a</sup>

<sup>a,b,c</sup> Valores con letras diferentes dentro de columnas indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ )  
Luminosidad (L\*); valores de cromaticidad (C\*); valores de tonalidad (h°)

Al usar los mordientes se disminuye significativamente la calidad del DMF y la FH de los hilos en comparación con el hilo teñido sin mordiente y la fibra blanca; esto debido a que las moléculas del colorante y mordiente disueltas ingresan mediante los poros a la corteza y la médula de la fibra, de modo que al secarse (el agua se evapora) solo quedan las moléculas del colorante y mordientes en el interior de las fibras. La fibra al ser un polímero natural presenta regiones cristalinas y amorfas, siendo estas últimas las que más influyen en el cambio de volumen (Bereck, 1994).

#### Tono de color en hilos de fibra de alpaca teñidos con flores de *colli*

En el Cuadro 2 se observan las variaciones en los parámetros colorimétricos, las cuales se cuantifican en el espacio de coordenadas CIEL\*a\*b\*. La luminosidad (L\*) disminuyó significativamente después del teñido y pos-mordentado al comparar con el hilo blanco (93.26), siendo la menor luminosidad en hilos pos-mordentados con *collpa* (51.42). El valor de a\* se incrementó ligeramente en hilos teñidos con *colli* y mordentado con sal de limón. Por otro lado, los hilos mordentados con *collpa* y alumbre mostraron valor negativo que tiene relación con el tono verde oscuro generado. El parámetro b\* incrementó positivamente su valor, siendo el más alto en la muestra teñida con *colli* sin

mordiente (64.36) y el menor valor presente en las muestras pos-mordentadas con *collpa* (25.19).

Según los resultados el croma (C\*) más alto se genera usando el colorante *colli* sin mordiente (64.43), conforme se van adicionando los mordientes se va formando tonos más suaves y oscuros (25.19) para mordiente *collpa*. La tonalidad (h°) sufre pequeñas variaciones respecto a la fibra blanca (92.03) y la fibra teñida con *colli* (87.32), mientras que la coloración amarilla se mantiene con ligeras variaciones a los tonos formados. Resultados similares fueron reportados por otros autores (Gilchrist y Nobbs, 2019; Ramaiah y Ari, 2019; Benli *et al.*, 2022). Por lo tanto, las moléculas del colorante y los mordientes al fijarse sobre la superficie de la fibra modifican las propiedades colorimétricas de las fibras.

Según la Figura 2, el teñido en hilos de fibra de alpaca con colorante *colli* sin mordiente produce un color amarillo intenso (Figura 2b) comparado con el hilo blanco de alpaca (Figura 2c). Después del proceso de pos-mordentado al usar el mordiente *collpa* se logró un color amarillo verdoso (Figura 2c); con el mordiente alumbre se obtiene un color amarillo claro (Figura 2d); y con mordiente sal de limón un color amarillo opaco (Figura 2e). Estas variaciones son producto del pH de cada mordiente y de sus propios enlaces que presentan.

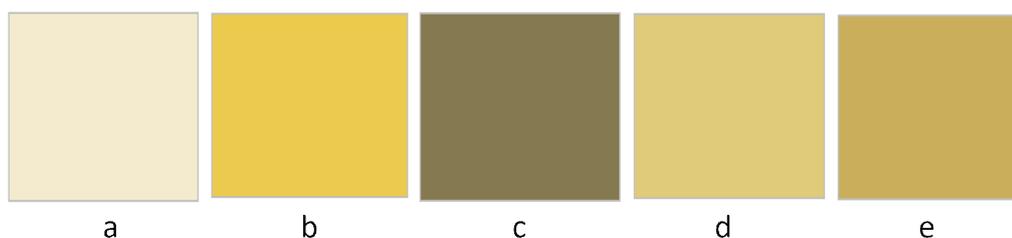


Figura 2. Variación de color obtenido en teñido de fibra de alpaca con *colli* a diferentes mordientes usados: fibra blanca (a); teñido con *colli* sin mordiente (b); teñido con *colli* + mordiente ccollpa (c); teñido con *colli* + mordiente alumbre (d); teñido con *colli* + mordiente sal de limón (e)

#### Análisis de espectro de reflectancia R (%)

Según la Figura 3, los espectros de reflectancia R (%) de las muestras de hilo teñidas con y sin mordiente muestran tendencias similares en el intervalo de 380-700 nm, con pequeñas diferencias en las intensidades de los espectros. El espectro del hilo teñido con el colorante *colli* y pos-mordentado con ccollpa presenta una intensidad menor que las muestras pos-mordentadas con alumbre y sal de limón. Resultados similares fueron reportados por Chavanne *et al.* (2022), debido a la relación inversa entre la reflectancia R (%) y la luminosidad ( $L^*$ ), donde una menor reflectancia implica una menor luminosidad.

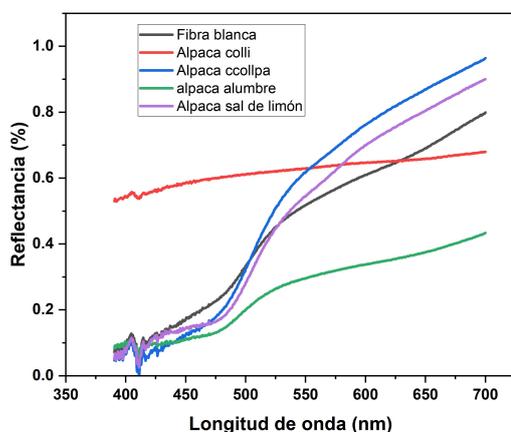


Figura 3. Espectro de reflectancia R (%) en fibra de alpaca teñido con *colli* y uso de mordientes

Por lo tanto, las variaciones en los espectros obtenidos por la aplicación de mordientes en el proceso de teñido indican los diferentes tonos y matices producidos (Cuadro 1). Estos resultados están relacionados con los mecanismos de fijación del colorante y mordientes sobre la superficie (cutícula y capa F) de las fibras, lo que permite captar mayor o menor energía que modifica las propiedades ópticas de la superficie (cutícula) de las fibras debido a la adición de mordientes (Patterson *et al.*, 1989; Rodgers *et al.*, 2008).

#### Análisis de espectro Kubelka-Munk (K/S)

La Figura 4 muestra los espectros (K/S) obtenidos a partir de los espectros de reflectancia R (%) utilizando la ecuación de Kubelka-Munk. El hilo blanco de alpaca sin teñir presentó un espectro (K/S) constante (0), el hilo teñido con colorante *colli* sin mordiente tuvo el mayor valor (22) a una longitud de onda de 410 nm, seguido del hilo teñido con colorante *colli* pos-mordentado con sal de limón (11), mientras que el hilo teñido con colorante *colli* y pos-mordentado con collpa presentó el menor valor de K/S (6). El uso de mordientes afecta la tonalidad y la intensidad del color, debido a que se adhieren por procesos electrostáticos a la superficie (cutícula) de las fibras y a las moléculas de los colorantes, modificando su absorción o dispersión

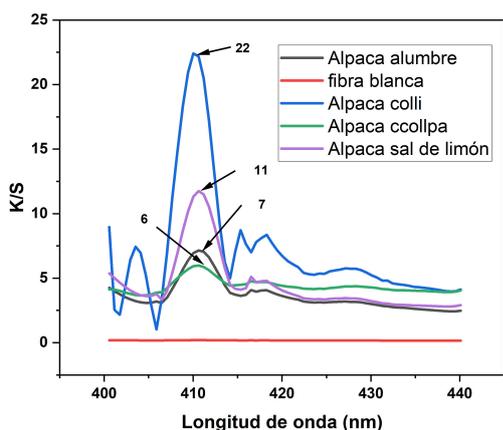


Figura 4. Espectro de Kubelka-Munk (K/S) en fibra de alpaca teñida con *colli* y uso de mordientes

de la luz (Amirshahi y Pailthorpe, 1994). Los espectros (K/S) se corresponden con los espectros de absorbancia y, estos a su vez están relacionados con la concentración de colorantes según la Ley de Beer-Lambert (El Sherif et al., 1997; Dzimbeg-Malcic et al., 2011).

### Análisis de FT-IR en hilo de alpaca, teñido con colorante de colli y uso de mordientes

En la región de transmisión (3500 a 3200  $\text{cm}^{-1}$ ) la vibración de estiramiento corresponde a los enlaces N-H y O-H (Figura 5). En esta región el hilo blanco y el hilo teñido con *colli* sin mordiente presentan mayor intensidad de enlace N-H y menor intensidad en hilos teñidos y mordentados con ccollpa. Los enlaces de estiramiento C-H y C=H se muestran en las bandas de transmisión de 3000–2800  $\text{cm}^{-1}$ . La banda Amida I con vibración de estiramiento C=O se muestra de 1700–1600  $\text{cm}^{-1}$ , la banda Amida II con vibración de flexión N-H y de estiramiento C-H se muestra de 1580–1480  $\text{cm}^{-1}$  y la banda Amida III se muestra de 1300–1220  $\text{cm}^{-1}$ , la cual es el resultado de la combinación en fase de estiramiento de C-N y flexión N-H en el plano. Por lo tanto, la energía absorbida por la muestra de hilo depende del colorante y del mordiente utilizado en el proceso de teñido. El proceso de pos-mordentado influye

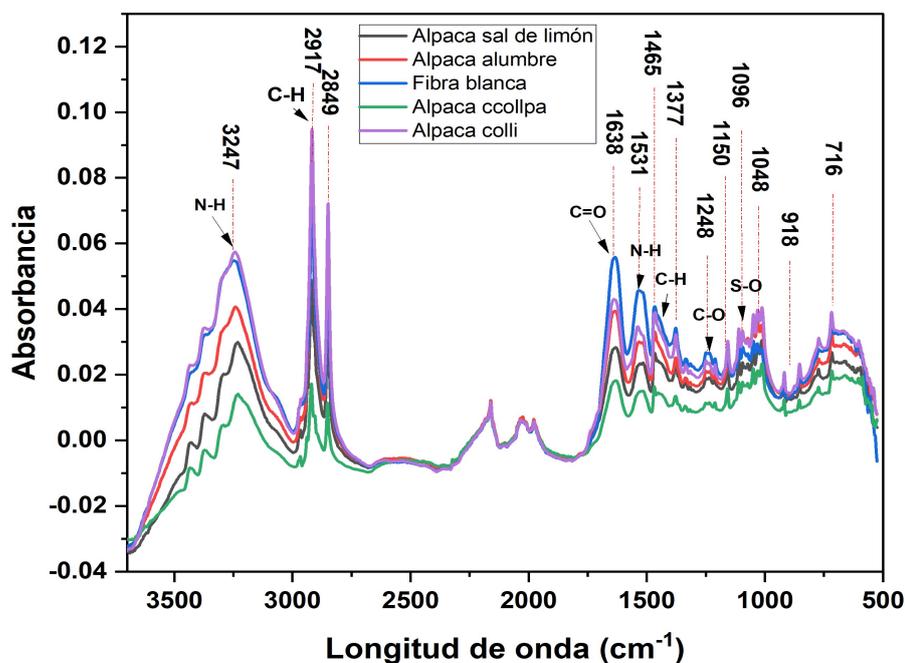


Figura 5. Análisis de FT-IR en fibra de alpaca teñido con colorante *colli* y uso de mordientes

significativamente en la intensidad del espectro FT-IR (Vasconcelos *et al.*, 2008; Eslahi *et al.*, 2013).

## CONCLUSIONES

- El uso de mordientes tuvo efecto en la variación del diámetro medio de fibra (DMF) y de finura al hilado (FH) en hilo de alpaca teñido con *colli*. El DMF en hilo teñido con *colli* incrementó en 0.44  $\mu\text{m}$ , mordentado con *ccollpa* en 2.78  $\mu\text{m}$ , alumbre en 3.31  $\mu\text{m}$  y con sal de limón en 3.51  $\mu\text{m}$  comparado con el hilo blanco.
- Los hilos teñidos con *colli* y pos-mordentadas produjo diferentes tonos y matices de color amarillo con variaciones significativas en los parámetros de colorimetría y K/S. El espectro de reflectancia mostró una curva típica del color amarillo con diferencias en las intensidades.
- El proceso de pos-mordentado influye en las propiedades ópticas de las fibras, donde el espectro FT-IR muestra variaciones de intensidad en la región 3500–3000  $\text{cm}^{-1}$  y otras regiones. La muestra teñida *colli* sin mordiente presenta la intensidad más alta en FTIR-ATR.

## LITERATURA CITADA

1. **Amirshahi SH, Pailthorpe MT. 1994.** Applying the Kubelka-Munk equation to explain the color of blends prepared from precolored fibers. *Text Res J* 64: 357-364. doi: 10.1177/004051759406400608
2. **Atav R. 2012.** Thermodynamics of wool dyeing. *Thermodynamics Fundamentals and its application in science* 10: 247-262. doi: 10.5772/51618
3. **Benli H, Aydınlıoğlu O, Yılmaz F, Bahtiyari MI. 2022.** Topping of naturally dyed wool fabrics with different natural dye sources. *Color Technol* 139: 171-181. doi: 10.1111/cote.12648
4. **Bereck A. 1994.** Bleaching of pigmented speciality animal fibres and wool. *Color Technol* 24: 17-25. doi: 10.1111/j.1478-4408.1994.tb03764.x
5. **Butler KL, Dolling M. 1995.** Spinning fineness for wool. *J Text Inst* 86: 164-166. doi: 10.1080/00405009508631319
6. **[MINAG] Ministerio de Agricultura. 2018.** Boletín Sumag Alpaca situación de la alpaca en el Perú. Lima. [Internet]. Disponible en: <http://www.minag.gob.pe/>
7. **Castilla D, Escobar V, Ynga S, Llanco L, Manchego A, Lázaro C, Navarro D, et al. 2021.** Enteric viral infections among domesticated South American camelids: first detection of mammalian Orthoreovirus in camelids. *Animals* 11: 1455. doi: 10.3390/ani11051455
8. **Cardon D. 2007.** Natural dyes. Sources, tradition, technology and science. *Archetype*. 268 p.
9. **Chavanne C, Troalen LG, Fronty IB, Buléon P, Walter P. 2022.** Noninvasive characterization and quantification of anthraquinones in dyed woolen threads by visible diffuse reflectance spectroscopy. *Anal Chem* 94: 7674-7682. doi: 10.1021/acs.analchem.2c01073
10. **Dzimbeg-Malcic V, Barbaric-Mikocvic Z, Itric K. 2011.** Kubelka-Munk theory in describing optical properties of paper (I). *Teh Vjesn* 18: 117-124.
11. **El Sherif M, Bayoumi OA, Sokkar TZN. 1997.** Prediction of absorbance from reflectance for an absorbing scattering fabric. *Color Res Appl* 22: 32-39. doi: 10.1002/(SICI)1520-6378-(199702)-22:1<32:AID-COL6>3.0.CO;2-5
12. **Eslahi N, Dadashian F, Nejad NH. 2013.** An investigation on keratin extraction from wool and feather waste by enzymatic hydrolysis. *Prep Biochem Biotech* 43: 624-648. doi: 10.1080/10826068.2013.763826
13. **Frank EN, Hick MVH, Gauna CD, Lamas HE, Renieri C, Antonini M. 2006.** Phenotypic and genetic description of fibre traits in South American domestic camelids (llamas and alpacas). *Small*

- Ruminant Res 61: 113-129. doi: 10.1016/j.smallrumres.2005.07.003
14. **Gilchrist A, Nobbs J. 2019.** Colorimetry, Theory. In: Lindon J, Holmes J, Tranter G (eds). Encyclopedia of spectroscopy and spectrometry. 2<sup>nd</sup> ed. Academic Press. p 328-333.
  15. **Grishanov S. 2011.** Structure and properties of textile materials. Woodh Publ Text 1: 28-63. doi: 10.1533/9780857-093974.1.28
  16. **Houghton PJ, Mensah AY. 1999.** Biologically active compounds from *Buddleja* species. Recent Adv Phytochem 33: 343-368. doi: 10.1007/978-1-4615-4689-4\_13
  17. **Jensen SR. 2000.** Chemistry of buddlejaceae. New World Buddlejaceae Fl Neotrop Monogr 81: 42-61.
  18. **Jung S, Bae DG. 2014.** Natural dyeing with black cowpea seed coat. I. Dyeing properties of cotton and silk fabrics. Fiber Polym 15: 138-144. doi:10.1007/s12221-014-0138-7
  19. **Kasiri MB, Safapour S. 2014.** Natural dyes and antimicrobials for green treatment of textiles. Environ Chem Lett 12: 1-13. doi: 10.1007/s10311-013-0426-2
  20. **McGregor BA. 2006.** Production attributes and relative value of alpaca fleeces in southern Australia and implications for industry development. Small Ruminant Res 61: 93-111. doi: 10.1016/j.smallrumres.2005.07.001
  21. **McGregor BA, Liu X, Wang XG. 2018.** Comparisons of the Fourier Transform Infrared Spectra of cashmere, guard hair, wool and other animal fibres. J Text Inst 109: 813-822. doi: 10.1080/00405000.-2017.1372057
  22. **Mucha A, Janeczek M. 2018.** Morphological and elemental analysis of alpaca hair using scanning electron microscopy with energy-dispersive X-ray spectroscopy (SEM-EDX). Med Weter 74: 295-300. doi: 10.21521/mw.6046
  23. **Muthu SS, Gardetti MA. 2016.** Sustainable fibres for fashion industry. Springer. 162 p.
  24. **Mathur JP, Gupta NP. 2003.** Use of natural mordant in dyeing of wool. Indian J Fibre Text 28: 90-93.
  25. **Myrick ML, Simcock MN, Baranowski M, Brooke H, Morgan SL, McCutcheon JN. 2011.** The Kubelka-Munk diffuse reflectance formula revisited. Appl Spectrosc Rev 46: 140-165. doi: 10.1080/05704928.2010.537004
  26. **Nina Y. 2018.** Obtención y caracterización del colorante natural a partir de inflorescencia de colli (*Buddleja coriacea*) para su aplicación en teñido de fibra de alpaca. Tesis de Médico Veterinario. Puno, Perú: Univ. Nacional del Altiplano. 116 p.
  27. **Patterson MS, Schwartz E, Wilson BC. 1989.** Quantitative reflectance spectrophotometry for the noninvasive measurement of photosensitizer concentration in tissue during photodynamic therapy. In: Proc Photodynamic therapy: Mechanisms. doi: 10.1117/12.978011
  28. **Paucar-Chanca R, Alfonso-Ruiz L, Soret-Lafraja B, Mendoza-Ordoñez G, Alvarado-Quezada F. 2019.** Textile characteristics of fiber from Huacaya alpacas (*Vicugna pacos*). Sci Agr 10: 429-432. doi: 10.17268/sci.agropecu.-2019.03.14
  29. **Quispe E, Poma A, Purroy A. 2013.** Productive and textile characteristics of alpaca fiber. Rev Complut Cienc Vet 7: 1-29. doi: 10.5209/rev\_RCCV.2013.-v7.n1.41413
  30. **Quispe MD, Quispe CC, Serrano-Arriezu L, Trigo JD, Bengoechea JJ, Quispe EC. 2023.** Development and validation of a smart system for medullation and diameter assessment of alpaca, llama and mohair fibers. Animal 17: 100800. doi: 10.1016/j.animal.2023.-100800
  31. **Ramaiah GB, Ari AP. 2019.** Evaluation of color strength (K/S) values of cotton fabrics dyed with reactive dye and treated with silver nanoparticles. In: AIP Conf Proc. Kerala, India. doi: 10.1063/1.5130321

32. **Rather LJ, Shabbir M, Bukhari MN, Shahid M, Khan MA, Mohammad F. 2016.** Ecological dyeing of woolen yarn with *Adhatoda vasica* natural dye in the presence of biomordants as an alternative copartner to metal mordants. *J Environ Chem Eng* 4: 3041-3049. doi: 10.1016/j.jece.2016.06.019
33. **R Core Team. 2022.** R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [Internet]. Disponible en: <http://www.R-project.org/>
34. **Rodgers J, Thibobeaux D, Cui X, Martin V, Watson M, Knowlton J. 2008.** Instrumental and operational impacts on spectrophotometer color measurements. *J Cotton Sci* 12: 287-297.
35. **Roque-Gonzales LA, Ormachea-Valdez E. 2018.** Características productivas y textiles de la fibra en alpacas Huacaya de Puno, Perú. *Rev Inv Vet Perú* 29: 1325-1334. doi: 10.15381/rivep.v19i4.14117
36. **Schanda J. 2007.** Colorimetry: understanding the CIE system. John Wiley & Sons. 459 p.
37. **Shimo SS, Smriti SA. 2015.** Color coordinates and relative color strength of reactive dye influenced by fabric GSM and dye concentration. *Int J Innov Res Sci Eng Technol* 4: 192-197. doi: 10.15623/ijret.2015.0402025
38. **Singh K, Kumar P, Singh N. 2020.** Natural dyes: an emerging ecofriendly solution for textile industries. *Pollut Res* 39: 87-94.
39. **Sucasaca-Quispe A, Guevara-Garnica ED. 2021.** Efectos del colorante natural inflorescencia de *colli* (*Buddleja Coriacea*) en la solidez de color de teñido de fibras de alpaca. *Rev Innov Transf Product* 1: e003. doi. 10.54353/ritp.v1i2.e003
40. **Uddin MG. 2014.** Effects of different mordants on silk fabric dyed with onion outer skin extracts. *J Text* 2014: 405626. doi: 10.1155/2014/405626
41. **Vasconcelos A, Freddi G, Cavaco-Paulo A. 2008.** Biodegradable materials based on silk fibroin and keratin. *Biomacromolecules* 9: 1299-1305. doi: 10.1021/bm7012789