



ARTÍCULO ORIGINAL

Teñido con tinte natural de frejol negro (*phaseolus vulgaris*) y su solidez del color a la luz solar en hilado de alpaca

Dyeing with natural dye of
black bean (*phaseolus
vulgaris*) and its color
fastness to sunlight on
alpaca yarn

Lita Esther Castillo Yepes ^{1a}, Eusebio Disederio Guevara Garnica ^{1b*}

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

^alitaesther.lecy@gmail.com, ^beguevarag@itp.gob.pe

* Autor de correspondencia

| Recibido: 14/12/22 |
| Arbitrado por pares |
| Aceptado: 31/01/23 |

Resumen

El teñido natural tiene una fuente renovable y son biodegradables por la naturaleza, con un bajo impacto ambiental, sin embargo, la pobre o moderada solidez del color es una característica asociada al teñido natural, y según Singhee (2020) explica por ausencia de un procedimiento estandarizado. El objetivo de la investigación fue evaluar los efectos de 4 factores sobre la solidez del color a la luz solar; con un enfoque cuantitativo de corte transversal, diseño factorial de 2^4 , se realizó 2 réplicas sin puntos centrales. Los efectos de la proporción tintórea A, método de extracción de tinte B, pre Mordentado C y tiempo de teñido D; se evaluó la solidez del color según NTP 231.183:1986 y NTP 231.005:2014. Los resultados hallados indican que los factores B, C, D y las interacciones de 2 y 3 factores no tienen un efecto significativo sobre la solidez del color a la luz solar. El único factor que tiene efecto sobre la solidez del color es la proporción tintórea factor A con p

valor = 0.048. En conclusión, los factores: métodos de extracción, pre mordentado y tiempo de teñido no tienen un efecto estadísticamente sobre la solidez del color a la luz solar, mientras que la proporción tintórea si tiene influencia en la solidez del color; se recomienda investigar otros factores del teñido como temperatura, ph, e incluir el método de extracción por ebullición, por los resultados obtenidos por Punyachareonnon (2021) en el teñido con frejol negro en telas de seda.

Palabras claves: Alubia negra, azul, solidez, tinte, alpaca

Abstract

Natural dyeing has a renewable source and are biodegradable by nature, with a low environmental impact, however, poor or moderate color fastness is a characteristic associated with natural dyeing, and according to Singhee (2020) explains by the absence of a standardized procedure. The objective of the research was to evaluate the effects of 4 factors on color fastness to sunlight; with a quantitative cross-sectional approach, 2^4 factorial design, 2 replicates without center points were performed. The effects of dyeing ratio A, dye extraction method B, pre-mordanting C and dyeing time D; color fastness was evaluated according to NTP 231.183:1986 and NTP 231.005:2014. The results found indicate that factors B, C, D and 2-factor and 3-factor interactions have no significant effect on color fastness to sunlight. The only factor that has effect on color fastness is the dyeing ratio factor A with p value = 0.048. In conclusion, the factors: extraction methods, pre etching and dyeing time have no statistical effect on color fastness to sunlight, while the dyeing ratio does have influence on color fastness; it is recommended to investigate other dyeing factors such as temperature, ph, and include the boiling extraction method, by the results obtained by Punyachareonnon (2021) in dyeing with black bean on silk fabrics.

Keywords: Black bean, blue, fastness, dyed, alpaca

Introducción

Los tintes naturales vienen ganando poco a poco su participación en el mercado de los textiles, sin embargo su producción y su aplicación no se compara con los tintes/colorantes de manufactura quienes mostraron grandes ventajas cuando se insertó al mercado global, principalmente ampliaron la gama de colores, el uso para todo tipo de fibras textiles, algunos muestran buenas solidez de color (según tipo y estructura); pero la otra cara de la industria muestra efectos perjudiciales que son visibles en la actualidad, y no es por nada que la industria textil es catalogada a nivel global como la segunda industria más contaminante. Además, el proceso de teñido en la industria textil requiere grandes cantidades de agua, combustible y una variedad de químicos en una larga secuencia de procesos que genera una importante cantidad de residuos, siendo una de las principales fuentes de contaminación al bio sistema, como lo señala (Seema, 2017). En esa misma línea (Hossain et al., 2018) menciona “La ecología de los tintes naturales y conciencia de las personas sobre los peligros ambientales y para la salud asociados con el uso de tintes sintéticos crece día a día” (p. 1).

El proceso de teñido natural actualmente se ha limitado principalmente a artesanos, tintoreros a pequeña escala, así como exportadores y productores a pequeña escala que se ocupan de la producción y venta de textiles ecológicos de alto valor (Seema, 2017). Por lo mencionado por (Singhee, 2020) indica que los tintes naturales tienen la ventaja de tener una fuente renovable y son biodegradables por la naturaleza, lo que tiene un bajo impacto ambiental, pero aún están asociados con problemas de solidez del color pobre a moderada, ausencia de un procedimiento estandarizado para la extracción y aplicación, así como la no reproducibilidad de tonos, la contaminación por el uso de mordientes metálicos, alto consumo de energía durante la extracción de tintura por agotamiento y alto costo.

Los tintes naturales también tienen una afinidad significativamente menor por las fibras, lo que resulta en un menor agotamiento del tinte desde el baño de tinte hasta la superficie de la fibra. Se han realizado varios esfuerzos en todo el mundo para abordar estas deficiencias de los tintes naturales y encontrar fuentes alternativas adecuadas en vista de las actuales, así mismo, resalta el contenido del componente de color en la mayoría de los tintes naturales, es un pequeño porcentaje de su peso sólido total y se necesitan grandes cantidades de la fuente de tinte para colorear pequeñas cantidades del material textil. Para esto, se deben adquirir enormes cantidades de la fuente de tinte, lo que puede conducir a la sobreexplotación de los recursos naturales; en concreto, si son de origen vegetal o animal.

Por lo antecedido, la presente investigación plantea determinar los efectos de cuatro factores en el teñido natural con frejol negro, sobre la solidez del color a la luz solar en hilados a base de fibra de alpaca, planteando la siguiente pregunta ¿habrá algún factor en especial que afecte la solidez del color a la luz solar del teñido con frejol negro en hilados de alpaca?; considerando que según (Punyachareonnon et al., 2021) los frejoles negros tienen grandes cantidades de sustancias colorantes cuando estos son remojados, asimismo, indican que dichas sustancias son antocianinas que proporcionan colores desde el rojo hasta el azul; en el teñido en seda encontró que las condiciones óptimas para lograr solidez en el color y mejores colores fueron pH=3, durante 60 minutos a 60 °C.

Fundamentos del teñido natural

Pubalina (2018) cita a Gulrajani y Gupta que en el año 1992 explicaron que el índice de color de la Sociedad de Tintoreros y Coloristas (3a edición) define las materias colorantes naturales como "los tintes y pigmentos naturales forman parte de todos los colores obtenidos de materia animal y vegetal sin o con muy pocos tratamientos químicos". Son principalmente colorantes mordientes, pero también incluyen algunos colorantes tina, algunos colorantes dispersos/disolventes, algunos colorantes pigmentarios, algunos colorantes directos, básicos y ácidos.

Patra, Nanda, Nayak, y Tiwari mencionan que los tintes extraídos de fuentes naturales como plantas, animales y minerales se llaman "tinte natural" que deben usarse con mordientes. Los mordientes, por lo general son sales metálicas, tiene afinidad tanto por la materia colorante como por la fibra y, al combinarse con el colorante de la fibra, forma un precipitado o laca insoluble (Pubalina S. et al., 2018).

Clasificación de los tintes naturales según el método de aplicación

La clasificación más antigua de los tintes naturales fue en orden alfabético o según los nombres botánicos, luego según el tono, constitución química y el método de aplicación; la aplicación más utilizada se basa en el método de aplicación que indica Pubalina (2018); de la forma siguiente:

- a) *Colorantes mordientes*: Son materias colorantes que requieren un mordiente en su aplicación, ya que no tienen afinidad por la fibra a teñir. Un colorante mordiente debe tener grupos donantes de electrones capaces de formar un complejo con la sal del metal de transición, por ejemplo, rubia, fustic, persa, bayas, kermes, cochinilla, etc.

- b) *Colorantes a la tina*: Son colorantes insolubles en agua, que primero se convierten a su forma soluble en agua (reduciendo con hidrosulfito de sodio y luego solubilizándolo con álcali) y luego se aplican a las fibras. El verdadero color se produce solo con el tratamiento con una solución de jabón caliente. El tratamiento de enjabonado completa el proceso de oxidación, por ejemplo, Índigo.
- c) *Colorantes directos*: Los colorantes directos, son aquellos colorantes que tienen una gran afinidad por las fibras celulósicas. Se tiñen a partir de un baño de tinte hirviendo. Cúrcuma, Harda, cáscara de Granada, etc. son algunos de los colorantes naturales directos.
- d) *Colorantes ácidos*: Estos colorantes se aplican a partir de un medio ácido. Las moléculas de tinte tienen grupos sulfónicos o carboxílicos que pueden formar un enlace electrovalente con grupos amino de lana y seda. Un postratamiento con ácido tánico y tartramítico, conocido como back tanning, mejora la solidez de este tipo de colorantes, por ejemplo, el Azafrán.
- e) *Colorantes dispersos*: Tienen una masa molecular relativamente baja, baja solubilidad y no tienen grupos solubilizantes fuertes. Estos tintes, tienen grupos hidroxilo y/o amino que imparten la misma solubilidad a la molécula del tinte. Los tintes dispersos se pueden aplicar sobre fibras sintéticas hidrofóbicas, desde un pH neutro hasta ligeramente ácido. También se pueden aplicar a la seda y la lana. Estos tintes se pueden post mordentar con sales de cromo, cobre y estaño, por ejemplo, lawsona y muchos otros tintes de flavona y antraquinona.
- f) *Colorantes básicos o catiónicos*: al ionizarse dan cationes coloreados y forman un enlace electrovalente con la lana y seda. Estos tintes se aplican desde un pH neutro hasta ligeramente ácido. Estos tintes tienen poca solidez a la luz, por ejemplo, la berberina.

Métodos de extracción de tintes naturales

La mayoría de los tintes vegetales se extraen pulverizando, moliendo o remojando e hirviendo las hierbas en agua. Los tintes naturales, se pueden extraer de la fuente de materia prima sólida seca de partes de las plantas, etc. usando un método acuoso (Kumar Samanta & Konar, 2012).

Métodos y etapas en el teñido con tintes naturales

Obtener una amplia gama de colores de un tinte natural o de una misma fuente tintórea depende del sistema de mezcla y combinación; basta con una pequeña variación en la técnica de teñido o el uso de mordientes puede cambiar los colores para crear colores totalmente nuevos, lo que no es fácilmente con los colorantes sintéticos. (Chungkrang &

Bhuyan, 2020).

Pubalina (2018) y Kumar Samanta & Konar (2012) explican que antes de teñir con tintes naturales, el sustrato textil se debe preparar mediante un pretratamiento, seguido de un mordiente previo habitual con mordientes simples o dobles aplicados en secuencia. El color depende en gran medida del tipo de mordiente simple o doble que se utilice, seleccionando un mordiente adecuado y combinaciones de mezclas de colorantes naturales según el color necesario y el nivel de solidez del color deseado. El teñido con tintes naturales en textiles consta de cinco a seis pasos:

- 1) Mordentado
- 2) Extracción del tinte de la fuente tintórea natural y/o solubilización del tinte
- 3) Agotamiento
- 4) Difusión y migración
- 5) Fijación
- 6) Post tratamiento (opcional) para mejorar la solidez o variación del tono e igualación de color final, etc.

Añadiendo al proceso de teñido con tintes naturales detallado anteriormente, Pubalina (2018) señala que, dependiendo del tipo y naturaleza de los tintes naturales tomado; el procedimiento de teñido y las condiciones del teñido variarán. Los tintes naturales a menudo muestran tonos no reproducibles debido a la variación en las condiciones de teñido o después de condiciones de teñido no optimizadas.

Por lo tanto Pubalina (2018) concluye que la optimización de los métodos de teñido para combinaciones específicas de colorante-fibra-mordiente es esencial. La mayoría de los tintes naturales son mordentables; y se extraen generalmente en medios acuosos, para luego pre-mordentar, post-mordentar, mordentado simultáneo, siguiendo un proceso estandarizado de tintura al baño maría a baja temperatura o al baño maría hirviendo (Kumar Samanta & Konar, 2012). Asimismo, existen otras técnicas como: HTHP, con aditivos que controlan el pH del medio acuoso es decir (acidez o alcalinidad), o usando la técnica de teñido ultrasónico, usando colores naturales únicos o una mezcla de colores naturales extraídos apropiadamente y encontrados científicamente compatibles.

Auxiliares en el proceso de teñido con tintes naturales

- a) Ácido tartárico: Con él se acidifican las soluciones de los baños de tinte y se utiliza para neutralizar los brillos calcáreos.
 - b) Cremor tártaro: Esta sustancia blanca cristalina, se utiliza junto con los
- <https://doi.org/10.54353/ritp.v3i2.e006>

mordientes. Da brillo a los colores

- c) Sal de Glauber/sal común: Es ampliamente utilizada por los tintoreros de seda para obtener tinturas uniformes.
- d) Licor hervido: La solución de desgomado, cuando se usa en el baño de tinte, hace que la materia colorante sea atraída por la seda de manera más uniforme y ayuda a conservar el brillo. Las cantidades sugeridas son 50 -100 ml de licor hervido por 1 litro de solución de baño de tinte.
- e) Enzimas: El uso de enzimas adecuadas, como pretratamiento o en combinación en un baño de tinte para teñido natural también mejora el rendimiento del color.

Mordientes en el proceso de teñidos con tintes naturales

Prabhu & Bhute (2012) expone que la mayoría de los tintes naturales tienen baja afinidad por los textiles (algodón, lana y seda) y requieren el uso de mordiente. La palabra "Mordant" se deriva de la palabra latina "modere" que significa "morder". Los mordientes en su mayoría sales metálicas como: aluminio, hierro, cromo, cobre, etc, para asegurar la solidez del color a la luz solar y al lavado [...] citado por Chungkrang & Bhuyan (2020). Gutierrez (2004) cita a McRae quien en 1993 explicó sobre los mordientes y sus funciones básicas:

- Ayudan a que los tintes se fijen en la fibra
- Afectan el color producido por los tintes, en otras palabras, lo intensifican o lo hacen más tenue.
- Actúan para mantener los colores estables en presencia de la luz.

Los mordientes, son los que se encargan de fijar las moléculas de color del medio acuso/ tinte extraído al sustrato textil, observadas en investigaciones realizadas de teñidos en hilados a base de fibra de alpaca; sin embargo, existe otros mordientes entre sales metálicas que se detallan en la siguiente lista:

- a) Bicarbonato de sodio: Esta mezcla, también conocida como bicarbonato sódico, es en realidad un tipo de sal como indica (Mendoza Celia, 2018); asimismo el bicarbonato sódico es un modificador de pH según (Sucasaca Quispe & Guevara Garnica, 2022).
- b) Sulfato de aluminio: Es una de las formas básicas de sales metálicas que se usa en el teñido natural como mordiente (Miranda Llilia, 2022)
- c) Sulfato de aluminio y potasio: Uno de los mordientes básicos en cualquier proceso de teñido natural (Jordeva et al., 2020).

Solidez del color de los tintes naturales

Inman (2020); Jordeva (2020); Kumar Samanta & Konar (2012); Pubalina (2018); Seema (2017); Singhee (2020) y Tito (2019) indican lo siguiente: La solidez del color es la resistencia de un material a cambiar cualquiera de sus características de color, a la transferencia de sus colorantes a materiales adyacentes o ambos. La decoloración significa el cambio de intensidad del color (aclarado u oscurecido) al lavarlo o frotarlo o en contacto con la transpiración humana o con la exposición a la luz.

Solidez del color a la luz solar

Jordeva (2020); Pubalina (2018) y en *Solidez del color: la guía definitiva - Testex*, n.d.(2022) explican sobre la solidez a la luz, es la resistencia de los colorantes a la influencia de la energía de la luz ultravioleta, especialmente la parte ultravioleta (UV-A) del espectro electromagnético; la luz ultravioleta se subdivide en tres categorías, y cuanto más corta es la longitud de onda (λ), mayor es la energía E en efecto mayor es el daño del sustrato textil teñido o a la piel humana; por lo tanto, se debe establecer la identificación de algunos absorbentes de UV a partir de materiales naturales capaces de absorber una parte de UV-A, es decir, en la región de 320-400 nm y su aplicación a textiles teñidos.

La solidez a la luz de los colorantes aplicados a veces también está relacionada con la tendencia a la decoloración o al amarillamiento inherente de la propia fibra textil. El amarillamiento por la exposición a la luz ultravioleta y el daño asociado a la propia fibra por la exposición a la luz ultravioleta, también acelera la decoloración del color (Jordeva et al., 2020)

La decoloración por la luz ultravioleta, generalmente es promovida por la humedad, el calor, el oxígeno en el aire y otros factores. Las interacciones de estos factores influyentes, incluidos los fotosensibilizadores absorbentes de UV, los eliminadores de radicales, los extintores de oxígeno y sus posibles reacciones e interacciones químicas son bastante complejas. Además, la solidez a la luz de los tintes naturales depende del carácter de absorción UV del tinte usado. Algunos tintes naturales tienen una naturaleza protectora UV inherente, como la cáscara de anar/granada (Jordeva et al., 2020; Pubalina S. et al., 2018).

Material y métodos

La investigación se realizó en el CITEtextil Camélidos Puno del Instituto Tecnológico de la Producción con el objeto, de evaluar los efectos de los parámetros de teñido natural <https://doi.org/10.54353/ritp.v3i2.e006>

con frejol negro en la solidez del color a la luz solar, asimismo para la obtención de colores en la gama de azules; a través de un tipo de investigación experimental con diseño factorial de 2x4, se realizaron 16 tratamientos con dos replicas; obteniendo así 32 muestras teñidas de hilado de fibra de alpaca, cada muestra de 5 gramos.

Materiales

- Frejol negro, que se consiguió del mercado local de la ciudad de Puno.
- Mordientes: Sulfato de aluminio 6 g/L, bicarbonato de sodio 3 g/L, sulfato de aluminio y potasio (piedra de alumbre) 15% y cremor tártaro 2%.
- Materiales de laboratorio: Balanza, probetas, vasos precipitados, varillas, termómetro, etc.; del CITEtextil Camélidos Puno – ITP.

Método

La solidez del color se evaluó conforme al procedimiento de la Norma Técnica Peruana - NTP 231.183:1986(Revisada el 2020) Textiles. Método para determinar la solidez del color a la luz solar en tejidos artesanales. 1ª Edición, donde explica el procedimiento y condiciones de evaluación de la solidez del color a la luz solar.

En la investigación se usó cartonetas de 8 cm x 10 cm para la preparación de las muestras teñidas, se dejaron en exposición a la luz solar sobre una superficie plana, bajo ninguna sombra por 4 horas diarias durante 3 días, cuando los rayos solares son más intensos, tal cual explica la norma en mención. Cuando finalizó el tiempo de exposición a la luz solar se organizó las muestras para evaluar el grado de solidez de color a la luz solar.

Tabla 1

Factores en el teñido con frejol negro

	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4
	Proporción tintórea (%)	Método de extracción de tinte (receta)	Tipo de mordientes (receta)	Tiempo de teñido (Horas)
NIVELES	400 %	Baño maría	Receta 1: - Sulfato de aluminio y potasio 15 % - Cremor tártaro 2 %	12 horas
	800 %	Remojo	Receta 2: - Sulfato de aluminio 6 g/L - Bicarbonato de sodio 3 g/L	24 horas

Para determinar el grado de solidez de color se revisó la Norma Técnica Peruana - NTP 231.005:2014 Textiles. Escala de grises para cambio de color. La técnica estadística ANOVA para evaluar los efectos del teñido con frejol negro, previamente analizando los supuestos de normalidad, en el Software Minitab 19.

En la tabla 1, se observa los factores estudiados que fueron manipulados con el fin de analizar sus efectos en la solidez del color a la luz solar del teñido natural con frejol negro.

- La proporción tintórea en relación al peso en seco del sustrato a teñir (hilado de alpaca). Se estudió a dos niveles 400 % y 800%, como el peso de las muestras de hilado a teñir fue de 5 gramos, entonces 20 g y 40 g de frejol negro respectivamente.
- El método de extracción de tinte en función a que las antocianinas cuando son expuestas a altas temperaturas éstas se volatilizan siendo las principales responsables de la coloración en gamas azules, según Punyachareonnon (2021). Por ello, se propuso estudiar con dos métodos de extracción a baño maría y remojo.
- Tipo de mordientes, se estableció usar dos recetas porque la primera se usa como base del pre mordentado de la mayoría de los colores básicos como el amarillo, verde, rojo principalmente por el grado de solidez que permite estos mordientes: sulfato de aluminio y potasio (piedra de alumbre) y cremor tártaro.
La segunda receta fue usada para la obtención de azul con la col morada en la investigación de Sucasaca & Guevara (2022), usando sulfato de aluminio de potasio y bicarbonato de sodio.
- Tiempo de teñido, se tomó referencias empíricas de los teñidos en frío que generalmente se realiza a 12 horas y 24 horas. Tiempo de contacto del sustrato de teñido en el baño tintóreo.

Resultados

El procedimiento estadístico, parte de la matriz de experimentos ejecutado como variable respuesta se tiene el grado de solidez del color a la luz solar, así mismo se realizó dos replicas; el análisis de los supuestos del ANOVA permitió ejecutar el mismo.

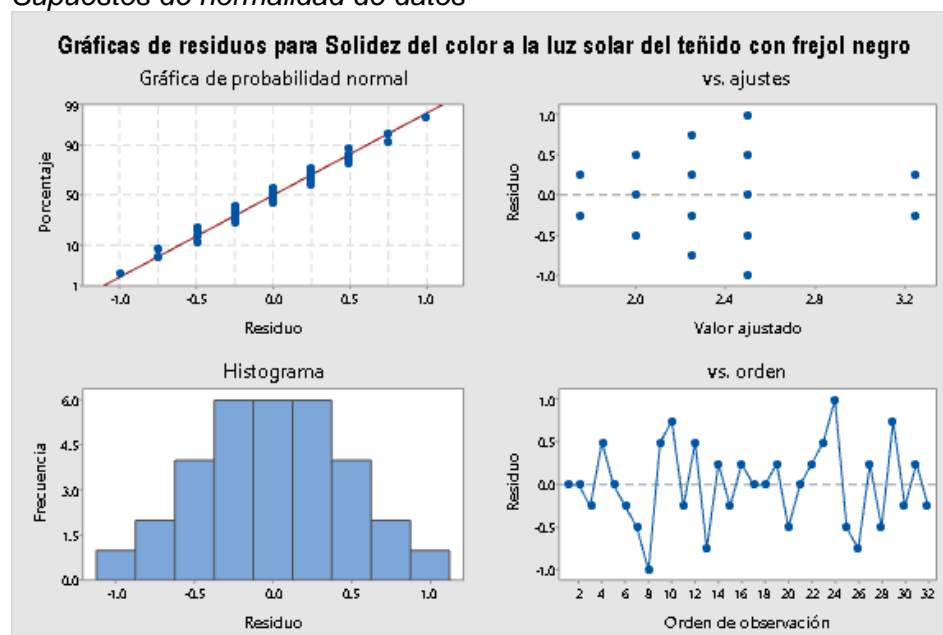
En la tabla 2, se muestra la matriz de experimentos, con un diseño factorial de 2 x 4, con dos replicas; la base de datos para el análisis estadístico son grados de solidez del color que tienen un rango de 1-5 donde el grado más alto de solidez del color es 5 y el grado 1 tiene alto grado de migración de color del sustrato teñido.

Tabla 2

Matriz de diseño de experimentos del teñido natural con frejol negro

TRATAMIE NTO	PÁRAMETROS EN EL TEÑIDO				SOLIDEZ DE COLOR	
	Proporción tintórea (%)	Método de extracción de tinte (receta)	Tipo de mordientes (receta)	Tiempo de teñido (Horas)	REPLICA I	REPLICA II
[1]	400	Baño María	1	12	2.0	2.0
A	800	Baño María	1	12	2.5	2.5
B	400	Remojo	1	12	1.5	2.0
AB	800	Remojo	1	12	2.0	2.0
C	400	Baño María	2	12	2.5	2.0
AC	800	Baño María	2	12	3.0	3.5
BC	400	Remojo	2	12	3.0	3.0
ABC	800	Remojo	2	12	3.0	3.5
D	400	Baño María	1	24	2.0	1.5
AD	800	Baño María	1	24	1.5	1.5
BD	400	Remojo	1	24	1.5	2.0
ABD	800	Remojo	1	24	1.5	1.5
CD	400	Baño María	2	24	2.5	3.0
ACD	800	Baño María	2	24	3.5	3.0
BCD	400	Remojo	2	24	2.0	2.5
ABCD	800	Remojo	2	24	2.5	2.0

Figura 1

Supuestos de normalidad de datos

En la figura 1, se observa los principales gráficos para el análisis de supuestos de normalidad de datos, cumpliendo los supuestos en el histograma, gráfico de probabilidad normal, valor ajustado. Concluyendo que los datos son aptos para realizar un ANOVA y evaluar los efectos de los factores estudiados.

ANOVA

Se realizó un análisis de varianza de los datos de grados de solidez del color a la luz solar de las 32 muestras de hilado de alpaca teñidas con frejol negro.

Tabla 3

Análisis de Varianza

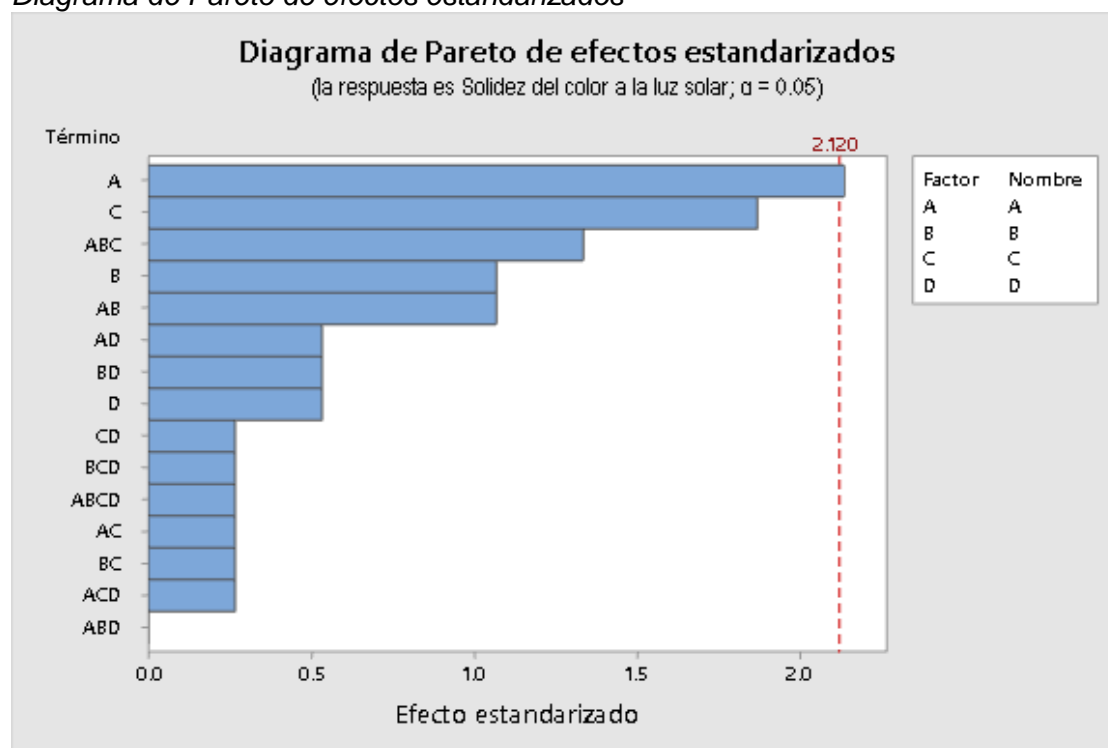
11	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	15	5.8750	0.39167	0.90	0.583
Lineal	4	4.1562	1.03906	2.37	0.096
A	1	2.0000	2.00000	4.57	0.048
B	1	0.5000	0.50000	1.14	0.301
C	1	1.5312	1.53125	3.50	0.080
D	1	0.1250	0.12500	0.29	0.600
Interacciones de 2 términos	6	0.8437	0.14062	0.32	0.916
A*B	1	0.5000	0.50000	1.14	0.301
A*C	1	0.0312	0.03125	0.07	0.793
A*D	1	0.1250	0.12500	0.29	0.600
B*C	1	0.0312	0.03125	0.07	0.793
B*D	1	0.1250	0.12500	0.29	0.600
C*D	1	0.0313	0.03125	0.07	0.793
Interacciones de 3 términos	4	0.8437	0.21094	0.48	0.749
A*B*C	1	0.7812	0.78125	1.79	0.200
A*B*D	1	0.0000	0.00000	0.00	1.000
A*C*D	1	0.0312	0.03125	0.07	0.793
B*C*D	1	0.0313	0.03125	0.07	0.793
Interacciones de 4 términos	1	0.0312	0.03125	0.07	0.793
A*B*C*D	1	0.0312	0.03125	0.07	0.793
Error	16	7.0000	0.43750		
Total	31	12.8750			

En la tabla 3 se observa los factores B, C, D y E no tienen efecto significativo sobre la solidez del color a la luz solar, asimismo en las interacciones de 2 y 3 factores los

valores de p de los términos lineales no son estadísticamente significativos a excepción de la A, que es proporción tintórea con $p=0.025$ menor al nivel de significancia 0.05 que es el único término lineal que es significativo; concluyendo que el único factor que tiene efecto significativo en la solidez del color a la luz solar es la proporción tintórea. Por lo que el modelo debe considerarse reducirse. Las interacciones de dos factores ninguna tiene efectos sobre la solidez del color a la luz solar.

Figura 2

Diagrama de Pareto de efectos estandarizados



En la figura 2 contrasta los resultados obtenidos en la tabla 3 de ANOVA donde se observa al factor A como el único que tiene efecto sobre la solidez del color a la luz solar en el teñido natural con el frejol negro en hilado de alpaca.

En la figura 3 se observa los mismos resultados del ANOVA y diagrama de Pareto donde el único efecto significativo es el factor A Proporción tintórea sobre la solidez del color a la luz solar en hilados de alpaca teñidos naturalmente con frejol negro.

En la figura 4 se observa las interacciones de los efectos resaltando líneas paralelas en los efectos B, C, D y E; al igual de los resultados anteriores esta gráfica indica que no existe efecto alguno del teñido con frejol negro sobre la solidez del color a la luz solar, a excepción del factor A.

Discusión

La investigación sobre el teñido natural con frejol negro en hilado de alpaca, realizados según matriz de experimentos con diseño factorial 2x4 (ver tabla 2); se realizó 16 tratamientos, dos replicas, se evaluó el grado de solidez del color a la luz solar, para luego analizar mediante un ANOVA los efectos del teñido con frejol negro, los resultados muestran que los factores B, C, D y E, las interacciones de 2 y 3 factores no tienen efecto significativo sobre la solidez del color a la luz solar.

Por otro lado, el único hallazgo significativo estadísticamente es el efecto de la proporción tintórea (Factor A), que tiene sobre la solidez del color a la luz solar en hilados de alpaca teñido con frejol negro.

Los resultados no se pudieron contrastar con otras investigaciones similares donde apliquen el tinte del frejol negro en sustratos de fibra de alpaca; sin embargo, existe la investigación de (Inman et al., 2020) que menciona sobre el tinte de frejol negro y sus aplicaciones como colorante natural, aunque la investigación de Inman se enfoca en tinte para el cabello.

La presente investigación concluye que la aplicación del colorante natural del frejol negro además de sus aplicaciones ya conocidas en seda, algodón y hasta en cabello; es posible el teñido natural de sustratos de fibra de alpaca con el frejol negro. Aunque resultados se recomienda realizar otra investigación considerando otros factores que intervienen en el teñido natural como temperatura, procesos de post Mordentado, o acabado para mejorar los resultados del grado de solides del color a la luz solar.

La investigación de Punyachareonnon (2021) menciona en el agua de remojo se han encontrado grandes cantidades de antocianinas que son responsables de la coloración que brinda a las telas de seda; en este artículo, se investigaron los efectos del pH, la temperatura y el tiempo de teñido de telas de seda. Se encontró que las condiciones óptimas de teñido fueron pH 3 a 60°C durante 60 min para lograr los mejores colores y la solidez del color más efectiva en la seda. En comparación con los resultados de la presente investigación la aplicación del tinte de frejol negro en hilados de fibra de alpaca es posible, aunque los efectos estudiados no son los mismos del artículo científico: “La influencia del pH, la temperatura y el tiempo en el teñido de telas de seda

por Extracto rico en antocianinas de frijol negro como colorante” de (Punyachareonnon et al., 2021).

Conclusiones

La investigación con el objetivo de evaluar los efectos del teñido natural con frejol negro en la solidez del color de hilado de alpaca con la obtención de gama azules, concluye lo siguiente, los factores B, C, D y E no tienen efecto sobre la solidez del color a la luz solar; sin embargo, el factor A proporción tintórea tiene efectos sobre la solidez del color, asimismo el P valor 0.130 del modelo no es significativo; por lo que existe otros factores que tengan mayor efecto sobre la solidez del color que no se han considerado en el presente estudio como temperatura, tiempo de teñido, velocidad, gradiente de teñido, u otros métodos de extracción de tinte con mayor eficiencia.

Agradecimiento

Al ITP por las facilidades en el uso de las instalaciones, equipos, materiales e insumos para la ejecución de este estudio.

Contribución de autoría

Lita Esther Castillo Yepes, participó en la ejecución del proyecto en el CITE textil camélidos Puno, interpretación, redacción y revisión final del manuscrito.

Eusebio Disederio Guevara Garnica, redacción, corrección y versión final del manuscrito.

Conflictos de interés

No existe conflicto de intereses

Referencias

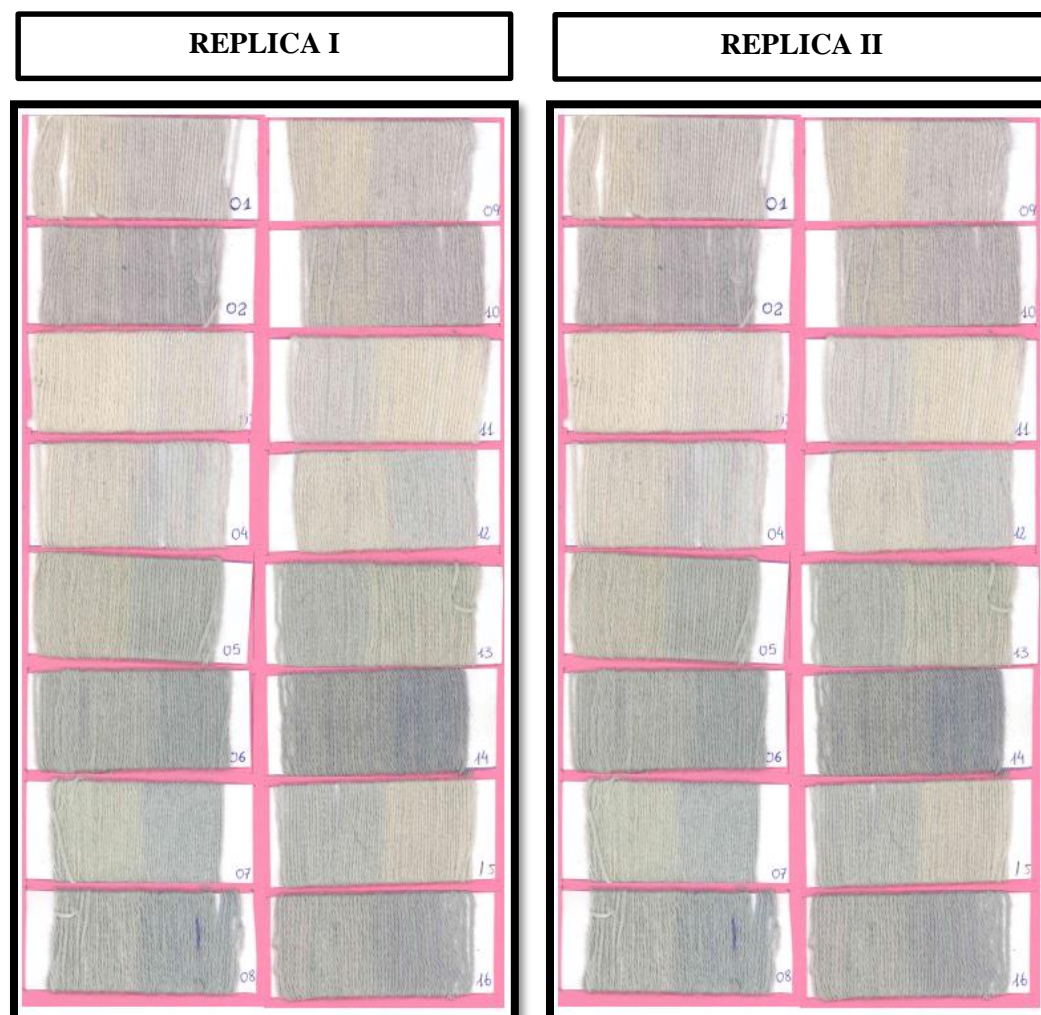
- Chungkrang, L., & Bhuyan, S. (2020). Natural dyes Sources and its applications in textiles: A Brief Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(10), 261–269. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.910.034>
- Gutierrez Neydy, Diaz Sonia, Jane Yeomans, & Hernandez Gabriela. (2004). *Manual de tintes*. <http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/50000089.pdf>
- Hossain, Md. A., Rahman, Md. M., & Nurunnesa. (2018). Extraction of Natural Dye Collected from Outer Skin of Onion and it's Application on Silk Fabric. *Global Journal of Researches in Engineering: J General Engineering*, 18(3), 1–6.
- Inman, C., Lourith, N., & Kanlayavattanakul, M. (2020). Alternative application approach

- on black bean: hair coloring product. *Chem. Biol. Technol. Agric*, 7(2). <https://doi.org/10.1186/s40538-019-0163-2>
- Jordeva, S., Kertakova, M., Zhezhova, S., Golomeova-Longurova, S., & Mojssov, K. (2020). Dyeing of textiles with natural dyes. *Tekstilna Industrija*, 68(4), 12–21. <https://doi.org/10.5937/tekstind2004012j>
- Kumar Samanta, A., & Konar, A. (2012). *Dyeing of textiles with natural dyes*. <https://bit.ly/3G15a9R>
- Mendoza Celia. (2018). *Evaluación del tipo y cantidad de mordiente en la intensidad de color y solidez al lavado del teñido de alpaca (Vicugna pacos) con aliso (Alnus acuminata H.B.K)* [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica]. <https://bit.ly/40HMyna>
- Miranda Lilia. (2022). *Efecto del diámetro medular en el teñido en fibras de alpaca huacaya* [Universidad Nacional de San Agustín]. <https://bit.ly/3M173Hx>
- Prabhu, K. H., & Bhute, A. S. (2012). Plant based dyes and mordant: A Review Plant based natural dyes and mordants: a review. In *J. Nat. Prod. Plant Resour*, 2(6). <https://bit.ly/3nz21YE>
- Pubalina S, Deepali S, & Ashis K. (2018). Fundamentals of Natural Dyeing of Textiles: Pros and Cons. *Current Trends in Fashion Technology & Textile Engineering*, 2(4). <https://doi.org/10.19080/ctfte.2018.02.555593>
- Punyachareonnon, P., Deetrakul, V., & Luepong, K. (2021). The Influence of pH, temperature and time on dyeing of silk fabric by black bean anthocyanin-rich extract as colorant. *Progress in Color, Colorants and Coatings*, 14(3), 179-186. <https://bit.ly/40M3cSQ>
- Seema. (2017). Dyeing of silk with onion peel extract. *International Journal of Home Science*, 3(2), 313–317. <https://bit.ly/40HKgED>
- Singhee, D. (2020). Review on natural dyes for textiles from wastes. *Chemistry and Technology of Natural and Synthetic Dyes and Pigments*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93178>
- Solidez del color: la guía definitiva - Testex*. (n.d.). (2022) <https://bit.ly/40Bt7wm>
- Sucasaca Quispe, A., & Guevara Garnica, E. D. (2022). Teñido de hilado de alpaca utilizando pigmento extraído de la col morada (*Brassica oleracea* var. capitata f. rubra). *Revista De Innovación Y Transferencia Productiva*, 2(1), e004. <https://doi.org/10.54353/ritp.v2i1.e004>
- Tito, J. M., Soto, P. A., & Castillo, L. E. (2019). Plantas Andinas como colorantes en el teñido de lana. *ÑAWPARISUN- Revista de Investigación Científica*, 2(1), 1–8. <https://unaj.edu.pe/revista/index.php/vpin/article/view/74>

Anexos

Figura 5

Hilados teñidos con frejol negro y expuestos a la luz solar



Nota: En la figura se observa las muestras de hilados teñidos resultados de una evaluación de solidez del color a la luz solar, es por ello que la mitad de las muestras presentan decoloraciones que fueron evaluadas según grado de solidez, para cada tratamiento revisar tabla 2, donde indica en la primera columna el código de la muestra 1,2, hasta 16.