

ARTÍCULO ORIGINAL

Estudio preliminar de teñido de fibra de alpaca utilizando extracto acuoso de molle (*Schinus molle*) como pigmento natural

Preliminary study of alpaca fiber dyeing using aqueous extract of molle (*Schinus molle*) as natural pigment

José Carrasco Bocangel^{1a}, Alexander Sucasaca^{2b}, Gloria Sanchez-Gonzales^{3c},
Geraldine Morán Flores^{4d}, Maritza Barriga-Sánchez^{5e*}

¹Centro de Innovación Productiva y Transferencia Tecnológica Textil Camélidos Arequipa (CITEtextil Arequipa), Instituto Tecnológico de la Producción (ITP), Arequipa, Perú

²Centro de Innovación Productiva y Transferencia Tecnológica Textil Camélidos Puno (CITEtextil Puno), Instituto Tecnológico de la Producción (ITP), Puno, Perú

³Laboratorio de Compuestos Bioactivos, Dirección de Investigación, Desarrollo, Innovación y Transferencia Tecnológica (DIDITT), Instituto Tecnológico de la Producción (ITP), Callao, Perú.

⁴Laboratorio Físico Sensorial. Dirección de Investigación, Desarrollo, Innovación y Transferencia Tecnológica (DIDITT), Instituto Tecnológico de la Producción (ITP), Callao, Perú

⁵jcarrasco@itp.gob.pe, ^aalexsc760@gmail.com, ^cgsanchez@itp.gob.pe, ^dgmoran@itp.gob.pe, ^embarriga@itp.gob.pe

*Autor de correspondencia

Resumen

El teñido de prendas con pigmentos naturales es una alternativa para evitar utilizar colorantes químicos que a menudo resultan ser tóxicos para el medio ambiente y la salud humana. El objetivo del estudio fue realizar el proceso de teñido de la fibra de alpaca con pigmento natural a partir de molle fresco y seco. Para ello, se realizó la extracción líquida presurizada acuosa del pigmento de molle, se midió el color (L^* , a^* y b^*), pH, sólidos totales y se evaluó la estabilidad del extracto en almacenamiento. Se realizó la evaporación parcial del agua y con el extracto concentrado se realizó el teñido de la fibra de alpaca utilizando los siguientes mordientes: ácido cítrico, sulfato de cobre, sulfato de hierro, sulfato de aluminio, bitartrato de potasio, sulfato de amonio, evaluándose la intensidad del color, así como la solidez de color al frote y al lavado. Los resultados indicaron que la mejor condición de almacenamiento del extracto fue 5°C en oscuridad y que la evaluación de solidez del color al frote como al lavado de las madejas mostraron valores de 4-5 utilizando los mordientes mencionados, aunque con el ácido cítrico se realizaron menos enjuagues. Se concluye que el ácido cítrico fue el mordiente con mejor afinidad al molle, y que para el teñido de fibra de alpaca fueron necesarios 21 y 4 ml de extracto concentrado de molle fresco y seco respectivamente fue satisfactorio.

Palabras clave: extracción de líquidos presurizados, colorante, tinte, textil, fibra de alpaca, algodón

Abstract

Garment dyeing with natural pigments is an alternative to using chemical dyes that are often toxic to the environment and human health. The objective of the study was to perform the process of dyeing alpaca fiber with natural pigment from fresh and dried molle. For this purpose, pressurized aqueous liquid extraction of molle pigment was performed, color (L^* , a^* and b^*), pH, total solids were measured and the stability of the extract in storage was evaluated. The water was partially evaporated and the concentrated extract was used to dye the alpaca fiber using the following mordants: citric acid, copper sulfate, iron sulfate, aluminum sulfate, potassium bitartrate, ammonium sulfate, evaluating the color intensity, as well as the color fastness to rubbing and washing. The results indicated that the best storage condition for the extract was 5°C in the dark and that the evaluation of color fastness to rubbing and washing of the skeins showed values of 4-5 using the mordants mentioned, although with citric acid fewer rinses were performed. It is concluded that citric acid was the mordant with the best affinity to molle, and that for the dyeing of alpaca fiber, 21 and 4 ml of concentrated extract of fresh and dry molle, respectively, was satisfactory.

Keywords: extraction of pressurized liquids, colorant, dye, textile, alpaca fiber, cotton

Introducción

La industria textil utiliza mayores cantidades de colorante sintético para el teñido de telas y fibra de alpaca en comparación con los tintes naturales que tiene una menor demanda. En los últimos años, los tintes sintéticos se han producido voluminosamente y se han estado liberando grandes cantidades de residuos y tintes no fijados, lo que plantea importantes riesgos para la salud y perturba los ecosistemas naturales (Goodarzian & Ekrami 2010). El concepto de conciencia medioambiental ha tenido recientemente un gran impacto en la industria textil y en este contexto, el uso de fibras naturales y el desarrollo de procesos de teñido natural se están convirtiendo gradualmente en objetivos importantes de la industria textil (Vankar, 2017).

Los tintes naturales son biodegradables y respetuosos del medio ambiente (Shabbir et al., 2019) no son cancerígenos ni sensibles a la piel. Pueden crear colores vibrantes para los productos textiles (Adeel et al., 2019). Estos colores naturales poseen una variedad de tonos y la mayoría de estos colores se extraen de diferentes partes de las plantas, como la corteza, raíces, flores, frutos, hojas, etc., (Dutta et al., 2021).

Schinus molle o comúnmente denominado “molle” perteneciente a la familia Anacardiaceae, es originario de América del Sur (L. Taylor, 2005), y es un árbol de muy rápido crecimiento y es tolerante a la sequía, altas temperaturas, longeva, resistente y perenne. Diferentes estudios atribuyen a los extractos de molle propiedades sedantes (A. Taylor et al., 2016), antiinflamatorios (Yueqin et al., 2003), actividad antimicrobiana (Guerra-Boone et al., 2013), propiedades repelentes e insecticidas (Ferrero, Werdin González & Sánchez Chopa 2006), entre otras actividades. Como aplicación de tintura del molle existen estudios de Albán-Castillo et al., (2018) donde mencionan que en la comunidad Pampamaca, Cuzco, obtienen pigmento verde a partir de las hojas de molle para el teñido de fibra de lana de oveja y que aplican mordientes de origen mineral,

siendo el alumbre (sulfato doble de aluminio y potasio) el más utilizado. Asimismo, Rodríguez et al., (2017) dan a conocer 25 especies tintóreas utilizadas en la región Libertad por los artesanos para teñir sus lanas y tejidos de varias tonalidades, una de esas especies fue el *Shinnus molle*, el extracto brindó tonalidades amarillas, y amarillo-verdosa y para obtener colores más oscuros como el negro utilizaron ceniza y barro. Por otro lado, existen investigaciones con resultados óptimos de teñidos con pigmentos naturales a partir de arándanos (Phan et al., 2020) y col roja (Ticha et al., 2016), pulpa de mango (Narciso & Paucar, 2019) en textiles de algodón, así como también teñido en diferentes tejidos utilizando extracto de *Souroubea fragilis*, *Brachyotum microdon*, *Fuchsia boliviana*, donde el cloruro de hierro (FeCl_3) proporcionó los mejores acabados y colores para las técnicas de teñido con *Fuchsia boliviana* y entre los tejidos ensayados, el lino, el crepé y el terciopelo presentaron las mejores resoluciones de color (Ibáñez-Calero & Loayza, 2020).

Entre algunos métodos de extracción de pigmentos naturales, se encuentran la extracción acuosa, alcalina o ácida, por microondas y ultrasonidos, fermentación, extracción enzimática, extracción con solvente, CO_2 supercrítico (Vankar, 2017), así como la extracción líquida presurizada acuosa, esta última es un tipo de extracción de tecnología verde a temperatura en el rango de 40-200 °C, sin alcanzar el punto crítico del agua a altas presiones (35-200 bar) y manteniendo en estado líquido al solvente (Xynos et al. 2012). Es importante mencionar, que la técnica de extracción a aplicar depende de la naturaleza y solubilidad de la matriz de la planta (Saxena & Raja 2014).

No se cuenta con estudios de investigación de la planta de molle como fuente de pigmento para teñido natural en tejidos de la industria textil y además existe un vacío de información a nivel nacional, relacionado a la aplicación de métodos amigables al medio ambiente para la obtención de pigmento natural de plantas. El objetivo de este trabajo fue realizar el teñido de la fibra de alpaca utilizando el pigmento natural, obtenido con la extracción líquida presurizada de molle (*Schinus molle*).

Materiales y métodos

Materia prima

Las ramas (hojas y tallos) de *Schinus molle* (molle) fueron colectados de árboles de 4 m de altura del Parque industrial Rio seco, Cerro Colorado ubicado en Arequipa-Perú, en latitud y longitud de -16.351769747759448 y -71.58429640732744 respectivamente, en abril del 2021.

La muestra fue enviada en estado fresco al laboratorio de Compuestos bioactivos del Instituto Tecnológico de la Producción (ITP), donde se realizaron las pruebas de extracción de pigmento a partir del molle fresco y molle seco.

El secado se realizó a 50°C durante 20 h en la estufa (Venticell, USA), luego se homogenizó en un molino (IKA A11, USA), la harina de molle fue almacenada en refrigeración (4°C) hasta su posterior análisis y para las pruebas de extracción a altas presiones.

Se determinó la humedad del molle fresco y seco utilizando la estufa (Venticell, ECO line 222, USA) según el método de la AOCS Ca 2d-25 (AOCS [American Oil Chemists' Society] 1998). El rendimiento de secado se determinó en porcentaje de materia seca según la ecuación 1.

$$\% R_s = \frac{P_F}{P_i} \times 100 \dots (1)$$

Dónde: R_s : Rendimiento de secado (%), P_F : peso final de la muestra (g), P_i : peso inicial de la muestra (g).

Extracción del pigmento

Extracción convencional. Maceración

En el Cite Textil Camélidos Arequipa se pesaron 30 g de molle fresco y se sumergió en 2000 mL de agua blanda, la maceración se realizó en una plancha calefactora a temperatura de ebullición durante 1h, se retiró el molle mediante el filtrado a través de un tamiz y el extracto fue utilizado en el teñido.

Extracción por la técnica de líquidos presurizados

En el laboratorio de compuestos bioactivos (Callao) se obtuvo el extracto de molle, para ello se utilizó el equipo extractor multisolvente modelo 2802.000 (Top industrie, Vaux le Pénil, Francia) equipado con una bomba co-solvente. Se colocó la muestra en la celda del reactor, se añadió agua (1000 mL) con la bomba co-solvente hasta alcanzar la presión ≥ 120 bar. Se realizaron 2 pruebas, una con molle fresco (30 g) y otra con molle seco (95 g). Las condiciones de temperatura y tiempo del proceso de extracción fueron de 80 °C y 30 min para el molle fresco y 95 °C y 60 min para el molle seco.

Finalmente, el extracto se recolectó en un frasco, y se sumergió en un baño de agua fría para luego ser almacenado a 5°C en ausencia de luz hasta su posterior análisis. Las pruebas se realizaron por duplicado.

Caracterización del extracto de molle obtenido por líquidos presurizados

Se empleó el equipo de colorimetría (Konica minolka, espectrophotometer CM-5, Japón) con iluminante D65 y ángulo de visión de 0° en modo de transmitancia expresando las lecturas en términos del espacio de color CIELab (L^* , a^* , b^*). El parámetro L^* indica luminosidad, tomando valores desde $L^*=0$ (por similitud con el color negro), a $L^*=100$ (color blanco) y los parámetros a^* y b^* son coordenadas cromáticas, el parámetro a^* representa la variación de rojo (+) a verde (-), mientras que el parámetro b^* representa la variación de amarillo (+) a azul (-) (Lopez & Di Sarli 2016)

Se determinó el pH a los extractos con el potenciómetro (Thermo Scientific, Orion VersaStar Pro, Indonesia) y los °Brix con un refractómetro.

Para la determinación de sólidos (S) en el extracto, se colocó 20 mL de extracto en placas petri y se llevó a la estufa a 70 °C hasta peso constante, al finalizar se pesó la placa más el sólido y se calculó mediante la ecuación 2.

$$S = \frac{W_{p+e} - W_p}{V_i} \times 100 \dots (2)$$

Donde:

S: sólidos (g de sólidos en 100 mL de extracto)

W_{p+e} : peso de la placa más sólidos (g)

W_p : peso de la placa (g)

V_i : volumen inicial del extracto (ml)

Evaluación de estabilidad del color del extracto presurizado

Para establecer la temperatura adecuada de almacenamiento de los extractos, se evaluaron el color y pH de los extractos obtenidos de molle fresco. Se consideraron 3 tratamientos: T1: 5 °C en oscuridad, T2: 25 °C con exposición a la luz y T3: 25 °C en oscuridad. Las lecturas de color y pH de los extractos se realizaron por duplicado a temperatura ambiente durante 21 días.

Se calculó la variación de color (ΔE) del extracto según la ecuación 3. Mayores valores de ΔE indican mayores variaciones de color en función al tiempo.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \dots (3)$$

Donde: ΔL^* , Δa^* y Δb^* se refieren a la variación del color de los parámetros L^* , a^* , b^* .

La norma ISO 12647-2: 2016 considera umbrales de ΔE para impresiones (Tabla 1), estos valores fueron tomados de referencia en el presente trabajo debido a que no se encontró umbrales de ΔE para el área textil.

Tabla 1

Umbrales de tolerancia para ΔE en impresiones

ΔE^*	Calidad
1	Excelente
1-2	Buena
2-4	Normal
4-5	Suficiente
> 5	Mala

Fuente: ISO 12647-2: 2016

Finalmente, los extractos presurizados fueron llevados de un volumen de 500 a 50 ml con un rotavapor (Buchi, R-300, Suiza) obteniéndose de esta manera el extracto concentrado de molle. En el caso de los extractos convencionales no se realizó esta operación.

Procedimiento de teñido

Los extractos concentrados, mantenidos en caja de tecnoport con gel pack a 0 - 5 °C fueron recepcionados en Arequipa y Puno. Se utilizó hilado de fibra de alpaca 100 % baby de 23 micrones de diámetro, título 2/20 en madejas de 4.2 g.

El proceso de teñido y los análisis de caracterización de la fibra de alpaca pigmentada fueron realizados en los laboratorios del CITEtextil Camélidos de Arequipa y CITEtextil Camélidos Puno.

Lavado

Para remover el excedente de grasa y parafina, y mejorar la humectabilidad de la fibra, se realizó un lavado previo con detergente (Helpawed PDA) y agua a 60°C durante 10 minutos.

Premordentado

Se utilizó en el premordentado: 10% de Alumbre (99.0% de pureza, Perú) y 2% de Bitartrato de Potasio (99.70% de pureza, Perú) en agua (84 ml).

Se sumergió la madeja previamente lavada de 4.2 g, se llevó hasta 90 °C, y se mantuvo a esta temperatura durante 15 min. Este proceso prepara la fibra para que el pigmento se adhiera a la fibra de alpaca.

Mordentado-teñido

Para este proceso se utilizó una máquina de teñido (Data color, Ahiba IR^{PRO}, USA), se agregaron los mordientes y los extractos de molle en los tubos de prueba según lo especificado en la Tabla 2 y se enrazó a 84 mL con agua blanda. Luego se sumergió la madeja previamente premordentada, la relación de fibra:licor fue de 1:20 (se denomina licor a la solución de mordiente + extracto de molle), la proporción de mordiente/licor fue de 1g/L. Para lograr una mejor adsorción e igualación del pigmento en la fibra se programó en el equipo aumentar la temperatura a razón de 1°C por minuto hasta 98°C, el tiempo de fijación fue de 60 min.

Se retiraron las madejas del licor y se enjuagaron hasta que dejó de desprender color y se procedió a secar en una estufa a 60°C durante 10 min.

Es importante mencionar que al emplear ácido cítrico se realizaron de 2-3 enjuagues y con el resto de mordientes de 4-6 enjuagues.

Evaluación del color de fibra de alpaca teñida con extracto de molle fresco, seco y con diferentes mordientes

Se realizó el teñido de fibra de alpaca (Tabla 2) con diferentes cantidades de extracto concentrado (presurizado) de molle fresco y se comparó con la fibra de alpaca teñida con extracto acuoso (convencional) con la finalidad de encontrar la cantidad de extracto concentrado (presurizado) que pigmente el hilado de fibra de alpaca de manera similar al extracto convencional.

La siguiente prueba fue el teñido de la fibra con diferentes mordientes utilizando el extracto concentrado de molle seco.

Finalmente, en la última prueba se evaluó la estabilidad del extracto concentrado de molle seco, para ello, se realizó a los 0, 1 y 2 meses, la medición de color en fibras de alpaca teñidas con el extracto concentrado de molle seco almacenado a 5 °C.

Tabla 2

Pruebas de teñido con extractos de molle

Muestra	Extracto	Ensayos	Volumen del extracto (ml)	Mordiente
Molle fresco	Convencional	E0	84	Ácido cítrico
		E1	8.4	Ácido cítrico
	Presurizado	E2	16.8	Ácido cítrico
		E3	21	Ácido cítrico
Molle seco	Presurizado	F1	4	Sulfato de cobre
		F2	4	Sulfato de hierro
		F3	4	Sulfato de aluminio
		F4	4	Ácido cítrico
		F5	4	Bitartrato de potasio
		F6	4	Sulfato de amonio
Molle seco	Presurizado	F1 (0 MES)	4	Sulfato de cobre
		F1 (1 MES)	4	Sulfato de cobre
		F1 (2 MES)	4	Sulfato de cobre
		F2 (0 MES)	4	Sulfato de hierro
		F2 (1 MES)	4	Sulfato de hierro
		F2 (2 MES)	4	Sulfato de hierro
		F3 (0 MES)	4	Sulfato de aluminio
		F3 (1 MES)	4	Sulfato de aluminio
		F3 (2 MES)	4	Sulfato de aluminio

Color L^ , a^* , b^* de fibra de alpaca*

Se utilizó un colorímetro (CM-5) con iluminante D65 y ángulo de visión de 10° en modo de reflectancia con el componente especular incluido (SCI) para evaluar el color verdadero de las muestras Alonso (2019).

Se obtuvo los parámetros de color de las muestras de hilados de fibra de alpaca teñidos, en términos del espacio de color CIELab (L^* , a^* , b^*) y CIELch (C^* y h^*) estos últimos determinados con la ecuación 4 y 5.

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \dots (4)$$

$$h = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \dots (5)$$

Donde a^* y b^* se refieren a las coordenadas de cromaticidad.

Medida de solidez del color al frote en seco y húmedo; y solidez del color al lavado

Para la prueba de solidez al frote se empleó un Frictómetro (SDL Atlas, M238BB, China) según la (NTP 231.042:2009). La prueba de solidez de color al lavado se determinó con un Launderómetro (Aveno, AC108, China) de acuerdo a la (NTP 231.008, 2016), los resultados emitidos por los equipos se evaluaron según la Tabla 3.

Tabla 3

Escala de valorización de la prueba de solidez de color

Valor	Interpretación
5	Excelente
4-5	Muy bueno
4	Bueno
3-4	Regular - Bueno
3	Regular
2-3	Mediano
2	Bajo
1-2	Deficiente - Malo
1	Muy Deficiente

Fuente: NTP 231.042:2009

Análisis estadístico

Las mediciones de los valores de L^* , a^* , b^* , C^* y H^* de todos los hilados de fibra de alpaca teñidos, fueron comparadas mediante un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparaciones múltiples de Tukey con el software Minitab 19.

Todas las mediciones fueron reportadas como promedio y su desviación estándar

Resultados y discusión

Humedad y rendimiento de la materia prima

La humedad de la muestra fresca y seca del molle utilizado para la obtención de extractos de pigmentos fue de 54.75 ± 0.21 y $6.34 \pm 0.01\%$ respectivamente. El rendimiento del secado fue $38.82 \pm 0.50\%$.

Caracterización del extracto obtenido por líquidos presurizados

En la Tabla 4 se muestran los valores de color (expresados en L^* , a^* , b^*), pH, ° Brix y sólidos de los extractos de molle. Se logró obtener una coloración más intensa y mayor del parámetro $+b^*$ (tonalidad amarilla), °Brix y sólidos con el molle seco, sin embargo, ambos compartieron valores similares de pH (ácido). Según Shabbir et al. (2016) las condiciones de pH ácido son útiles para mejorar la eficacia de tintura de pigmentos de

cualquier fuente natural porque facilita la penetración del pigmento en los teñidos vegetales.

Tabla 4

*Resultados de color ($L^*a^*b^*$), pH, sólidos totales y °Brix de los extractos sin concentrar.*

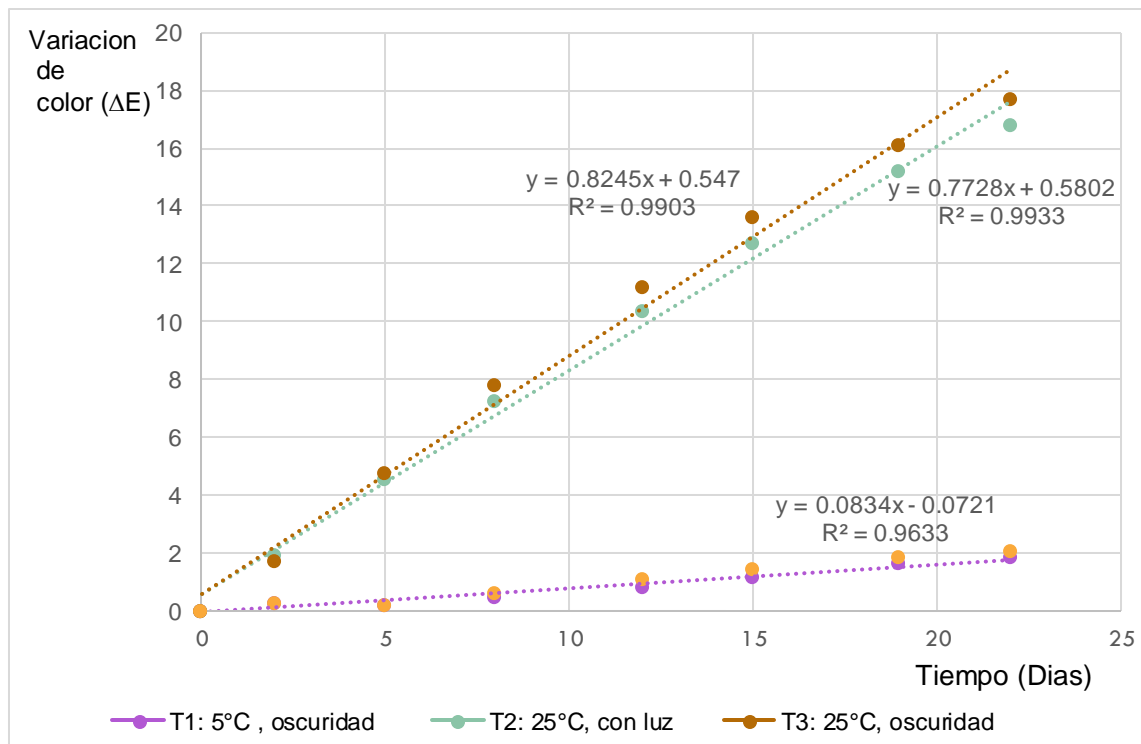
Prueba	Muestra	L^*	a^*	b^*	pH	°Brix	Sólidos (g/100ml)
1	Molle fresco	94.88±0.63	-1.54±0.37	16.84±0.62	4.66±0.04	1.0±0.01	0.39±0.01
2	Molle seco	65.78±6.84	18.78±0.00	70.59±0.03	4.86±0.01	3.8±0.01	2.88±0.01

Evaluación de estabilidad del color del extracto presurizado

Los tratamientos T2 y T3 presentaron mayor variación del color (ΔE) durante el tiempo en estudio (Figura 1), superando el umbral de tolerancia mencionado en la Tabla 1, indicando un notorio cambio de color, que se refleja en las pendientes 0.8245 y 0.7728 unidades de ΔE /día respectivamente, mientras que el T1 presentó menor $\Delta E < 2$ indicando que mantiene una buena calidad durante el tiempo evaluado. Siendo importante mantener el extracto de molle a 5 °C o menores temperaturas y en oscuridad para evitar grandes variaciones de color.

Figura 1

Evaluación de la estabilidad del color.



Evaluación del color de fibra de alpaca teñida con extracto de molle fresco, seco y con diferentes mordientes

Medición del color de fibra de alpaca teñida con extracto de molle fresco

Los valores de los parámetros a^* y H^* de E0, E1, E2 y E3 de hilados de fibra de alpaca teñidos con extracto de molle fresco (Tabla 5) no presentaron diferencia significativa ($p > 0.05$), las intensidades de las tonalidades amarillas medidas del parámetro b^* y C^* estuvieron en el siguiente orden : $E3 > E0 > [E1 \text{ y } E2]$, el valor del parámetro L^* de los ensayos E0 y E3 no presentaron diferencia estadística ($p > 0.05$), siendo el más cercano a E0 el ensayo E3 (utilizando 21 mL de extracto concentrado)

Tabla 5

Valores de los parámetros L^ , a^* , b^* , C^* y H^* teñidos de hilado de fibra de alpaca con extractos de molle fresco*

Ensayos	L^*	a^*	b^*	C^*	H^*
E0	67.16±0.21 _{ab}	2.68±0.07 _a	22.09±0.01 _b	22.25±0.01 _b	83.08±0.18 _a
E1	68.35±1.46 _a	3.41±1.05 _a	21.21±0.45 _c	21.51±0.28 _c	80.84±2.95 _a
E2	68.17±1.24 _a	3.53±0.69 _a	21.30±0.25 _c	21.60±0.14 _c	80.59±1.90 _a
E3	65.92±0.87 _b	3.37±0.17 _a	23.36±0.20 _a	23.61±0.18 _a	81.78±0.47 _a

Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa ($p < 0.05$)

Medición del color de hilados de fibra de alpaca, teñidos con extracto de molle seco

Con los extractos de molle seco se lograron diferentes tonalidades según el tipo de mordiente utilizado, los valores positivos del parámetro de b^* que indican la coloración amarilla estuvieron en el siguiente orden de mayor a menor $F1 > F3 > F4 > F5 > F6 > F2$ (Tabla 6), presentaron diferencia significativa entre ellos ($p < 0.05$).

Los valores del parámetro C^* presentaron el siguiente orden $F1 > F3 > F4$ y $F5 > F6 > F2$ siendo este último el que presentó tonalidades grises (Tabla 6 y 7).

Dutta et al. (2021) realizaron teñidos de algodón con extracto de piel de cebolla empleando como mordiente al sulfato de hierro obteniendo valores similares de los parámetros L^* , C^* y H^* al presente estudio, sin embargo, Ayele et al. (2020) emplearon mordientes como sulfato de hierro, sulfato de aluminio y sulfato de cobre para teñido de algodón con extractos de hojas y cáscara de mango encontrando diferentes tonalidades a los reportados en este estudio, que podría deberse al empleo de otras condiciones de obtención del pigmento natural y del teñido.

Las tonalidades amarillas obtenidas en el presente estudio fueron con los mordientes: ácido cítrico, sulfato de cobre, sulfato de aluminio, similar al resultado obtenido por Arias (2018) quien menciona haber logrado la tonalidad amarilla con una relación de 1:2 (1kg de hoja de molle: 2 kg de fibra), utilizando mordiente millo (30 g) a temperatura de ebullición durante 45 a 60 minutos.

Tabla 6*Valores de L*a*b*C*H* de teñidos de fibras de alpaca con extractos de molle seco*

Ensayos	L*	a*	b*	C*	H*
F1	49.65±0.27 _d	4.24±0.10 _d	27.36±0.05 _a	27.69±0.05 _a	81.20±0.21 _c
F2	47.45±0.12 _e	0.30±0.03 _f	10.91±0.04 _f	10.92±0.04 _e	88.42±0.16 _a
F3	59.71±0.16 _d	2.75±0.05 _e	25.50±0.03 _b	25.65±0.04 _b	83.84±0.10 _b
F4	60.97±0.34 _a	4.76±0.06 _c	20.66±0.12 _c	21.20±0.10 _c	77.02±0.22 _d
F5	59.37±0.09 _b	5.55±0.05 _b	20.35±0.05 _d	21.10±0.04 _c	74.75±0.17 _e
F6	58.01±0.48 _c	6.39±0.05 _a	19.84±0.11 _e	20.84±0.09 _d	72.14±0.23 _f

Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa ($p < 0.05$)

Medición del color de hilados de fibra de alpaca, teñidos con el extracto concentrado de molle seco almacenado a 0, 1 y 2 meses

En esta prueba se realizó el teñido con los mordientes de la Tabla 2 y el extracto concentrado almacenado a 0, 1 y 2 meses.

Los valores de los parámetros L*, b* y C* de los hilados de fibra de alpaca teñidos del ensayo F1 (Tabla 2 y 7) no presentó cambio significativo al utilizar en el teñido el extracto concentrado almacenado al mes 0 y 1, pero si hubo diferencia significativa al utilizar el extracto concentrado almacenado del mes 2 ($p < 0.05$).

Con relación al ensayo F2, hubo diferencias significativas de los valores los parámetros L*, a*, b* y C* y H* a los meses 0, 1 y 2, el mismo comportamiento se observó para el ensayo F3. Estas diferencias no se aprecian visualmente (Tabla 8).

Según los umbrales de tolerancia establecidos para ΔE (ISO 12647-2), los ensayos F1 y F3 (Tabla 7), mantuvieron una calidad normal hasta los dos meses, estas variaciones no fueron perceptibles al ojo humano (Tabla 8), pero el ensayo F2 a los 2 meses mostró una mayor variación, superando el límite de umbrales establecido para ΔE .




















Tabla 7*Valores de L*a*b*C*H* de hilados de fibra de alpaca teñidos con extractos de molle seco*

Ensayos	Mes	L*	a*	b*	C*	H*	ΔE
F1	0	49.65±0.27 _b	4.24±0.10 _c	27.36±0.05 _a	27.69±0.05 _a	81.20±0.21 _a	
	1	49.05±0.12 _b	5.46±0.06 _b	27.04±0.20 _a	27.59±0.21 _a	78.59±0.04 _b	1.40
	2	51.83±0.23 _a	6.43±0.10 _a	25.78±0.10 _b	26.57±0.12 _b	75.99±0.16 _c	3.48
F2	0	47.45±0.12 _a	0.30±0.03 _b	10.91±0.04 _a	10.92±0.04 _a	88.42±0.16 _b	
	1	43.44±0.42 _b	0.50±0.03 _a	10.67±0.08 _b	10.68±0.08 _b	87.32±0.21 _c	4.02
	2	41.94±0.43 _c	-0.08±0.01 _c	9.23±0.04 _c	9.23±0.04 _c	90.51±0.06 _a	5.77
F3	0	59.71±0.16 _a	2.75±0.05 _b	25.50±0.03 _c	25.65±0.04 _c	83.84±0.10 _b	
	1	57.70±0.15 _b	3.05±0.02 _a	26.46±0.04 _b	26.64±0.04 _b	83.42±0.03 _c	2.24
	2	59.57±0.17 _a	2.55±0.03 _c	27.16±0.03 _a	27.28±0.03 _a	84.65±0.08 _a	1.68

Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa ($p < 0.05$) para cada ensayo.

Tabla 8

Tonalidades de hilados de fibra de alpaca teñidos con extractos de planta de molle fresco y seco.

Extractos	Mordiente	Fibras de alpacas teñidas			
		E0 (convencional)	E1 (8.4 mL)	E2 (16.8 mL)	E3 (21 mL)
Molle fresco	Acido cítrico				
Molle seco	Diferentes	F1 (Sulfato de cobre)	F2 (sulfato de hierro)	F3 (sulfato de aluminio)	F4 (ácido cítrico)
					
		F5 (bitartrato de potasio)	F6 (Sulfato de amonio)		
					
Molle seco	Sulfato de cobre	F1 (0 mes)	F1 (1 mes)	F1 (2 meses)	
					
	Sulfato de hierro	F2 (0 mes)	F2 (1 mes)	F2 (2 meses)	
					
	Sulfato de aluminio	F3 (0 mes)	F3 (1 mes)	F3 (2 meses)	
					

Dónde: E1, E2 y E3: se refieren a diferentes cantidades de extracto de molle fresco.

Medida de solidez del color al frote en seco y húmedo; y solidez del color al lavado

Las propiedades de solidez al frote húmedo, seco y solidez al lavado de los hilados de fibra de alpaca teñidos, obtuvieron valores de 4 “bueno”, 4-5 “muy bueno” y 4 “bueno” respectivamente para todos los ensayos según la escala de valorización (Tabla 3). Debido a la alta afinidad de las moléculas de tinte con la fibra de alpaca se logró una buena fijación del color en la fibra. La cantidad de extracto empleado en los diferentes tratamientos del color no fue un factor que afectó la solidez al frote y al lavado en las

evaluaciones. Ayele et al. (2020) en el teñido de algodón, reportaron valores de propiedades de solidez similares a los encontrados en este estudio.

Conclusiones

Los parámetros de almacenamiento del extracto de molle fresco fue 5°C y en oscuridad para mantener el color.

Diferentes concentraciones de extracto de molle en el proceso de teñido, lograron resultados aceptables de solidez del color al frote y al lavado para todos los tratamientos, es decir, la fijación de color del extracto de molle en hilados de fibra de alpaca teñidos fue satisfactoria. Sin embargo, el mordiente de mejor afinidad al molle fue el ácido cítrico, ya que en el proceso se realizaron menos enjuagues que al emplear otros mordientes.

El extracto concentrado de molle almacenado durante 2 meses logra similar intensidad de teñido que, utilizando el extracto concentrado recién preparado, al emplear como mordientes el sulfato de cobre o sulfato de aluminio.

Agradecimientos

Al ITP por las facilidades en el uso de las instalaciones, equipos y el apoyo en la ejecución de este estudio.

Contribución de autoría

José Carrasco, participó en la ejecución del proyecto en el CITE textil camélidos Arequipa, interpretación, redacción y revisión final del manuscrito

Alexander Sucasaca, participó en la ejecución del proyecto en el CITE textil camélidos Puno, interpretación, redacción y revisión final del manuscrito.

Gloria Sanchez, participó en la recopilación de información, ejecución del proyecto en DIDITT y redacción e interpretación, revisión final del manuscrito

Geraldine Morán, participó en la medición de las variables, recopilación de información y revisión final del manuscrito.

Maritza Barriga dirigió las pruebas experimentales, redacción, interpretación y revisión final del manuscrito.

Conflictos de interés

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses

REFERENCIAS

Adeel, S., Rehman, F. U., Rafi, S., Zia, K. M., & Zuber, M. (2019). Environmentally Friendly Plant-Based Natural Dyes: Extraction Methodology and Applications. In *Plant and Human Health* (Vol. 2). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03344-6_17

Albán-Castillo, J., Espinoza, G., Rojas, R., & Díaz Santibáñez, C. (2018). El color en la <https://doi.org/10.54353/ritp.v2i1.e003>

- memoria: tintes vegetales usados en la tradición de las comunidades andinas y amazónicas peruanas. *Ecología Aplicada*, 17(1), 85–96. <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v17n1/a10v17n1.pdf>
- Alonso, J. (2019). Taller sobre el color y su medición. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid. https://oa.upm.es/42855/1/Taller_sobre_el_color_y_su_medicion.pdf
- AOCS (American Oil Chemists' Society, U. (1998). *Official methods and recommended practices of the American oil chemists' society* (5th ed.). AOCS Press.
- Arias, N. (2018). *Tintes Naturales de origen vegetal para uso en el teñido de hilo de fibra natural*. Universidad Mayor de San Andres, La paz. <https://bit.ly/31rzOZ1>
- Ayele, M., Tesfaye, T., Alemu, D., Limeneh, M., & Sithole, B. (2020). Natural dyeing of cotton fabric with extracts from mango tree: A step towards sustainable dyeing. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 17, 100293. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100293>
- Dutta, P., Mahjebin, S., Sufian, M. A., Rabbi, M. R., Chowdhury, S., & Imran, I. H. (2021). Impacts of natural and synthetic mordants on cotton knit fabric dyed with natural dye from onion skin in perspective of eco-friendly textile process. *Materials Today: Proceedings*, 47, 2633–2640. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.229>
- Ferrero, A. A., Werdin González, J. O., & Sánchez Chopa, C. (2006). Biological activity of *Schinus molle* on *Triatoma infestans*. *Fitoterapia*, 77(5), 381–383. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2006.03.004>
- Goodarzian, H., & Ekrami, E. (2010). Extraction of dye from madder plant (*Rubia tictorium* L.) and dyeing of wool. *World Applied Sciences Journal*, 9(4), 434–436. [https://www.idosi.org/wasj/wasj9\(4\)/13.pdf](https://www.idosi.org/wasj/wasj9(4)/13.pdf)
- Guerra-Boone, L., Álvarez-Román, R., Salazar-Aranda, R., Torres-Cirio, A., Rivas-Galindo, V. M., De Torres, N. W., González, G. M. G., & Pérez-López, L. A. (2013). Chemical compositions and antimicrobial and antioxidant activities of the essential oils from *Magnolia grandiflora*, *Chrysactinia mexicana*, and *schinus molle* found in northeast Mexico. *Natural Product Communications*, 8(1), 135–138. <https://doi.org/10.1177/1934578x1300800133>
- Ibáñez-Calero, S. L., & Loayza, K. E. (2020). Natural colorants from zongo valley (Bolivia) and their textile applications. *Revista Investigación & Amp; Desarrollo*. <https://doi.org/10.23881/idupbo.020.1-1i>
- Lopez, A., & Di Sarli, A. R. (2016). El Modelo Cielab , Las Fórmulas De Diferencia De Color Hormigones Coloreados Cielab Model , Color-Difference Formulas and Use of the European En 12878 Standard in Colored Mortars and Concretes. *Ciencia Y Tecnologia De Los Materiales*, 6, 43.
- Narciso, A., & Paucar, R. (2019). *Optimización de la obtención del colorante de la pulpa del fruto de Mangifera indica L. (mango) utilizando el método Superficie Respuesta*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

- NTP 231.008. (2016). *INACAL*. Método acelerado de ensayo de solidez del color al lavado. 2ª Edición.
- NTP 231.042. (2009). *INACAL*. TEXTILES. Ensayos de solidez del color. Solidez del color al frote
- Phan, K., Van Den Broeck, E., Van Speybroeck, V., De Clerck, K., Raes, K., & De Meester, S. (2020). The potential of anthocyanins from blueberries as a natural dye for cotton: A combined experimental and theoretical study. *Dyes and Pigments*, 176, 108180.
- Rodríguez, E., Rodríguez, S., Paredes, Y., & Rimarachin, V. (2017). Vegetales tintóreos promisorios más utilizados en la región La Libertad, Perú. *Arnaldoa*, 24(1), 311–332. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.241.24114>
- Saxena, S., & Raja, A. S. M. (2014). Natural Dyes: Sources, Chemistry, Application and Sustainability Issues. In *Roadmap to sustainable textiles and clothing* (pp. 37–80). Springer.
- Shabbir, M., Rather, L. J., Bukhari, M. N., Shahid, M., Khan, M. A., & Mohammad, F. (2016). An eco-friendly dyeing of woolen yarn by Terminalia chebula extract with evaluations of kinetic and adsorption characteristics. *Journal of Advanced Research*, 7(3), 473–482. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2016.03.006>
- Shabbir, M., Rather, L. J., Bukhari, M. N., Ul-Islam, S., Shahid, M., Khan, M. A., & Mohammad, F. (2019). Light Fastness and Shade Variability of Tannin Colorant Dyed Wool with the Effect of Mordanting Methods. *Journal of Natural Fibers*, 16(1), 100–113. <https://doi.org/10.1080/15440478.2017.1408521>
- Taylor, A., Oyediji, O. O., Aremu, O., Oyemitan, I., Gwebu, E. T., Oyediji, A. O., & Nkeh-Chungag, B. N. (2016). Assessment of the analgesic, anti-inflammatory and sedative effects of the dichloromethanol extract of Schinus molle. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 20(2), 372–380.
- Taylor, L. (2005). *The Healing Power of Rainforest Herbs. A Guide to Understanding and Using Herbal Medicinals*. Square One.
- Ticha, M. B., Haddar, W., Meksi, N., Guesmi, A., & Mhenni, M. F. (2016). No Title. *Carbohydrate Polymers*, 154, 287–295.
- UNE-ISO 12647-2:2016. (2016). *Tecnología gráfica*. AENOR.
- Vankar, P. S. (2017). *Natural dyes for textiles: Sources, chemistry and applications* (1st ed.). Elsevier.
- Xynos, N., Papaefstathiou, G., Psychis, M., Argyropoulou, A., Aligiannis, N., & Skaltsounis, A. L. (2012). Development of a green extraction procedure with super/subcritical fluids to produce extracts enriched in oleuropein from olive leaves. *Journal of Supercritical Fluids*, 67, 89–93. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2012.03.014>
- Yueqin, Z., Recio, M. C., Máñez, S., Giner, R. M., Cerdá-Nicolás, M., & Rios, J. L. (2003). Isolation of Two Triterpenoids and a Biflavanone with Anti-Inflammatory Activity <https://doi.org/10.54353/ritp.v2i1.e003>

from Schinus molle Fruits. *Planta Medica*, 69(10), 893–898.
<https://doi.org/10.1055/s-2003-45096>