

ARTÍCULO ORIGINAL

Efectos del teñido con la semilla de achiote (*Bixa Orellana*) en la solidez del color del hilo de alpaca

Effects of dyeing with annatto seed (*Bixa Orellana*) on the color fastness of alpaca yarn

Fredy Barreda Álvarez ^{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

^afredybarreda1@gmail.com, ^beguevarag@itp.gob.pe

* Autor de correspondencia

| Recibido: 17/08/23 |
| Arbitrado por pares |
| Aceptado: 15/12/23 |

Resumen

El uso de colorantes naturales para teñir fibras proteicas, como el hilo de alpaca, refleja un compromiso genuino con la protección del medio ambiente. Esta práctica es una opción ecológica y sostenible en la industria textil. Sin embargo, la estabilidad del color es un desafío en el teñido natural debido a la falta de un proceso estandarizado de extracción del colorante y la aplicación del teñido en un sustrato textil. La investigación tuvo como objetivo evaluar los efectos del teñido con la semilla de achiote (*Bixa Orellana*) en la solidez del color al lavado, frote y exposición a la luz en hilos de alpaca. Se utilizó un enfoque experimental cuantitativo con un diseño factorial 2^4 y se realizaron dos

<https://doi.org/10.54353/ritp.v4i2.e002>

réplicas. Los cuatro factores clave fueron la relación planta/sustrato (A), la concentración de mordiente (B), la temperatura (C) y el tiempo (D). Los resultados revelaron que la combinación de dos factores, como la relación planta/sustrato y la temperatura (AC), tiene un impacto significativo en la resistencia del color al lavado. De manera similar, la interacción entre la concentración de mordiente y la temperatura (BC), así como la relación planta/sustrato y el tiempo (AD), afecta significativamente la resistencia del color a la luz. Además, la interacción de tres factores, ABC, tiene un efecto sustancial en la resistencia del color al frote y la interacción entre BCD también tiene un efecto significativo en la resistencia del color a la luz. En conclusión, la relación planta/sustrato (A) tiene un efecto significativo en la resistencia del color en las tres variables. Las interacciones entre los factores mencionados anteriormente tienen un impacto sustancial en la resistencia del color al lavado y a la luz, respectivamente, ya que el p-valor obtenido es menor a 0.05 de significancia. Esto sugiere que, con un proceso estandarizado, es posible teñir la fibra de alpaca con semilla de achiote de manera efectiva.

Palabras claves: Bixa Orellana, alpaca, teñido, solidez, mordiente y extracción de colorante

Abstract

The use of natural dyes to dye protein fibers, such as alpaca yarn, reflects a genuine commitment to environmental protection. This practice is an ecological and sustainable option in the textile industry. However, color stability is a challenge in natural dyeing due to the lack of a standardized process for extracting the dye and applying the dyeing to a textile substrate. The research aimed to evaluate the effects of dyeing with annatto seed (*Bixa Orellana*) on color fastness to washing, rubbing, and light exposure in alpaca yarns. A quantitative experimental approach with a 2^4 factorial design was used, and two replications were performed. The four key factors were plant/substrate ratio (A), mordant concentration (B), temperature (C), and time (D). The results revealed that the combination of two factors, such as plant/substrate ratio and temperature (AC), has a significant impact on color fastness to washing. Similarly, the interaction between mordant concentration and temperature (BC), as well as plant/substrate ratio and time (AD), significantly affects color fastness to light. Additionally, the interaction of three factors, ABC, has a substantial effect on color fastness to rubbing, and the interaction between BCD also has a significant effect on color fastness to light. In conclusion, the plant/substrate ratio (A) has a significant effect on color fastness in all three variables. The interactions between the aforementioned factors have a substantial impact on color

fastness to washing and light, respectively, as the obtained p-value is less than 0.05 of significance. This suggests that, with a standardized process, it is possible to effectively dye alpaca fiber with annatto seed.

Keywords: Bixa Orellana, alpaca, dyeing, fastness, mordant and dye extraction

Introducción

Los colorantes sintéticos, así como los auxiliares, son utilizados en su gran mayoría por la industria textil para teñir fibras proteicas, vegetales y sintéticas con la finalidad de obtener una gama de colores (Costa, 2010). Los residuos sólidos y efluentes son vertidos en ríos y alcantarillados, generando contaminación ambiental. A pesar de que las empresas realizan el tratamiento de aguas residuales por medio de tratamientos físico-químicos, no son eficientes (Arroyo, 2020).

Actualmente, la población mundial está revalorando los tintes naturales debido a una creciente preocupación por el cuidado del medio ambiente. Además, la moda ética está siendo impulsada por el comercio internacional para resaltar la labor de los artesanos del mundo, quienes no solo son los que recogen la tradición de los tintes naturales, sino que logran realizar teñidos a partir de colorantes vegetales y animales para obtener artículos teñidos 100% naturales (El Imparcial, 2019).

Para la extracción del colorante natural existen diversos métodos. Dentro de ellos, el más utilizado es el método de extracción sólido-líquido por cocción debido a su fácil aplicación. Este método consiste en la extracción por medio de cocción. Por otro lado, el método de extracción por maceración se basa en macerar con la ayuda de un solvente, en este caso el etanol, durante 3 a 5 días. También está el método de extracción por Soxhlet, que consiste en utilizar diferentes solventes tales como el etanol y el metanol. Además, se puede realizar la mezcla de los disolventes que logran separar el colorante de la planta tintórea (Pazos, 2017).

El achiote es el fruto de la planta tropical conocida como bija, annatto, urucú, onoto, bijol, cacicuto, orellana, orocuaxiote y urucum, según el país donde crece la planta. El colorante del achiote es extraído de sus semillas, cuyo nombre científico se debe a su descubridor, Francisco Orellana. El colorante del achiote fue utilizado como camuflaje de guerra por los lugareños del río Amazonas. En Cusco y Pasco, el achiote es cultivado con fines de exportación (Bonilla, 2009).

Pineda y Calderón (2023) indican que, según la Norma Técnica Peruana NTP 209.200:1982, los requisitos físicos de la semilla de achiote son: no debe tener más del 3% de impurezas y tampoco debe presentar féculas extrañas. Asimismo, debe estar libre de olor y sabor extraño, y estar exenta de colorantes artificiales. Se puede presentar entera o molida. El componente principal del colorante de la semilla de achiote es la bixina, químicamente es un ácido carotenoide (Pineda y Calderón, 2003). Se utiliza para fines cosméticos y alimentarios, así como para teñir fibras textiles (Paredes, 2002).

Bonet et al. (2020) en su estudio sobre el teñido de lana, utilizaron cuatro nanoarcillas: montmorillonita, K10, halloysita y bentonita, que son materiales compuestos por partículas que tienen un tamaño en la escala nanométrica. Emplearon el colorante extraído de la semilla de achiote en estado sólido y líquido, respectivamente. Al mezclar las nanoarcillas y el colorante, se forma un nanocompuesto que se utiliza para realizar el teñido de la lana con el objetivo de brindar mayor solidez del color, suministrando cantidades del colorante al 4% durante 60 minutos. Además, realizaron el análisis y la evaluación de la solidez del color al lavado y al frote.

Bunfueang et al. (2019) estudiaron los efectos del teñido de algodón con el tinte de la semilla de achiote adicionando aditivos. Utilizaron quitosano en el pretratamiento del algodón con una solución acuosa al 3%. Las condiciones de teñido fueron a 60°C durante 60 min. y utilizaron una concentración de tinte de 400 mg/L. Los resultados que obtuvieron fueron favorables para el algodón pretratado con quitosano, donde se alcanzó una solidez del color al lavado de 4-5 grados, una solidez del color al frote de 2-3 grados y una solidez a la luz de 1-2 grados. Estos resultados indican que los tratamientos adicionales con estos aditivos ofrecen un gran potencial para mejorar el teñido de algodón con la semilla de achiote, y que el tinte tiene un buen potencial para el teñido de fibras celulósicas.

Muñoz et al. (2022) llevaron a cabo el teñido de lana y algodón con la semilla de achiote. En su primera etapa, realizaron la extracción del colorante de la semilla de achiote para manipular las muestras teñidas, y a partir de ahí llevaron a cabo el análisis cualitativo y cuantitativo de la estabilidad del color en el teñido de lana y algodón; sometiéndolas a pruebas de lavado doméstico, frote y a la luz. Obtuvieron resultados de solidez del color en la lana valor de 3.5, 4 y 3 grados de solidez de color en el lavado doméstico, frote y exposición a la luz, respectivamente. En la fibra de algodón, obtuvieron un promedio de 2.5, 3.5 y 2.5 grados de solidez de color en el lavado doméstico, frote y exposición a la luz.

La experiencia de teñido con la semilla de achiote (*Bixa Orellana*), en las fibras textiles es reducida y más aún en la fibra de alpaca. (Dos Santos y Maier, 2013). La presente investigación tiene como finalidad, determinar el efecto del teñido natural en la

solidez del color al lavado, frote en seco y a la luz, del hilo artesanal de alpaca, teñida con la semilla de achiote.

Material y métodos

La investigación se realizó en el CITE Textil Camélidos Puno del Instituto Tecnológico de la Producción; considerándose los siguientes materiales: Se utilizó como sustrato textil el hilo de alpaca huacaya color blanco, con un peso de 600 gramos de título Nm 6/2. El material de teñido empleado fue la semilla de achiote (*Bixa Orellana*), recolectada en agosto de 2022 en el distrito de San Juan del Oro, provincia de Sandia, región de Puno. Se utilizaron varios materiales y equipos de laboratorio, como un vaso precipitado, cocina eléctrica, bagueta, probeta, matraz, el Gyrowash 815 para la prueba de solidez del color al lavado, y el Abrasímetro Crockmeter 302P para determinar la estabilidad del color a la fricción y establecer cualquier cambio de color producido por el frote. Además, se empleó una escala de grises en la imagen digital para determinar la solidez de color del material textil (Costa, 2010).

Tinturado de los hilos

Para el proceso del teñido de las muestras de hilos de alpaca se aplicó la técnica de teñido por agotamiento a partir de investigaciones previas (Ochoa y Ullauri, 2020).

Extracción del colorante

Se realizó la clasificación y separación de las semillas de achiote, con un peso de 500 g. La deshidratación de las semillas se llevó a cabo en una estufa a una temperatura de 100 °C durante 80 min., con el fin de extraer toda la humedad y preservar la capacidad tintórea de las semillas de achiote. Luego, se trituraron las semillas en pequeñas partículas en un mortero, obteniendo un rendimiento de semilla en polvo del 70%.

Figura 11

Colorante extraído de la semilla de achiote



La extracción del colorante se realizó mediante el método de sólido-líquido por cocción, descrito por Pazos (2017) y Bonet et al. (2020). Este método implica pesar el colorante y agregar 2.5 L de agua blanda en un recipiente de acero inoxidable. La solución se calentó a una temperatura de 90 °C hasta llegar a la temperatura de ebullición, y se dejó hervir por una hora a temperatura constante, seguido de su posterior filtrado para eliminar los residuos, mostrada en la (Figura 11).

Preparación del hilo

Antes de realizar el teñido, se inició con la preparación de 32 madejas de hilo de 10 g. cada una. El hilo utilizado fue artesanal y de color blanco. Las madejas se introdujeron en una solución de jabón (Wooldet 655) al 0.8%, preparada en 400 mL de agua a 40 °C durante 20 min., y se realizó el enjuague. Con este tratamiento, el hilo de alpaca tiene más afinidad con el colorante.

Mordentado

Se aplicó el mordentado directo, ya que es más eficiente y rápido. Se utilizó como mordiente el bicarbonato de sodio (NaHCO_3) con concentraciones de 1.5 g/L y 3 g/L.

Experimentación del tinturado

Cada madeja se colocó en un vaso precipitado con una solución de tinte y mordiente. La relación de baño fue de 1/20 g/mL. La proporción tintórea en relación al peso del hilo a teñir se delineó a dos niveles: 10 % y 15 %. La concentración del mordiente que se dosificó fue de 1.5 g/L y 3 g/L, sometiéndola a una temperatura de 80 °C y 98 °C. El tiempo de teñido fue de 35 min. y 45 min. Al término del teñido, se retiraron las madejas del baño tintóreo y se realizó el enjuague para eliminar el exceso de colorante, dejándolas secar a temperatura ambiente.

Pruebas de solidez del color

Para establecer la solidez del color se realizaron pruebas como la resistencia a la luz, al lavado doméstico y al frote en seco, de acuerdo a las NTP vigentes que se describen a continuación.

Prueba de solidez al lavado doméstico

La solidez del color se evaluó conforme a la Norma Técnica Peruana NTP 231.008:2015. Método para determinar la solidez del color al lavado doméstico, en las cápsulas de la máquina Girowash se introdujo una solución de 0.84 mL de detergente líquido en 150 mL de agua, junto con 10 billas, y se sumergieron las muestras teñidas. Se programó a una temperatura de 31°C durante 20 min. Posteriormente, se realizó el enjuague de las

muestras y se dejaron secar a temperatura ambiente. Luego, se llevó a cabo la evaluación del grado de solidez del color con la escala de grises (INACAL, 2019)

Prueba de solidez al frote en seco

La prueba de solidez al frote se procedió de acuerdo a la Norma Técnica Peruana (NTP 231.042), se colocó la muestra de 50 mm x 130 mm, en el equipo frotímetro, sobre esta pasa un pequeño dispositivo cilíndrico previamente puesta con una tela testigo blanco que se obtiene un manchado por efecto del roce. La tela testigo se comparó con la escala de grises (INACAL, 2019).

Prueba de solidez a la luz

Esta prueba se realizó mediante la aplicación de la Norma Técnica Peruana-NTP 231.007, para lo cual se preparó una cartulina de 10 mm x 60 mm para enrollar los hilos teñidos y someterlos a la luz durante 12 horas. Pasadas las 12 horas, se procedió a ordenar las muestras para evaluar el grado de solidez del color (INACAL, 2019).

Resultados

En la tabla 1, se observa la matriz de experimentos con un diseño factorial de 2^4 y dos réplicas, considerando como variables respuesta la solidez del color al lavado, al frote en seco y a la luz. La base de datos para el análisis estadístico consiste en los grados de solidez del color, los cuales están en un rango de 1 a 5, donde el grado más alto de buena solidez del color es 5, y el grado 1 indica un alto grado de migración de color.

Tabla 1

Matriz de experimentos del teñido con la semilla de achiote

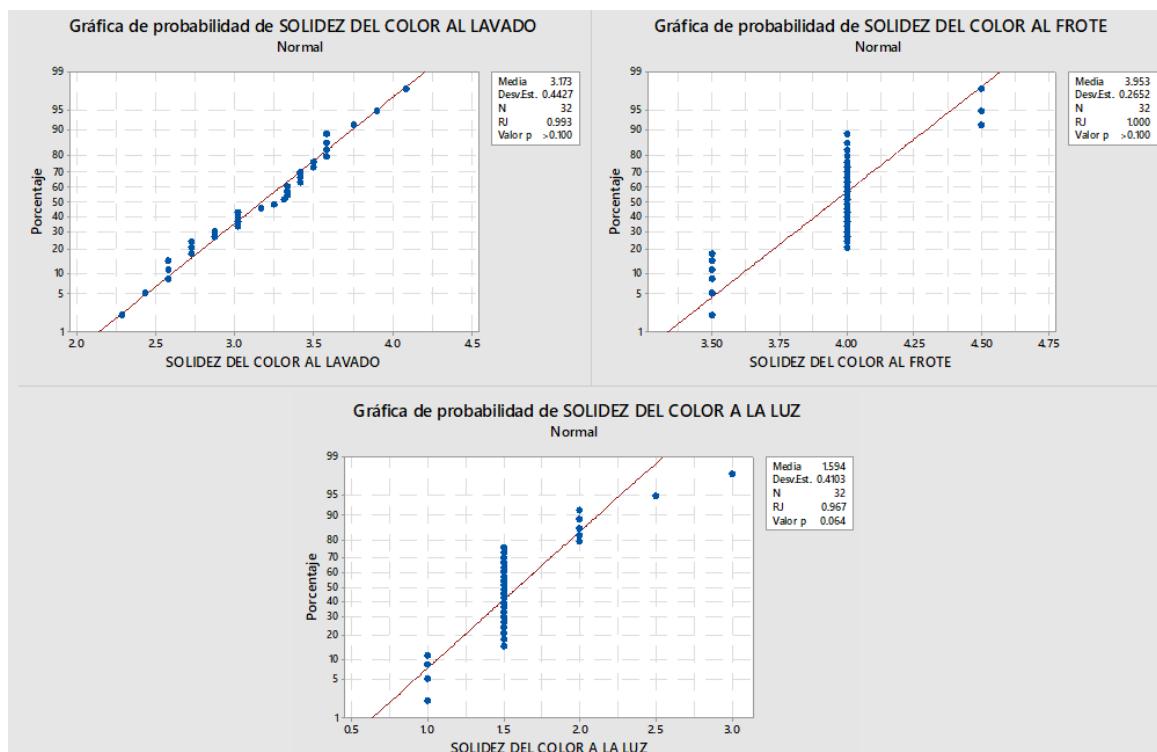
Tratamiento	Factores (parámetros de teñido)				Solidez al lavado		Solidez al frote en seco		Solidez a la luz	
	Relación planta/sustrato (%)	Concentración de Mordiente (g/L)	Temperatura (°C)	Tiempo (min.)	Réplica I	Réplica II	Réplica I	Réplica II	Réplica I	Réplica II
(1)	10	1.5	80	35	3.33	3.33	3.5	4.0	1.5	1.0
a	15	1.5	80	35	3.67	3.67	3.5	3.5	1.5	1.5
b	10	3	80	35	3.33	3.33	4.0	4.0	2.0	1.5
ab	15	3	80	35	3.33	3.33	3.5	3.5	2.0	2.0
c	10	1.5	98	35	3.42	3.50	4.0	4.0	1.5	1.5
ac	15	1.5	98	35	3.92	3.92	4.0	4.0	1.5	1.5

bc	10	3	98	35	3.42	3.42	4.0	4.0	1.5	1.5
abc	15	3	98	35	3.92	3.92	4.0	4.0	1.5	1.5
d	10	1.5	80	45	3.67	3.67	4.0	4.0	1.5	1.5
ad	15	1.5	80	45	3.83	3.67	4.0	4.0	1.0	1.0
bd	10	3	80	45	3.67	3.67	4.0	4.0	2.0	2.0
abd	15	3	80	45	3.83	3.83	3.5	4.0	1.5	1.5
cd	10	1.5	98	45	3.50	3.42	4.5	4.5	2.5	3.0
acd	15	1.5	98	45	4.17	4.08	4.0	4.0	1.5	1.5
bcd	10	3	98	45	3.42	3.42	4.0	4.0	1.5	1.0
abcd	15	3	98	45	4.17	4.17	4.5	4.0	1.5	1.5

Para efectuar el análisis de varianza, se realizó la prueba de normalidad de los datos mediante la prueba de Ryan-Joiner, la cual es similar a la de Shapiro-Wilk para conjuntos de datos menores a 50, con un nivel de significancia de 0.05. El análisis se realizó utilizando el Software Minitab, versión 19.

Figura 1

Prueba de normalidad



En la Figura 1, se observa que el valor p de la prueba Ryan-Joiner de los datos de la solidez del color al lavado, al frote y a la luz es mayor al nivel de significancia de 0.05. Por lo tanto, se concluye que los datos cumplen con el supuesto de normalidad y son aptos para realizar el análisis de varianza (ANOVA).

Tabla 2

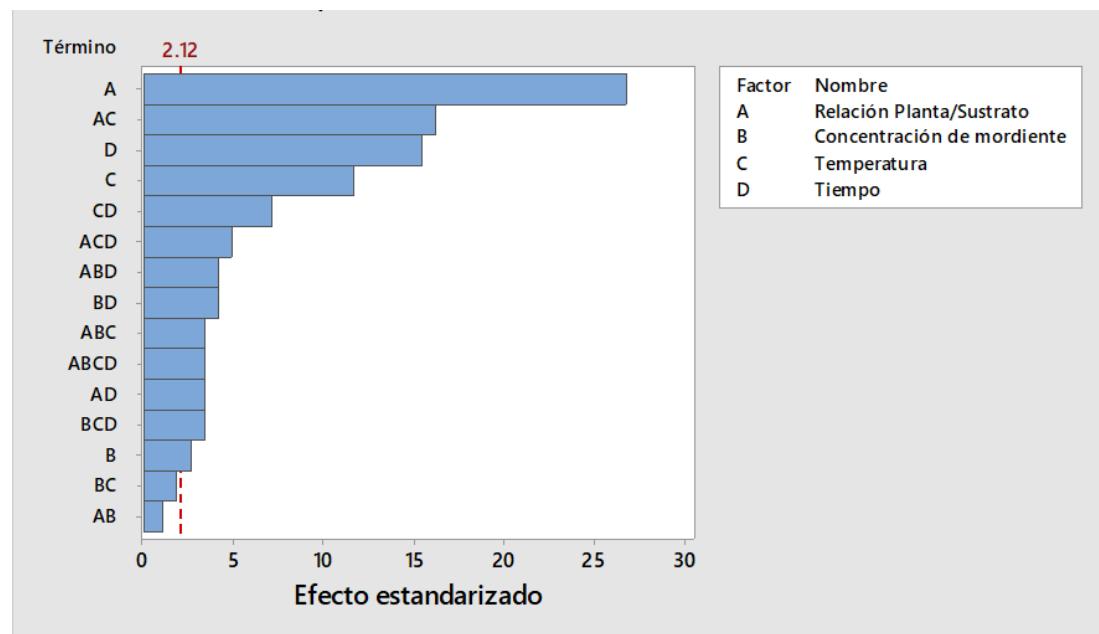
Análisis de la Varianza Para la Solidez del Color al Lavado del Hilado de Alpaca Teñido con semilla de achiote (Bixa orellana)

Factor	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	15	2.32444	0.15496	102.01	0.000
Lineal	4	1.67795	0.41949	276.14	0.000
A : Relación planta/ sustrato	1	1.09397	1.09397	720.14	0.000
B : Concentración de mordiente	1	0.01063	0.01063	7.00	0.018
C : Temperatura	1	0.20855	0.20855	137.29	0.000
D : Tiempo	1	0.36480	0.36480	240.14	0.000
Interacciones de 2 términos	6	0.53082	0.08847	58.24	0.000
A*B	1	0.00195	0.00195	1.29	0.274
A*C	1	0.40126	0.40126	264.14	0.000
A*D	1	0.01758	0.01758	11.57	0.004
B*C	1	0.00543	0.00543	3.57	0.077
B*D	1	0.02626	0.02626	17.29	0.001
C*D	1	0.07834	0.07834	51.57	0.000
Interacciones de 3 términos	4	0.09809	0.02452	16.14	0.000
A*B*C	1	0.01758	0.01758	11.57	0.004
A*B*D	1	0.02626	0.02626	17.29	0.001
A*C*D	1	0.03668	0.03668	24.14	0.000
B*C*D	1	0.01758	0.01758	11.57	0.004
Interacciones de 4 términos	1	0.01758	0.01758	11.57	0.004
A*B*C*D	1	0.01758	0.01758	11.57	0.004
Error	16	0.02431	0.00152		
Total	31	2.34874			
$R^2 = 98.97\%;$ $R^2_{ajus} = 98.00\%$		Nivel de significancia 5%			

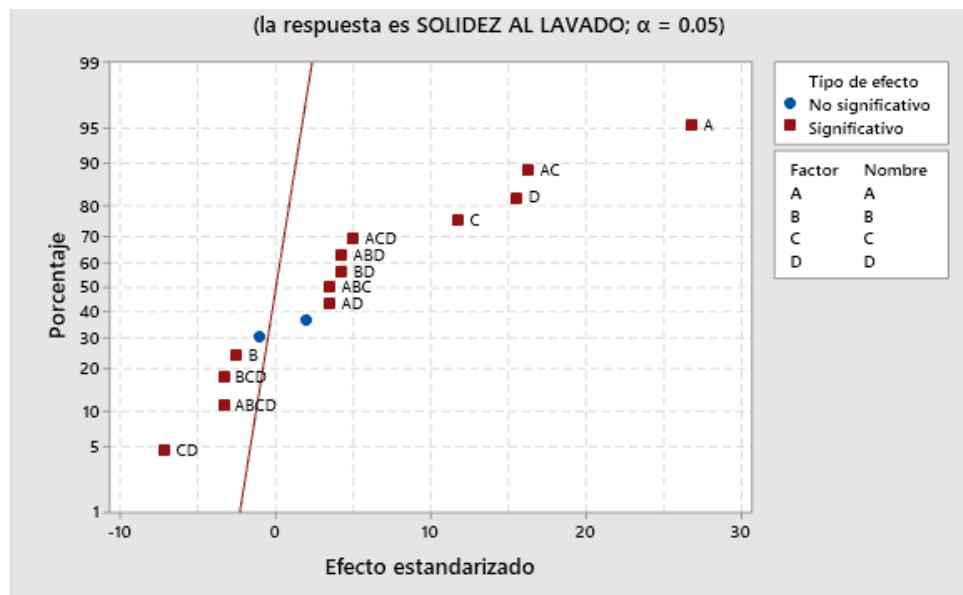
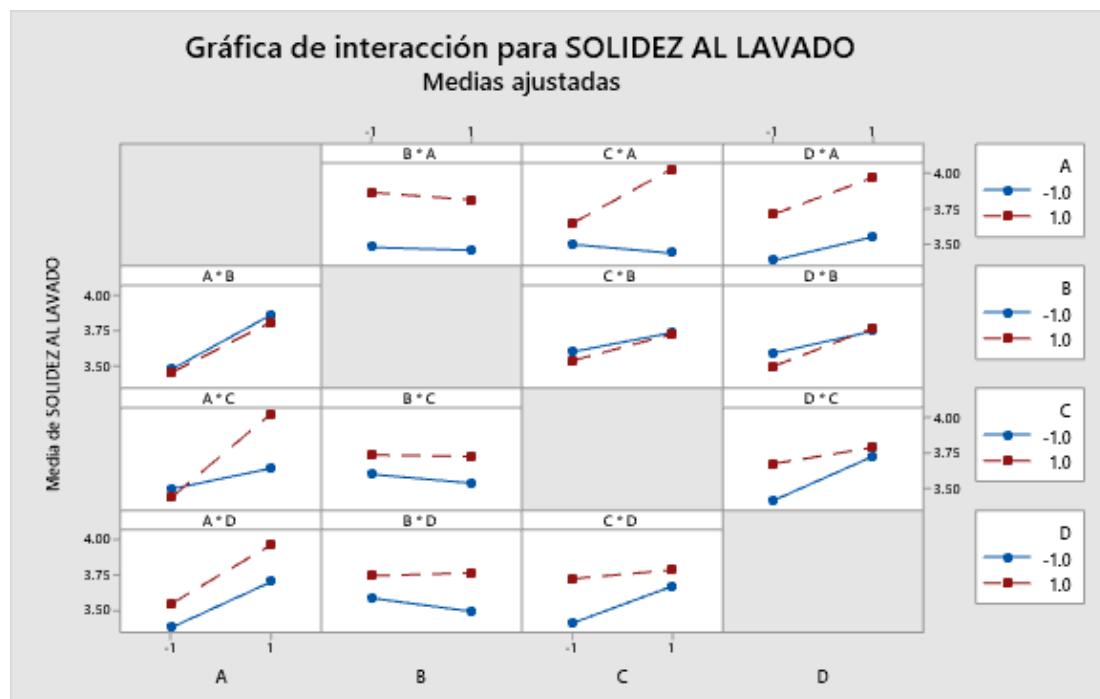
En la Tabla 2 se observan los resultados del análisis de la varianza para la solidez del color al lavado del hilado teñido con la semilla de achiote, con un nivel de significancia del 0.05. De acuerdo con una probabilidad de valor $p=0.00$, los factores relación planta/sustrato (A), concentración de mordiente (B), temperatura (C) y tiempo (D) tienen efectos significativos en la solidez del color al lavado. La interacción de 2 factores es estadísticamente significativa, a excepción de la interacción de relación planta/sustrato vs. concentración de mordiente (AB), con un valor $p = 0.274$, el cual es mayor al nivel de significancia de 0.05. De igual manera, sucede con la interacción de concentración de mordiente vs. temperatura (BC), con un valor $p = 0.077$, que es mayor a 0.05, por lo que no habría diferencia significativa. Es decir, que la interacción de los dos factores AB y BC no tendría efecto sobre la solidez del color al lavado. La interacción de 3 y 4 factores es significativa, con un valor $p = 0.00$, siendo menor que 0.05. Asimismo, se muestra el $R^2 = 98.97\%$ y $R^2_{ajus} = 98.00\%$, lo que significa que los datos se ajustan bien al modelo lineal y que existe una variabilidad en los datos de la solidez del color al lavado.

Figura 2

Diagrama de Pareto para los Efectos Estandarizados en Relación a su Valor Absoluto Para la Solidez del Color al Lavado



En la Figura 2 y 3 se observa de manera ordenada los factores más influyentes sobre la solidez del color al lavado y se muestra que el factor relación planta/sustrato (A) y la interacción de 2 factores relación planta/sustrato vs. temperatura (AC) tienen mayor efecto sobre la solidez del color al lavado, verificando así los resultados del ANOVA en la Tabla 2.

Figura 3*Grafica normal de efectos estandarizados***Figura 4***Grafica de interacción de la solidez del color al lavado*

En la Figura 4 se observa la interacción de los factores, y se puede confirmar claramente que hay una fuerte interacción del factor AC, lo cual indica que existe un efecto significativo en la solidez del color al lavado.

Tabla 3

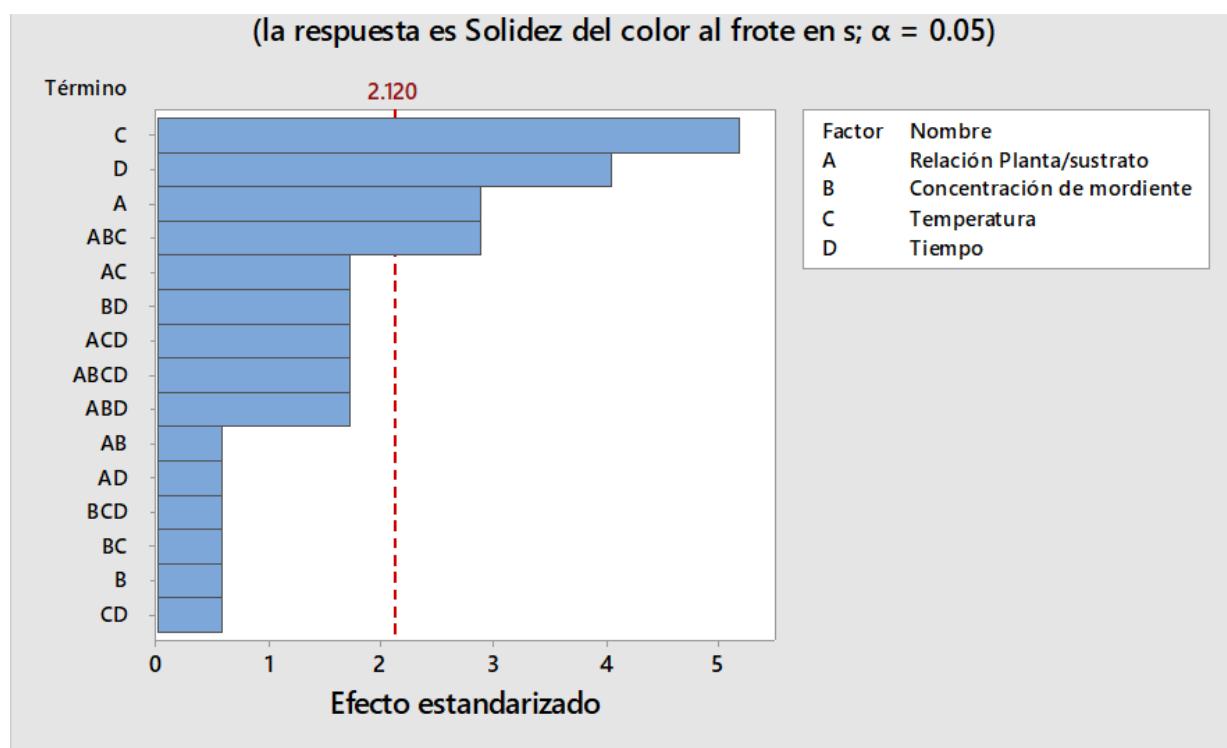
*Análisis de la Varianza Para la Solidez del Color al Frote en Seco del Hilado de Alpaca Teñido con semilla de achiote (*Bixa orellana*)*

Factor	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	15	1.80469	0.120312	5.13	0.001
Lineal	4	1.21875	0.304688	13.00	0.000
A: Relación planta/ sustrato	1	0.19531	0.195313	8.33	0.011
B: Concentración de mordiente	1	0.00781	0.007813	0.33	0.572
C: Temperatura	1	0.63281	0.632812	27.00	0.000
D: Tiempo	1	0.38281	0.382813	16.33	0.001
Interacciones de 2 términos	6	0.17188	0.028646	1.22	0.346
A*B	1	0.00781	0.007812	0.33	0.572
A*C	1	0.07031	0.070313	3.00	0.102
A*D	1	0.00781	0.007813	0.33	0.572
B*C	1	0.00781	0.007812	0.33	0.572
B*D	1	0.07031	0.070312	3.00	0.102
C*D	1	0.00781	0.007812	0.33	0.572
Interacciones de 3 términos	4	0.34375	0.085937	3.67	0.026
A*B*C	1	0.19531	0.195312	8.33	0.011
A*B*D	1	0.07031	0.070312	3.00	0.102
A*C*D	1	0.07031	0.070312	3.00	0.102
B*C*D	1	0.00781	0.007813	0.33	0.572
Interacciones de 4 términos	1	0.07031	0.070312	3.00	0.102
A*B*C*D	1	0.07031	0.070312	3.00	0.102
Error	16	0.37500	0.023437		
Total	31	2.17969			
$R^2 = 82.80\% ; R^2_{ajus} = 66.57\%$		Nivel de significancia 5%			

En la Tabla 3 se observa que los factores A, C y D tienen efectos significativos en la solidez del color al frote en seco. De igual manera, la interacción de tres factores ABC también muestra un efecto significativo. Por otro lado, todas las interacciones de dos factores tienen un p-valor > 0.05, por lo que no tienen efecto sobre la variable respuesta.

Figura 5

Diagrama de Pareto para los Efectos Estandarizados en Relación a su Valor Absoluto Para la Solidez del Color al Frote en Seco



La Figura 5 y 6 contrastan los resultados de la Tabla 3, donde se verifica que el factor relación planta/sustrato (A) y tiempo (D) son significativos. Del mismo modo, el factor temperatura (C) y la interacción de tres factores ABC tienen un mayor efecto en la solidez del color al frote en seco.

Figura 6

Grafica normal de efectos estandarizados

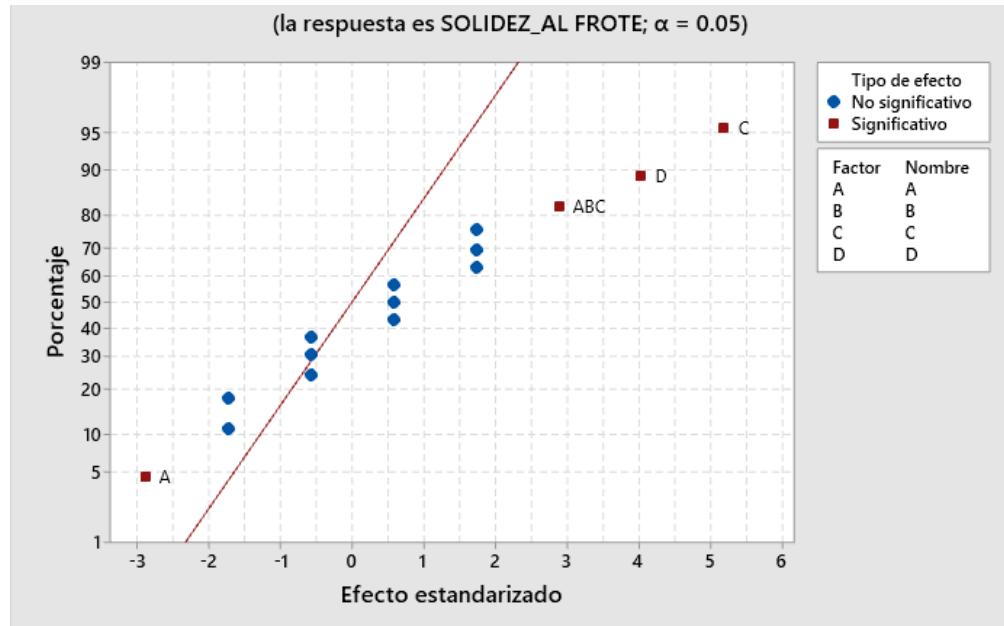
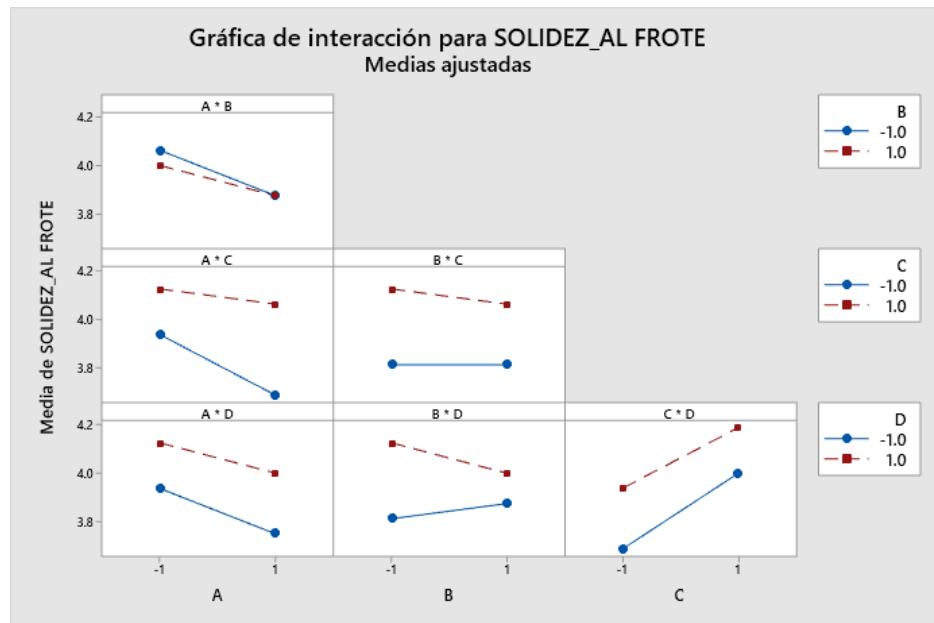


Figura 7

Grafica de interacción de la solidez del color al frote en seco



En la Figura 7 se observa la interacción de los factores, y se puede ver que las rectas que definen el efecto en la solidez del color al frote son prácticamente paralelas, a excepción del factor AB, lo cual indica que existe una interacción ligera; sin embargo, todas las interacciones de dos factores no son significativas, como se puede observar en los resultados del ANOVA de la Tabla 3.

Tabla 4

*Análisis de la Varianza Para la Solidez del Color a la Luz del Hilado de Alpaca Teñido con semilla de achiote (*Bixa orellana*)*

FACTOR	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	15	4.71875	0.31458	10.07	0.000
Lineal	4	0.37500	0.09375	3.00	0.050
A: Relación planta/ sustrato	1	0.28125	0.28125	9.00	0.008
B: Concentración de mordiente	1	0.03125	0.03125	1.00	0.332
C: Temperatura	1	0.03125	0.03125	1.00	0.332
D: Tiempo	1	0.03125	0.03125	1.00	0.332
Interacciones de 2 términos	6	3.18750	0.53125	17.00	0.000
A*B	1	0.28125	0.28125	9.00	0.008
A*C	1	0.03125	0.03125	1.00	0.332
A*D	1	0.78125	0.78125	25.00	0.000
B*C	1	1.53125	1.53125	49.00	0.000
B*D	1	0.28125	0.28125	9.00	0.008
C*D	1	0.28125	0.28125	9.00	0.008
Interacciones de 3 términos	4	0.87500	0.21875	7.00	0.002
A*B*C	1	0.28125	0.28125	9.00	0.008
A*B*D	1	0.28125	0.28125	9.00	0.008
A*C*D	1	0.03125	0.03125	1.00	0.332
B*C*D	1	0.28125	0.28125	9.00	0.008
Interacciones de 4 términos	1	0.28125	0.28125	9.00	0.008
A*B*C*D	1	0.28125	0.28125	9.00	0.008
Error	16	0.50000	0.03125		
Total	31	5.21875			

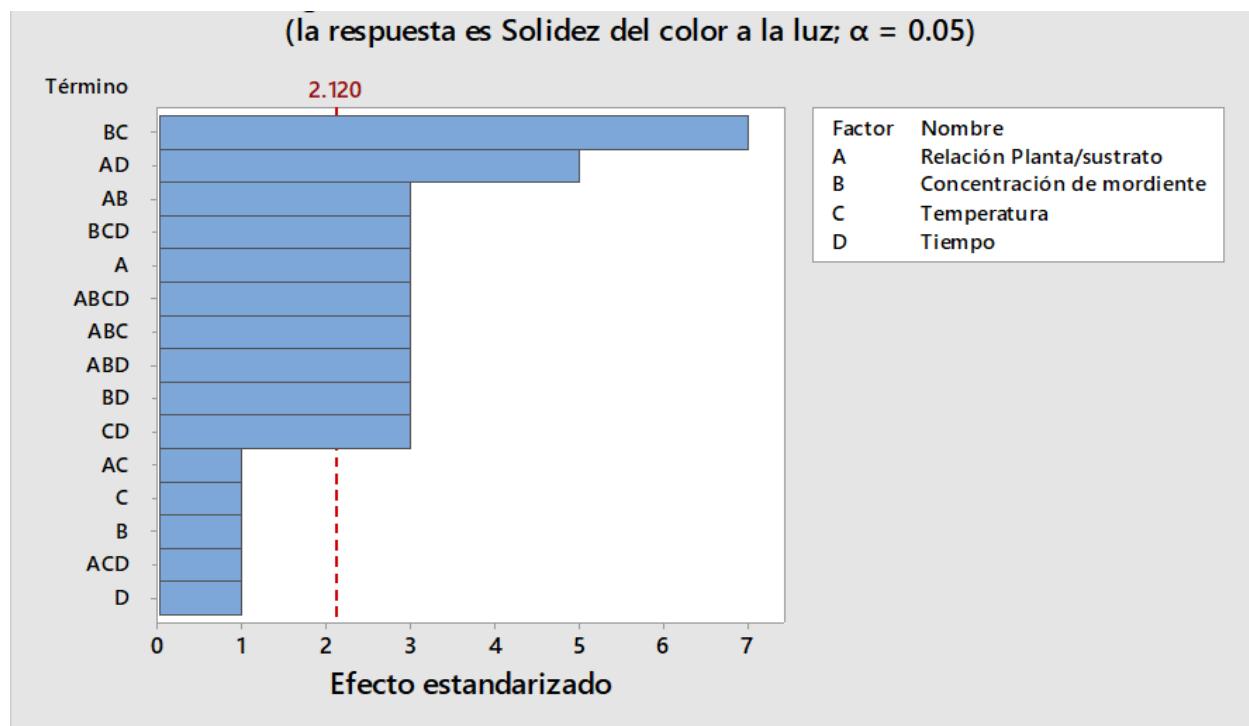
$R^2 = 90.42\%$; $R^2_{ajus} = 81.44\%$

Nivel de significancia 5%

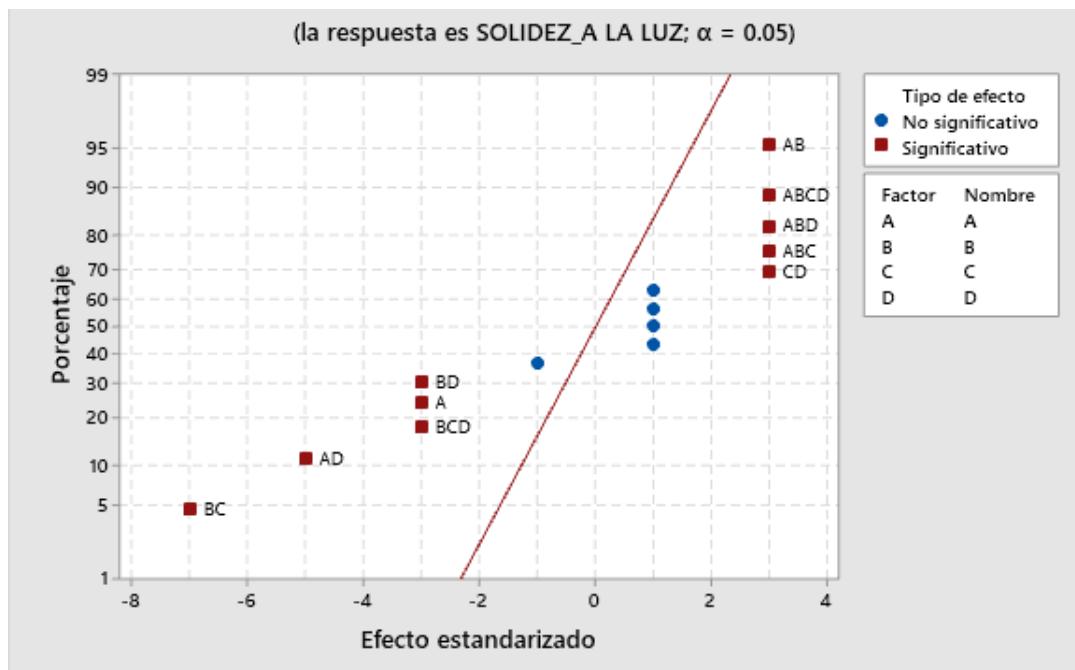
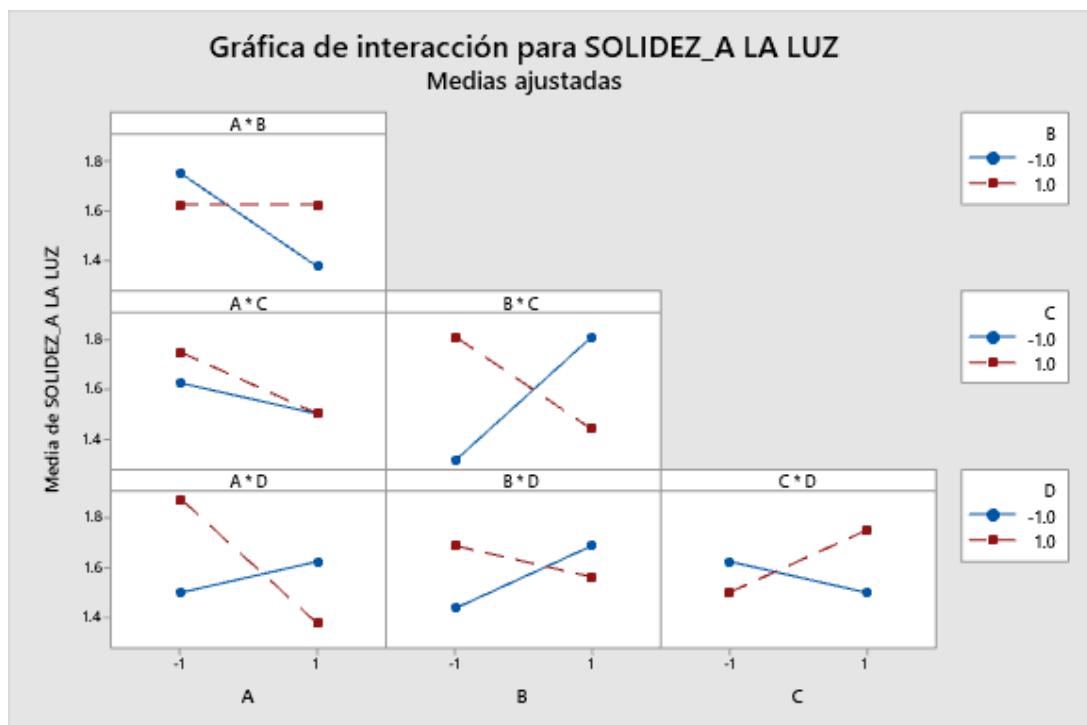
En la tabla 4 se muestra que los factores B, C y D, la interacción de 2 y 3 factores como es AC y ACD tienen un p-valor > 0.05 por lo que no tienen un efecto significativo en la solidez de color a la luz, a partir de los factores mencionados los demás factores son significativos.

Figura 8

Diagrama de Pareto para los Efectos Estandarizados en Relación a su Valor Absoluto Para la Solidez del Color a la Luz



La Figura 8 y 9 se verifica los mismos resultados del ANOVA de la Tabla 4, donde se observa con más claridad que la interacción de los dos factores, que son, concentración de mordiente vs. temperatura (BC), seguido por la relación planta/sustrato vs. tiempo (AD), tienen un mayor efecto sustancial sobre la solidez del color a la luz.

Figura 9*Grafica normal de efectos estandarizados***Figura 10***Grafica de interacción de la solidez del color a la luz*

En la Figura 10 se observa la interacción de los efectos, resaltando que las líneas se cruzan en los efectos AB, AD, BC, BD y CD, lo cual indica que existe un efecto del teñido con la semilla de achiote sobre la solidez del color a la luz, con excepción del efecto AC, como se puede verificar en las gráficas anteriores.

Discusión

El estudio sobre el teñido con la semilla de achiote en el hilo de alpaca muestra que los resultados del análisis de varianza para la solidez del color al lavado, al frote y a la luz indican que el factor relación planta/sustrato (A) tiene un efecto significativo en las tres variables. Por otro lado, la interacción de dos factores como AC tiene un efecto significativo en la solidez del color al lavado, y de igual manera, los factores BC y AD tienen un efecto significativo en la solidez del color a la luz. Además, la interacción de tres factores, ABC, tiene un efecto sustancial sobre la solidez del color al frote, y el factor BCD tiene un efecto significativo sobre la solidez del color a la luz.

Los resultados de la investigación no se lograron contrastar directamente con otros estudios donde empleen el colorante de la semilla de achiote en el hilo de alpaca; sin embargo, existe un estudio de (Bonet et al., 2020) Emplean nanocomuestos formados por nanoarcillas y el colorante derivado de la semilla de achiote para teñir lana de ovino. En dicho estudio, se trabajó con una temperatura de 85 °C, manteniéndola durante 60 minutos y con una concentración de colorante al 4%, adicionando 10 g de nanoarcilla al baño de teñido. Los resultados que obtuvo referente a la solidez del color al frote fueron de 4-5 grados, que es excelente en la escala de grises, y es mayor a lo obtenido en el estudio actual, que fue de 3-4 grados, que es buena en la escala de grises. Por otra parte, Archana (2020) estudió el efecto del teñido de achiote en algodón, donde obtuvo un resultado para la solidez del color al frote y al lavado de un valor de 4 grados en la escala de grises, que es similar al presente estudio, que fue un valor de 3-4 grados en la escala de grises.

Conclusión

El tinte extraído de la semilla de achiote fue obtenido con éxito. Tras investigar los efectos del teñido con este tinte en la solidez del color del hilo de alpaca, se concluye que la relación planta/sustrato (A) ejerce un efecto significativo en las tres variables. Además, las interacciones de los factores AC, BC, AD y BCD tienen un impacto sustancial en la solidez del color al lavado y a la luz, respectivamente, ya que el p-valor obtenido es menor a 0.05 de significancia. Este hallazgo respalda la viabilidad de aplicar el tinte de la semilla de achiote en el hilo de alpaca, generando una amplia gama de tonalidades

naranjas y convirtiendo así el proceso de teñido en una opción más amigable con el medio ambiente.

Agradecimientos e información de financiamiento

Al CITE Textil Camélidos Puno- ITP por el apoyo en la ejecución del estudio.

Contribución de autoría

Fredy Barreda Alvarez, participo en la ejecución del proyecto en el CITE Textil Camélidos Puno, interpretación y redacción.

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

Conflictos de interés

No existe conflicto de intereses

Referencias bibliográficas

- Archana, V. (2020). A study on the effect of annatto dye and chitosan finish on organic cotton, viscose & modal knitted fabrics. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 2(2). https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper/volume2/issue_4_april_2020/551/1628082986.pdf
- Arroyo Figueroa, G. (2020). *Universidad de Guanajuato, Teñido de fibras naturales con colorantes naturales.* Recuperado de <https://www.ugto.mx/eugreka/contribuciones/46-tenido-de-fibras-naturales-con-colorantes-naturales>
- Bunfueang, P., Samosorn, S., Bremner, J., Sajomsang, W., Gonil, P., Saisara, A. & Chairat, M. (2019). Additive effects on cotton dyeing with dye extract from achiote seeds. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 44 (4), 466-474.
- Bonilla. (2009). *Manual del cultivo del achiote. Proyecto de Desarrollo de la Cadena de Valor y Conglomerado Agrícola*, 07, 16. Nicaragua
- Bonet, M., Carvajal, E., Bau, E., y Chavez, P. (2020) Teñido de lana por agotamiento con nanoarcillas y extractos de achiote (Bixa orellana). AXIOMA, (22), 52-56.
- Costa, M. (2010). *Las fibras textiles y su tintura* (Segunda ed., Vol. II). Lima: CONCYTEC.
- Dos Santos M., y Maier, M. (2013). *Química y color en los textiles*. Buenos Aires: Facultad de ciencias exactas y naturales.
- El imparcial. (3 de agosto de 2019). *El imparcial*. Obtenido de El imparcial: <https://www.elimparcial.com/estilos/Que-es-el-fast-fashion-20190803-0025.html>

INACAL. (2019). Solidez a la luz. *NTP 231.183*. Lima, Lima, Perú: Instituto nacional de calidad

INACAL. (2019). Solidez al frote. *NTP 231.180*. Lima, Lima, Perú: Instituto Nacional de Calidad.

INACAL. (2019). Solidez al lavado. *NTP 231.181*. Lima, Lima, Perú: Instituto Nacional de Calidad.

Muñoz, L., Diaz, J., y Albarracín, L. (2022). *Coloración de fibras textiles a partir de achiote* (Trabajo de grado). Universidad EAN. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10882/11987>

Ochoa, P., y Ullauri, N. (2020). Revalorización de métodos ancestrales de tinturado natural en las provincias de Loja y Azuay del sur de Ecuador. *Siembra*, 7(1), 050-059. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i1.1914>

Pazos, S. (marzo de 2017). Teñido en base a tintes naturales: conocimiento y técnicas ancestrales de artistas textiles de Perú y Bolivia. *Manual de teñido*. Lima, Lima, Perú: Soluciones Prácticas.

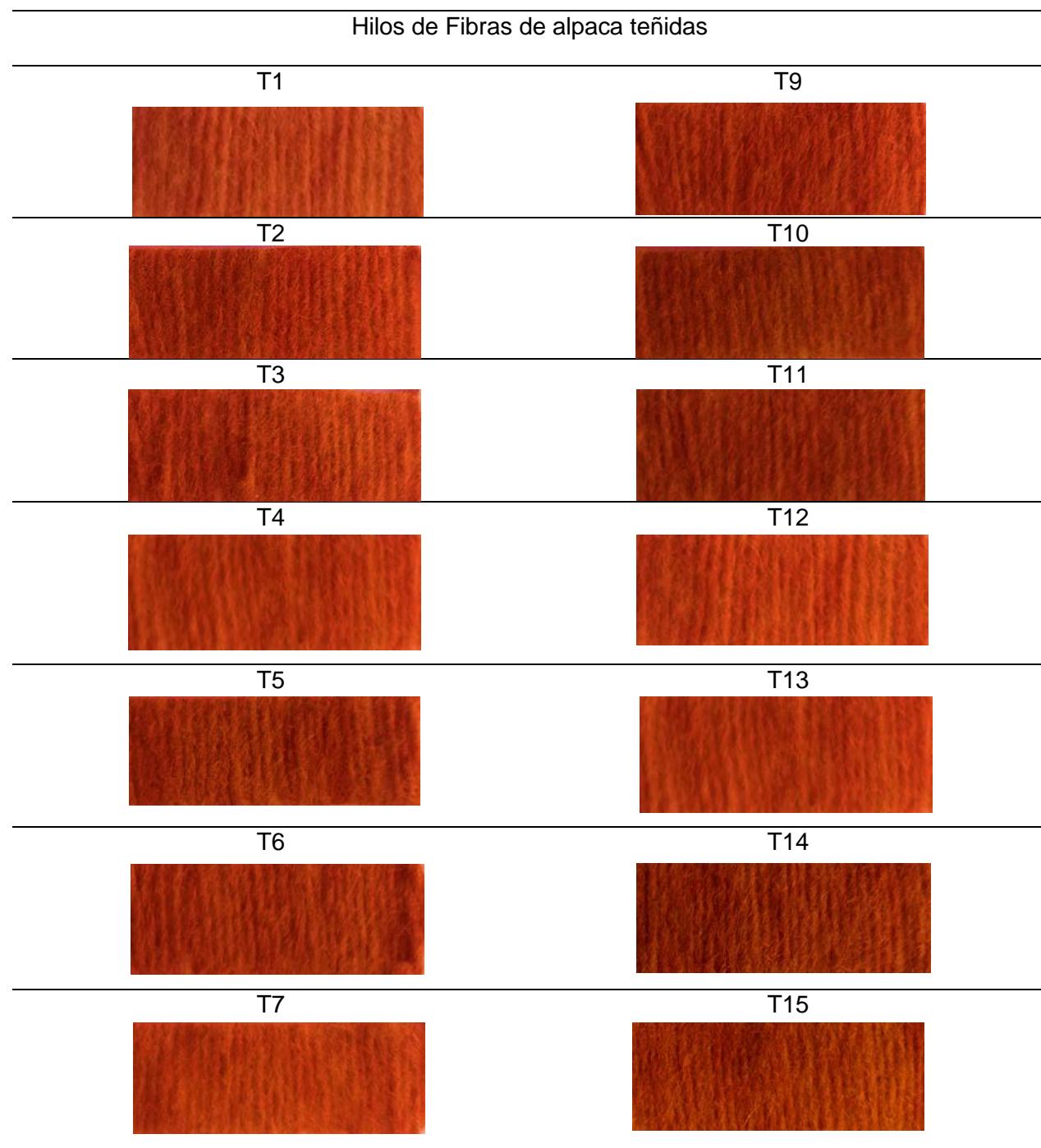
Pineda, J., y Calderón, L. (2003). Planta piloto para obtener colorante de la semilla del achiote (*Bixa orellana*). *Revista Universidad EAFIT*, 39(131), 8-22.

Paredes, B. (2002). *Análisis y obtención de colorante natural a partir de la Baccharis latifolia* (chilca). (Tesis pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

Apéndice 1. Resultado de teñidos

Figura 12

Resultado de los teñidos con el colorante extraído de la semilla de achiote



T8



T16



Nota: se muestra los hilados teñidos con pigmento extraído de la semilla de achiote. Donde T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11, T12, T13, T14, T15, T16 se refiere al número de tratamientos.