



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS
INDUSTRIALES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TEXTIL Y
DE CONFECCIONES**



**“EFECTOS DEL COLORANTE NATURAL (*Achiote - Bixa orellana*)
EN LA SOLIDEZ DE COLOR EN EL HILADO DE LANA DE OVINO,
PUNO - 2023”**

Erika Turpo Chipana

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO TEXTIL Y DE CONFECCIONES**

ASESOR: Dr. Julio César Huanca Marín



JULIACA - PERÚ

2025



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS
INDUSTRIALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TEXTIL Y
DE CONFECCIONES



“EFECTOS DEL COLORANTE NATURAL (*Achiote - Bixa orellana*)
EN LA SOLIDEZ DE COLOR EN EL HILADO DE LANA DE OVINO,
PUNO - 2023”

Erika Turpo Chipana

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO TEXTIL Y DE CONFECCIONES

ASESOR: Dr. Julio César Huanca Marín



JULIACA - PERÚ
2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS
INDUSTRIALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TEXTIL Y DE
CONFECCIONES



**“EFECTOS DEL COLORANTE NATURAL (*Achiote - Bixa orellana*) EN
LA SOLIDEZ DE COLOR EN EL HILADO DE LANA DE OVINO,
PUNO - 2023”**

Erika Turpo Chipana

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO TEXTIL Y DE CONFECCIONES

ASESOR: Dr. Julio Cesar Huanca Marín

Juliaca, 2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Turpo, E. (2025). *Efectos del colorante natural (Achiote – Bixa Orellana) en la solidez de color en el hilado de lana de ovino, Puno - 2023..* (Tesis de Ingeniería). Juliaca: Universidad Nacional de Juliaca.

AUTOR: Erika Turpo Chipana

TÍTULO: Efectos del colorante natural (achiote – *Bixa orellana*) en la solidez de color en el hilado de lana de ovino, puno – 2023.

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2025

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (150)

NOTA: Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería Textil y de Confecciones - Universidad Nacional de Juliaca

CÓDIGO: 000028-04/T95

NOTA: Incluye bibliografía

ASESOR: Dr. Julio Cesar Huanca Marín

PALABRAS CLAVE: Achiote, lana de ovino, mordiente, solidez, teñido

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS INDUSTRIALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TEXTIL Y DE CONFECCIONES

“EFECTOS DEL COLORANTE NATURAL (Achiote - *Bixa orellana*) EN LA SOLIDEZ DE COLOR EN EL HILADO DE LANA DE OVINO, PUNO – 2023”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO TEXTIL Y DE CONFECCIONES

Presentada por:

Bach. Erika Turpo Chipana

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

D. Sc. Wilber Antonio Figueroa Quispe

PRESIDENTE DE JURADO



Mtra. Roxana Tacuri Robles

JURADO (secretario)



2° MIEMBRO

Mg. Jesús Arias Escobar

JURADO (Vocal)



3° MIEMBRO

Dr. Julio Cesar Huanca Marin
ASESOR DE TESIS

TESIS_Turpo_Chipana_Erika.pdf

Universidad Nacional de Juliaca



Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:546820881

150 páginas

Fecha de entrega

39.945 palabras

6 ene 2026, 2:20 p.m. GMT-5

204.498 caracteres

Fecha de descarga

16 ene 2026, 2:36 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS_Turpo_Chipana_Erika.pdf

Tamaño del archivo

6.0 MB

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE JULIACA
CALLE DE LA UNAJ N° 1000
JULIACA - PERÚ




15% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe


- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 13%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 8%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
43 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.


UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
Escuela de Ingeniería de Procesos Industriales
Unidad de Investigación

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, con todo mi corazón, a quienes estuvieron presentes y me han acompañado, siendo fuente de inspiración y fortaleza en cada paso de este camino.

A Dios, que me dio la oportunidad de cumplir mis metas como profesional por darme la fuerza y la fe para seguir adelante incluso en los momentos más difíciles.

A mi madre, Benedigta Chipana, por ser la fuerza y guía que ha orientado cada paso de mi vida, por su amor incondicional y su esfuerzo incansable al enseñarme a no rendirme, por sostenerme en los momentos difíciles e inculcarme el valor del conocimiento y del trabajo. Este logro es un reflejo de todo lo que me has dado. Hoy, con el corazón lleno de gratitud, te la dedico, porque todo lo que soy y todo lo que he logrado tiene su raíz en ti.

A mi padre, Miguel Turpo, que ahora está en el cielo y vive eternamente en mi corazón. Aunque físicamente ya no estás, tu amor, tu recuerdo y tus enseñanzas guían cada paso de mi vida. Este logro también es tuyo, y sé que estarías orgulloso de mí.

A mis hermanos y hermanas, mis compañeros de vida, que han estado a mi lado con su cariño, su apoyo, compañía y sus palabras de ánimo. Gracias por ser mi refugio en los días difíciles. Gracias por alentarme, por confiar en mí y por ser parte de esta etapa tan importante, cada uno de ustedes tiene un lugar especial en este logro.

A mi amiga Erika Milagros, por su compañía constante, animarme y estar presente con afecto sincero.

A la persona que me brindó su apoyo durante este proceso, gracias por tu tiempo, tu paciencia, tu guía y por creer en mí. Tu ayuda fue fundamental para alcanzar esta meta.

Y a Maya y Luna, mis fieles compañeras, que, con su ternura, su energía y su silenciosa compañía hicieron más llevadero este proceso. Ellas también me dieron razones para sonreír en los días más pesados.

Erika Turpo Chipana

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios, por ser la fuente de inspiración y fortaleza que me permitió perseverar en el camino hacia el logro de uno de mis más grandes anhelos.

A la Universidad Nacional De Juliaca. facultad de Procesos industriales, en especial a la Escuela profesional de ingeniería textil y de confecciones, a los docentes que compartieron su conocimiento quienes me permitieron llegar a este punto y aportar a mi formación profesional.

Al instituto tecnológico de la producción ITP red CITE textiles camélidos Arequipa y a su director, Mg. Guido Michell David Chirinos Tovar; al Ing. José Luis Carrasco Bocangel y al Sr. Marco Antonio Silva Paz, por el valioso e incondicional apoyo brindado durante la ejecución experimental de la presente investigación.

Al Dr. Julio César Huanca Marín, asesor de tesis, por su acompañamiento académico, dedicación, tiempo y paciencia a lo largo del desarrollo del presente trabajo de investigación.

Al Dr. Jhon Richard Huanca por su valioso apoyo en el presente trabajo de investigación, así como por dedicar su tiempo, orientación y conocimientos en la redacción y desarrollo de mi tesis.

A mis jurados D. Sc. Wilber Antonio Figueroa Quispe, Mtra. Roxana Tacuri Robles y Mg. Jesús Arias Escobar por el tiempo dedicado a la revisión de este trabajo, así como por sus observaciones, recomendaciones y aportes que enriquecieron de manera significativa la calidad y el desarrollo de la presente tesis.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Textil y de Confecciones, Por el aporte permanente en el desarrollo de mis capacidades profesionales.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
ACRÓNIMOS	xv
RESUMEN.....	xvi
Palabras clave:.....	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN	xviii

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.2.1. Problema general.....	3
1.2.2. Problemas específicos	3
1.3. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. JUSTIFICACIÓN	4
1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.5.1. Alcances	7
1.5.2. Limitaciones	7

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	8
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	10
2.1.3. Antecedentes locales	11

2.2.	BASES TEÓRICAS.....	12
2.2.1.	Historia de los colorantes	12
2.2.2.	Colorantes.....	13
2.2.3.	Impacto ambiental asociado a los colorantes textiles	13
2.2.4.	Colorantes naturales.....	14
2.2.5.	Colorantes vegetales.....	15
2.2.6.	Achiote (<i>Bixa orellana</i>).....	15
2.2.7.	Extracción de colorante.....	17
2.2.8.	Método de extracción.....	17
2.2.9.	Población de ovino.....	18
2.2.10.	Ovino criollo.....	18
2.2.11.	Lana de ovino.....	18
2.2.12.	Teñido.....	19
2.2.13.	Factores que influyen en el proceso de teñido.....	20
2.2.14.	Mordiente.....	21
2.2.15.	Proceso de teñido	22
2.2.16.	Solidez del color	23

CAPITULO III
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	ÁMBITO DE ESTUDIO.....	27
3.2.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	27
3.2.1.	Tipo de investigación	27
3.2.2.	Nivel de investigación.....	28
3.2.3.	Diseño de investigación.....	28
3.2.4.	Enfoque de investigación	28
3.2.5.	Método de investigación.....	28
3.3.	FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	29
3.3.1.	Hipótesis general.....	29

3.3.2.	Hipótesis específicas	29
3.4.	POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	29
3.4.1.	Población	29
3.4.2.	Tipo de muestreo.....	30
3.5.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	31
3.5.1.	Técnicas.....	31
3.5.2.	Instrumentos	31
3.6.	MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS	32
3.6.1.	Material de teñido y solidez.....	32
3.6.2.	Equipos.....	32
3.6.3.	Insumos y reactivos.....	32
3.6.4.	Otros materiales	33
3.7.	MÉTODOS.....	33
3.7.1.	Método de extracción y aplicación de colorante.....	33
3.7.2.	Metodología de evaluación de solidez	33
3.8.	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	34
3.8.1.	Método general de procesos	35
3.8.2.	Recolección y selección de las semillas del fruto de achiote (<i>Bixa orellana</i>).....	36
3.8.3.	Extracción de colorante de achiote (<i>Bixa orellana</i>).....	38
3.8.4.	Preparación de lana de ovino para el teñido	40
3.8.5.	Procedimiento de teñido del hilado de lana de ovino	43
3.8.6.	Procedimiento de los ensayos de solidez (lavado, frote y luz).....	48
3.9.	PROCESOS DE DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO...54	

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1.	CONTRASTE DE HIPÓTESIS.....	59
4.2.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	61
4.2.1.	Resultados de solidez al color.....	61

4.2.2.	Resultados de solidez solidez al lavado	67
4.2.3.	Resultados de solidez al frote	76
4.2.4.	Resultados de solidez a la luz	85
4.3.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	94
4.3.1.	Análisis de efecto de los factores de teñido en la solidez del color	94
4.3.2.	Análisis de la solidez del color según tipo de ensayo	95
4.3.3.	Discusión de resultados con otros autores.....	97

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	CONCLUSIONES	100
5.2.	RECOMENDACIONES	102
5.3.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
	ANEXOS.....	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Determinación del tamaño de las muestras para el diseño experimental	30
Tabla 2: Cálculo de título del hilado	41
Tabla 3: Calculo para tratamiento	42
Tabla 4: Caracterización de código del color teñido con achiote	46
Tabla 5: Condiciones del ensayo.....	48
Tabla 6: Calificación en la escala de grises	54
Tabla 7: Diseño factorial 2 ⁵	56
Tabla 8: Combinación de tratamientos del teñido con achiote (<i>Bixa arellana</i>).....	57
Tabla 9: Variables independientes.....	58
Tabla 10: Variables de respuesta	58
Tabla 11: Resultados de la prueba de Levene (homogeneidad de varianza)	60
Tabla 12: Análisis de varianza	60
Tabla 13: Resultados de evaluación de solidez al color	61
Tabla 14: Análisis de varianza	62
Tabla 15: Resultado para la solidez al lavado (prueba de Ryan Joiner).....	67
Tabla 16: Resultados de la prueba de Levene (homogeneidad de varianza).....	68
Tabla 17: Análisis de varianza (ANOVA)	68
Tabla 18: Resultados de evaluación de solidez al lavado.....	69
Tabla 19: Análisis de varianza.....	70
Tabla 20: Prueba de comparaciones múltiples (tukey) para la solidez al lavado	75
Tabla 21: Resultado para la solidez al frote (prueba de Ryan Joiner).....	76
Tabla 22: Resultados de la prueba de Levene (homogeneidad de varianza).....	77
Tabla 23: Análisis de varianza (ANOVA)	77
Tabla 24: Resultados de evaluación de solidez al color	78
Tabla 25: Análisis de varianza.....	79
Tabla 26: Prueba de comparaciones múltiples (tukey) para la solidez al frote	84
Tabla 27: Resultado para la solidez a la luz (prueba de Ryan Joiner).....	85
Tabla 28: Resultados de la prueba de Levene (homogeneidad de varianza).....	86
Tabla 29: Análisis de varianza (ANOVA)	86
Tabla 30: Resultados de evaluación de solidez al color	87
Tabla 31: Análisis de varianza.....	88
Tabla 32: Prueba de comparaciones múltiples (tukey) para la solidez a la luz	93

Tabla 33: Discusión de resultados.....	97
Tabla 34: Discusión de resultados.....	98
Tabla 35: Discusión de resultados.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Árbol de achiote (<i>Bixa orellana</i>)	16
Figura 2: Semillas del fruto de achiote (<i>Bixa orellana</i>).....	16
Figura 3: Formula de solubilidad de bixina	17
Figura 4: Escala de grises de transferencias de color	26
Figura 5: Escala de grises de cambio de color	26
Figura 6: Lugar de ejecución.....	27
Figura 7: Proceso general de la experimentación.....	35
Figura 8: Selección y clasificación del achiote (<i>Bixa orellana</i>).....	36
Figura 9: Proceso de extracción de colorante.....	38
Figura 10: Proceso de extracción de colorante.....	40
Figura 11: Madejado tomada en el laboratorio CITE textil Arequipa	40
Figura 12: Proceso de teñido	45
Figura 13: Secuencia fotográfica del teñido de hilado en lana de ovino	46
Figura 14: Curva de teñido del hilado de lana de ovino con achiote.....	47
Figura 15: Curva de teñido del hilado de lana de ovino con achiote.....	47
Figura 16: Proceso de ensayo de solidez al lavado.....	49
Figura 17: Secuencia fotográfica del procedimiento de solidez al lavado.....	50
Figura 18: Proceso de solidez al frote.....	51
Figura 19: Secuencia fotográfica del procedimiento de solidez al frote.....	52
Figura 20: Proceso de solidez a la luz.....	53
Figura 21: Secuencia fotográfica del procedimiento de solidez al frote.....	53
Figura 22: Gráfica de probabilidad de solidez al color.....	59
Figura 23: Gráfica de efectos principales para la variable Solidez al color	63
Figura 24: Gráfica de interacciones para la solidez de color.....	64
Figura 25: Gráfica normal de efectos estandarizados	65
Figura 26: Diagrama de pareto de efectos estandarizados	66
Figura 27: Gráfica de efectos principales para la variable solidez al lavado	71
Figura 28: Gráfica de interacciones para la solidez de color al lavado	72
Figura 29: Gráfica normal de los efectos estandarizados de la solidez al lavado	73
Figura 30: Diagrama de pareto de efectos estandarizados	74
Figura 31: Gráfica de efectos principales para solidez al frote	80
Figura 32: Gráfica de interacción para solidez al frote.....	81

Figura 33: Gráfica normal de los efectos estandarizados solidez al frote.....	82
Figura 34: Diagrama de pareto de efectos estandarizados	83
Figura 35: Gráfica de efectos principales para solidez a la luz.....	89
Figura 36: Gráfica de interacción para la solidez a la luz.....	90
Figura 37: Gráfica normal de los efectos estandarizados	91
Figura 38: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.....	92

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Ficha de validación de instrumentos	110
Anexo 2: Ficha de validación de instrumentos	111
Anexo 3: Ficha de validación de instrumentos	112
Anexo 4: Ficha de validación de instrumentos	113
Anexo 5: Constancia de CITEtextil camélidos Arequipa	114
Anexo 6: Fotografía de equipos	115
Anexo 7: Fotografía de materiales	116
Anexo 8: Fotografías de proceso de recolección de achiote (<i>Bixa orellana</i>).....	117
Anexo 9: Fotografías del proceso de extracción de colorante	118
Anexo 10: Fotografías del proceso de teñido.....	119
Anexo 11: Fotografías del proceso de solidez al lavado.....	121
Anexo 12: Fotografías del proceso de solidez al frote	123
Anexo 13: Fotografías del proceso de solidez a la luz	124
Anexo 14: Recetario de extracción de colorante de achiote (<i>Bixa orellana</i>).....	125
Anexo 15: Cálculos previos al teñido	126
Anexo 16: Recetario de teñido	127
Anexo 17: Recetario de solidez al lavado.....	128
Anexo 18: Recetario de solidez al frote.....	129
Anexo 19: Recetario de solidez a la luz.....	130
Anexo 20: Matriz de tesis	131

ACRÓNIMOS

INACAL	: Instituto Nacional de Calidad
NTP	: Norma Técnica Peruana
ITP	: Instituto tecnológico de la producción
ANOVA	: Análisis de varianza
GL	: Grados de libertad
SC Ajust	: Suma de cuadrados ajustada
MC Ajust	: Media de cuadrados ajustada
RJ	: Ryan Joiner
Min	: Minutos

RESUMEN

El presente estudio se realizó con la finalidad de evaluar los efectos del colorante natural achiote (*Bixa orellana*) en la solidez de color en el hilado de lana de ovino, Puno - 2023. La investigación se desarrolló bajo un enfoque hipotético-deductivo, con un muestreo no probabilístico y el número de muestras se estableció según el criterio del investigador, utilizando un diseño experimental factorial 2^5 se trabajó con 32 tratamientos con 3 réplicas. En la práctica, se realizó la extracción del colorante de achiote posteriormente el proceso de teñido, considerando cinco factores: tipo de mordiente, relación planta/sustrato, concentración de mordiente, tiempo y temperatura de teñido. Finalmente se realizó los ensayos de solidez del color al lavado, al frote y a la luz, en cuanto a los resultados el análisis estadístico con un nivel de confianza 95 %, evidencio que el tipo de mordiente, relación planta/sustrato, concentración de mordiente y tiempo influyen significativamente en la solidez del color. La combinación óptima para solidez al color fue de 25 % planta/sustrato, 5 g/L de mordiente, 60 min y 85 °C siendo el sulfato de hierro el mordiente más eficiente. En cuanto a la solidez al lavado, alcanzó valores entre 3/4 y 4/5 (regular - bueno a muy bueno), en solidez al frote se obtuvo valores hasta 4/5 (muy bueno) y respecto a la solidez a la luz se obtuvo a valores hasta 3 (regular) evaluadas según la norma técnica peruana (NTP 231.004 y 005). En este contexto, se concluye que el colorante de achiote (*Bixa orellana*) influye significativamente en la solidez de color al lavado, frote y luz en el hilado de lana de ovino validando así la viabilidad técnica de su uso como colorante natural, además, se aporta a la industria textil local y se promueven procesos ecológicos mediante el rescate de prácticas ancestrales adaptadas a los estándares técnicos actuales.

Palabras clave:

Achiote, lana de ovino, mordiente, solidez, teñido

ABSTRACT

The present study was conducted with the aim of evaluating the effects of the natural dye achiote (*Bixa orellana*) on colorfastness in sheep wool yarn, Puno - 2023. The research was developed under a hypothetical-deductive approach, using non-probabilistic sampling, and the number of samples was determined according to the researcher's criteria. A 2⁵ factorial experimental design was used, working with 32 treatments and 3 replicates. In practice, the achiote dye was first extracted and subsequently applied in the dyeing process, considering five factors: type of mordant, plant-to-substrate ratio, mordant concentration, dyeing time, and dyeing temperature. Finally, colorfastness tests were performed for washing, rubbing, and light. Regarding the results, statistical analysis at a 95% confidence level showed that the type of mordant, plant-to-substrate ratio, mordant concentration, and dyeing time significantly influence colorfastness. The optimal combination for colorfastness was 25% plant-to-substrate ratio, 5 g/L of mordant, 60 minutes, and 85 °C, with iron sulfate being the most efficient mordant. For wash fastness, values ranged from 3/4 to 4/5 (fair–good to very good); for rub fastness, values reached up to 4/5 (very good); and for light fastness, values reached up to 3 (fair), all evaluated according to the Peruvian Technical Standard (NTP 231.004 and 005). In this context, it is concluded that achiote (*Bixa orellana*) significantly influences wash, rub, and light fastness in sheep wool yarn, validating the technical feasibility of its use as a natural dye. Additionally, it contributes to the local textile industry and promotes ecological processes through the recovery of ancestral practices adapted to current technical standards.

Keywords:

Annatto, ovine wool yarn, mordant, fastness, dyeing

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la población mundial muestra un creciente interés por revalorizar los colorantes naturales, debido a la preocupación hacia el cuidado del medio ambiente y la reducción del impacto de los colorantes sintéticos. además, está empezando a revalorarse la moda sostenible y promover el comercio internacional para resaltar el trabajo de los artesanos que conservan las tradiciones vinculadas al uso de colorantes naturales, quienes, logran realizar teñidos a partir de colorantes vegetales y animales para obtener artículos textiles teñidos 100% naturales su aplicación sigue siendo limitada frente al predominio de los tintes químicos que afectan tanto la salud como el entorno (Barreda et al., 2023).

La industria textil constituye una de las actividades económicas más importantes en el Perú, dado a su estrecha relación con la producción artesanal y al aprovechamiento de fibras naturales tales como la lana de ovino. no obstante, esta industria también se clasifica entre las más perjudiciales para el medio ambiente a nivel mundial, ya que demanda grandes cantidades de agua, energía y productos químicos destacando entre ellos los tintes (Zaruma et al., 2018). Estas sustancias no solo presentan una alta complejidad de descomposición, sino que además generan efluentes cargados de metales pesados, sales, tensioactivos y otros compuestos tóxicos que afectan tanto los ecosistemas acuáticos como la salud humana (Núñez et al., 2023).

Como respuesta a esta problemática, ha aumentado un creciente interés por el uso de colorantes naturales como una opción ecológica y sostenible en el sector textil. Estos tintes, que son extraídos de plantas, insectos o minerales, ofrecen propiedades biodegradables, su uso favorece la conservación del medio ambiente y la recuperación de técnicas tradicionales de teñido (Arias, 2018). A nivel internacional, países como Francia, España, México y Chile ya han implementado proyectos productivos exitosos basados en el cultivo y transformación de plantas que tienen propiedades tintóreas (Albán et al., 2018).

En el Perú, a pesar de ser el principal exportador mundial de cochinilla, el uso de colorantes naturales en la industria textil nacional sigue siendo limitado (Alcedo, 2019). No obstante, en diferentes regiones como Puno, existen especies nativas con potencial para tintes que no ha sido debidamente investigados, como el achiote (*Bixa orellana*), un árbol cuyas semillas del fruto poseen pigmentos que se pueden emplear al teñido de fibras como la lana. En localidades como las de Pampa Yanamayo, en la provincia de Sandía, el achiote se cultiva y ofrecer una alternativa ecológica y sostenible.

El estudio tuvo como finalidad evaluar el efecto del colorante natural de achiote (*Bixa orellana*) en la solidez del color en el hilado de lana de ovino en la región de Puno - 2023, considerando su aplicación como una opción sostenible que contribuya a disminuir la contaminación ambiental y promoviendo el uso de colorantes naturales en lugar de colorantes sintéticos en los procesos textiles.

En el **Capítulo I** se desarrolla el planteamiento del problema, tanto general como específicos; además, se formulan los objetivos de investigación, la justificación, los alcances y limitaciones, del estudio.

En el **Capítulo II** se presenta marco teórico, donde se detallan los antecedentes obtenidos de artículos científicos y estudios de investigación relacionados, así como las bases teóricas los conceptos básicos y fundamentos teóricos que sustentan la investigación.

En el **Capítulo III** En este apartado se describen los materiales y métodos empleados en la investigación, los cuales comprenden el ámbito de estudio, el diseño metodológico y la formulación de hipótesis, la población y muestra, las técnicas e instrumentos de recolección de datos, los materiales, equipos y reactivos utilizados, así como el método y procedimiento experimental del estudio.

En el **Capítulo IV** se presentan los resultados y su respectiva discusión, donde se describe los valores obtenidos en la evaluación de la solidez del color, la contrastación de las hipótesis de investigación mediante análisis estadístico y la interpretación de los hallazgos en comparación con los antecedentes y las bases teóricas, resaltando los tratamientos óptimos que permiten alcanzar niveles adecuados o elevados de solidez del color.

En el **Capítulo V** se presentan la conclusión general, las conclusiones específicas y las recomendaciones del estudio. Las conclusiones se formulan en función de los objetivos planteados, mientras que las recomendaciones se fundamentan en los resultados obtenidos y sugieren, además, aspectos no abordados que podrían ser considerados en futuras investigaciones.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

1.1.DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La industria textil es considerada la segunda actividad más contaminante a nivel mundial, después de la petrolera, debido a su alto impacto ambiental. Este sector aporta aproximadamente el 20 % de la contaminación del agua potable y es responsable de cerca del 10 % de las emisiones globales de dióxido de carbono, lo que evidencia su significativo impacto ambiental. Esta situación refleja una problemática ambiental crítica, ya que, de no adaptarse a medidas sostenibles, se estima que las emisiones podrían incrementarse en un 50 % hacia el año 2030 (Palacios & Ullauri, 2020). Frente a este panorama, resulta necesario buscar alternativas de producción más limpias, entre ellas el uso de colorantes naturales como el achiote, que representan una opción viable para reducir la dependencia de insumos sintéticos y mitigar los impactos negativos de la industria textil.

La industria textil constituye una de las actividades económicas más importantes en el Perú; sin embargo, también representa uno de los sectores con mayor impacto ambiental, especialmente en un excesivo consumo de agua, y esto hace que se genere aguas residuales los cuales contienen una gran cantidad de diferentes tipos de contaminantes según Quenta (2019) y Águila et al. (2024). Los compuestos son altamente resistentes incluso a la degradación microbiana, lo que dificulta su eliminación en las plantas de tratamiento de aguas residuales convencionales (Zaruma et al., 2018). El empleo permanente de colorantes sintéticos agrava la contaminación del agua y restringe las oportunidades de desarrollar prácticas sostenibles en la industria textil.

En este escenario, Perú presenta una oportunidad valiosa: es el mayor exportador mundial de carmín, derivado de la cochinilla es base de tinte rojo más demandada y concentra cerca del 95 % de su producción, lo que equivale a más del 10 % de la participación en el mercado internacional de colorantes naturales, además, existen iniciativas locales como Ecotintes, en Lima, que producen hasta 1000 kg mensuales de colorantes naturales; sin embargo, alrededor del 80 % de esta producción se destina a la exportación, mientras que el consumo nacional se

mantiene reducido. Este contraste evidencia una brecha entre el potencial del país en tintes naturales y su limitada aplicación en la industria textil nacional (Xicotá, 2016).

El proceso de teñido genera una gran cantidad de efluentes que contienen colorantes, ya que aproximadamente el 30% de estos compuestos se pierden por ineficiencias en el proceso de teñido y se descargan en el efluente (Esparza, 2016). Además, el uso de una amplia variedad de colorantes químicos produce efluentes con composiciones muy variables en cortos periodos de tiempo, lo que exige la aplicación de tratamientos de agua altamente complejos (Águila et al., 2024). Frente a esta problemática, surge la necesidad de buscar y desarrollar alternativas sostenibles y ambientalmente amigables que permitan mejorar los procesos de teñido y reducir su impacto negativo.

Los colorantes naturales representan una alternativa sostenible, ya que son un recurso renovable y generan menor impacto ambiental. Sin embargo, los tintes sintéticos contaminan el medio ambiente tanto en su proceso de producción como en su aplicación dentro de la industria textil, además de implicar riesgos para la salud de los consumidores y de los trabajadores expuestos a estas sustancias (Arias, 2018). El uso de colorantes naturales ofrece oportunidades de empleo en sectores rurales; sin embargo, el empleo de mordientes químicos puede ser nocivo para la salud. Por ello, se propone el uso de mordientes naturales en el teñido de achiote (*Bixa orellana*), reduciendo riesgos y promoviendo prácticas más sostenibles.

En la región de Puno, gran parte de los consumidores desconoce los efectos perjudiciales de los teñidos realizados con colorantes sintéticos, los cuales pueden generar impactos negativos en la salud, como reacciones alérgicas en la piel y daños oculares, además de ser altamente contaminantes por su carácter hidrosoluble, durante el lavado y enjuague de las prendas teñidas, los residuos químicos presentes en los colorantes pasan al agua, el cual es desechada en fuentes que terminan severamente contaminadas. Esta situación resulta aún más peligrosa cuando dichas aguas residuales son utilizadas como agua potable o para riego agrícola. Sin embargo, debido a las exigencias del comercio y la demanda del mercado, aún persiste el uso de tintes tóxicos como la anilina, cuyo impacto negativo en la salud y el ambiente es en muchos casos desconocido por los propios usuarios (Choque & Hanco, 2018).

Se ha reportado que las mujeres que trabajan en la manipulación de este tinte presentan una mayor incidencia de trastornos menstruales, los cuales pueden estar acompañados de anemia, fatiga, somnolencia, náuseas y otras dolencias que deterioran su calidad de vida (New Jersey Department of Health, 2016). La anilina, además, contiene sales de plomo y otras impurezas

con efectos irritantes y nocivos para la salud (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2020). Sin embargo, muchos consumidores no reciben información adecuada sobre su uso, lo que ocasiona daños dermatológicos y oculares, debido a la fuerte atracción que generan los colores intensos que se obtienen (Choque & Hanco, 2018).

Considerando esta problemática, se hace imprescindible impulsar opciones de teñido que sean más seguras para la salud y ambientalmente sostenibles. En la región de Puno, provincia de Sandía, específicamente en el centro poblado de Pampa Yanamayo, se cultiva el achiote (*Bixa orellana*), cuyos frutos contienen semillas con pigmentos naturales útiles para el teñido de fibras. En este estudio se seleccionó el achiote como colorante natural debido a su disponibilidad local, lo que garantiza que permite contar con un acceso constante al insumo sin depender de proveedores externos. Las semillas que se encuentran en el fruto del achiote contienen bixina y norbixina, compuestos carotenoides con afinidad tintórea hacia fibras proteicas como la lana, lo que permite evaluar su comportamiento bajo diferentes condiciones de teñido. Esta disponibilidad local, sumada a sus propiedades tintóreas, hacen del achiote un buen material para este estudio y permiten desarrollar procesos de teñido aplicables a la producción regional. Además, este recurso se plantea como una opción sostenible frente a los colorantes sintéticos, debido a que favorece la conservación ambiental y la protección de la salud de las personas involucradas en la manipulación y uso de textiles teñidos.

Por lo expuesto, surge la necesidad de evaluar los efectos de colorante natural achiote (*Bixa orellana*) en la solidez de color en el hilado de lana de ovino, Puno - 2023.

1.2.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.2.1. Problema general

- ¿Cuál es el efecto del colorante natural extraído de achiote (*Bixa orellana*) en la solidez de color (lavado, frote y luz) en el hilado de lana de ovino, Puno - 2023?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Qué efecto tiene el colorante natural achiote (*Bixa orellana*) en la solidez de color al lavado en el hilado de lana de ovino, Puno - 2023?
- ¿Qué efecto tiene el colorante natural achiote (*Bixa orellana*) en la solidez de color al frote en el hilado de lana de ovino, Puno - 2023?
- ¿Qué efecto tiene el colorante natural achiote (*Bixa orellana*) en la solidez de color a la luz en el hilado de lana de ovino, Puno - 2023?

1.3.OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar los efectos del colorante natural de achiote (*Bixa orellana*) en la solidez del color (lavado, frote y luz) en el hilado de lana de ovino, Puno - 2023

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de colorante natural achiote (*Bixa orellana*) en la solidez de color al lavado en el hilado de lana de ovino, Puno - 2023.
- Evaluar el efecto de colorante natural achiote (*Bixa orellana*) en la solidez de color al frote en el hilado de lana de ovino, Puno - 2023
- Evaluar el efecto de colorante natural achiote (*Bixa orellana*) en la solidez de color a la luz en el hilado de lana de ovino, Puno - 2023.

1.4.JUSTIFICACIÓN

La presente investigación promueve el uso de colorantes naturales en el teñido de hilados de lana de ovino como alternativa a los tintes sintéticos, los cuales generan contaminación ambiental y riesgos para la salud (Zaruma et al., 2018). El achiote (*Bixa orellana*) constituye una fuente de pigmentos capaces de teñir fibras animales como la lana, ampliamente utilizada en prendas artesanales, contribuyendo a reducir el impacto ambiental de los residuos tóxicos de la industria textil. Asimismo, el empleo de colorantes naturales favorece la calidad de vida al disminuir la exposición a sustancias peligrosas como la anilina, utilizada en tintorería convencional (Arias, 2018).

Justificación práctica, la investigación promueve el uso de colorantes naturales como el achiote (*Bixa orellana*) en el teñido de lana de ovino, constituyendo una alternativa eco amigable estos colorantes naturales destacan por ser biodegradables, seguros y de menor impacto ambiental lo que contribuye a reducir los problemas asociados a los tintes sintéticos que son costosos y contaminantes. Su aplicación mediante procesos simples y directos permite reducir gastos de producción y riesgos para la salud de artesanos y consumidores. Además, impulsa el uso responsable de los recursos nativos mediante prácticas sostenibles y la preservación de conocimientos tradicionales, fortaleciendo la producción artesanal con mayor calidad, valor y menor impacto ambiental.

Desde la perspectiva teórica se aporta al conocimiento científico y académico en el área del teñido textil, generando información experimental sobre el comportamiento del achiote como

colorante natural en lana. Este aporte contribuye al desarrollo de la literatura existente sobre colorantes vegetales, sirviendo como base de comparación frente a otros pigmentos naturales y sintéticos, fortaleciendo la investigación sobre alternativas sostenibles en el campo textil.

Desde el punto social el desarrollo del presente estudio aporta en el sector artesanal, impulsando practicas sostenibles ya que el uso del achiote como colorante natural puede mejorar la calidad y valor agregado de sus productos textiles, orientándolos hacia mercados que valoran lo ecológico y lo culturalmente auténtico. Esto no solo promueve la conservación de conocimientos tradicionales también ayuda generando mayores oportunidades de trabajo tanto en la zona rural, urbana y nivel regional, brindando oportunidades y generar beneficios económicos, la población en general también se verá beneficiada al mejorar sus condiciones de vida al reducir la contaminación.

Como justificación técnica: este trabajo responde al creciente interés mundial por retomar los tintes naturales mediante procesos sencillos y de bajo costo (Mendoza, 2018). En este marco, la investigación contribuye a identificar y analizar el efecto técnico de variables del teñido como la relación planta/sustrato, tipo de mordiente, concentración de mordiente, tiempo y temperatura de teñido, aportando parámetros científicos que permiten estandarizar y optimizar el proceso de teñido con achiote, con ello se reduce la variabilidad propia de los métodos artesanales y se garantiza una mayor calidad en los productos textiles, con buenos niveles de solidez al lavado, solidez al frote y solidez a la luz. Estas técnicas pueden ser aplicadas directamente por tintoreros y artesanos, además de constituir una base para futuras investigaciones con otros tintes naturales.

Se justifica económicamente porque compara el uso de colorantes sintéticos, cuyos procesos generan altos costos operativos, con colorantes naturales como el achiote, que presentan una relación costo–beneficio más favorable. Diversos estudios recientes han demostrado que los colorantes sintéticos implican gastos elevados debido a su composición química y a los tratamientos de efluentes necesarios para su manejo. En este sentido, Ambade et al. (2024) señala que muchos colorantes sintéticos son tóxicos, persistentes y difíciles de degradar, lo que obliga a implementar sistemas de tratamiento costosos para mitigar su impacto ambiental.

Asimismo, (Rudroff et al., 2022) indica que los tintes sintéticos liberan sustancias peligrosas que incrementan tanto la contaminación como los costos de tratamiento. Estos gastos se acumulan durante el proceso de teñido debido al uso intensivo de agua, auxiliares químicos y etapas de remoción de residuos.

Por el contrario, el uso de colorantes naturales ofrece beneficios económicos significativos. Tazina et al. (2024) demostraron que los tintes naturales reducen los costos asociados al consumo de químicos tóxicos y al tratamiento de aguas residuales, además de mejorar el retorno de inversión (ROI) en procesos sostenibles. De manera similar, Riba et al. (2023) destaca que los colorantes naturales son biodegradables, renovables y generan menor carga contaminante, lo que se traduce en menores costos operativos a mediano plazo, el Instituto Tecnológico de la Producción del Perú (ITP, 2023) también sostiene que los colorantes naturales obtenidos de recursos vegetales locales constituyen una alternativa económicamente accesible y ambientalmente responsable para la industria textil.

Por lo tanto, considerando que el uso del colorante natural de achiote reduce los insumos químicos, disminuye la generación de residuos y evita tratamientos de alto costo, la relación costo–beneficio resulta favorable frente a los colorantes sintéticos. Esto demuestra que la propuesta es económicamente viable, incluso sin la necesidad de un análisis monetario detallado.

Los antecedentes como Muñoz et al. (2022) y Bonet et al. (2020) muestran que el achiote (*Bixa orellana*) se ha usado como colorante natural en la lana de ovino, logrando valores aceptables 4/5 (muy buena solidez). Sin embargo, la solidez al color varía según el mordiente y las condiciones del proceso, y casi no existen estudios en el hilado de lana de ovino. Esto evidencia una brecha de conocimiento, ya que no se ha evaluado de forma sistemática cómo influyen variables como el tipo de mordiente, concentración de mordiente, temperatura, tiempo del proceso de teñido y la relación sustrato/colorante en la solidez del teñido con achiote (*Bixa orellana*). Por ello, este estudio busca determinar dichos efectos en la lana de ovino en Puno, aportando resultados útiles para el ámbito textil.

1.5.ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Alcances

El estudio se enfocó en evaluar el efecto del colorante natural extraído del achiote (*Bixa orellana*) en la solidez del color aplicado al hilado de lana de ovino. Se analizaron tres tipos de solidez al lavado, solidez al frote y finalmente solidez a la luz, a fin de establecer su desempeño bajo condiciones habituales de uso.

El achiote (*Bixa orellana*) fue recolectado de Centro Poblado de Pampa Yanamayo (provincia de Sandía, región Puno) y la lana ovina fue adquirida en la ciudad de Juliaca. los procesos de teñido, como las pruebas de solidez, se realizaron en laboratorios de cite textil en la ciudad de Arequipa, bajo condiciones controladas.

La investigación se llevó a cabo a fines de 2023 e inicios de 2024 y tuvo como objetivo ofrecer alternativas ecológicas para el teñido artesanal, fomentando el uso de recursos naturales en la región y rescatando prácticas sostenibles en el ámbito textil artesanal.

1.5.2. Limitaciones

Parte de las semillas del fruto de achiote (*Bixa orellana*) se deterioraron debido a una conservación inadecuada durante el almacenamiento y a la humedad ambiental, lo que obligó a recolectar y trasladar nuevas semillas del fruto desde la zona de estudio, generando retrasos en el cronograma.

Asimismo, algunas muestras teñidas se malograron por permanecer varios días cerca de una ventana, expuestas a la radiación solar directa, lo que ocasionó la pérdida de intensidad del color y la necesidad de repetir los ensayos de teñido.

Finalmente, durante el proceso de secado, la secadora se descalibró y elevó la temperatura, lo que provocó el deterioro de varias muestras teñidas y obligó a rehacer las pruebas.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Sobre el tema de colorantes naturales existe una gran variedad de investigaciones realizadas, como las siguientes.

2.1.1. Antecedentes internacionales

Tapia (2023) estudio sobre la fibra de alpaca (*Lama pacos*) teñida empleando un colorante natural obtenido del tallo de tankar (*Berberis boliviana* L.) evaluó la solidez del color frente a distintos mordientes y parámetros de teñido, bajo un diseño factorial 2^3 ocho tratamientos y tres repeticiones. Se aplicó un premordentado con alumbre y sulfato de hierro en fibra de alpaca baby, empleando el 100 % del colorante respecto al peso de la fibra, y controlando el tiempo y la temperatura. Los resultados evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. En la solidez a la luz, los tratamientos mordentados con alumbre al 20 % obtuvieron calificaciones de nivel excelente (5), mientras que, en la solidez al lavado, destacaron los tratamientos T2, T3 y T4 (alumbre al 20 %) y el tratamiento T8 (sulfato ferroso al 3 %). también lograron calificación de 5; mientras que en la solidez al frote en seco los tratamientos T2, T3 y T4 (alumbre 20 %) junto con T7 y T8 (sulfato ferroso 3 %) obtuvieron igualmente la máxima calificación (5), sin transferencia de color. El estudio concluyó que el mejor desempeño se alcanzó con alumbre al 20 %, a un tiempo de 60 minutos y temperatura de 86 °C, condiciones que permiten obtener un teñido de excelente solidez en fibra de alpaca baby.

Alvares & Arroyo (2017) evaluaron fibras naturales teñidas con colorantes como grana cochinilla, cebolla morada, cacao y girasol, utilizando el proceso de premordentado en concentraciones de 50, 75 y 100 %. Se realizaron cinco ensayos de solidez del color: a medios ácidos y alcalinos, lavado a temperaturas elevadas, lavado doméstico, frotado en seco y exposición a iluminación artificial. evaluando los cambios cromáticos con un colorímetro CR-400 HEAD en la escala CIELab*. Los resultados indicaron que las pruebas de lavado doméstico y exposición a ácidos fueron las que ocasionaron mayor pérdida de color, registrándose valores de ΔE superiores a 20*, equivalentes a una calificación en escala de

grises de 1/2 (muy baja solidez), mientras que en las pruebas de frote en seco, luz artificial y álcalis las variaciones fueron mínimas, con valores de $\Delta E \leq 2^*$, correspondientes a una calificación de 4/5 (muy buena solidez). Estos hallazgos demuestran que, si bien los colorantes naturales permiten obtener una coloración estable en condiciones de frote y luz, presentan limitaciones frente al lavado y a los agentes ácidos.

Palacios et al. (2021) evaluaron la solidez del color en tejidos de punto (lana y alpaca) teñidos con colorantes naturales extraídos de especies nativas del sur de Ecuador y cochinilla de origen animal. Vegetales: *garau* (*Lomatia hirsuta*), *chilca* (*Baccharis latifolia*), *nogal* (*Juglans neotropica*) y *killuyuyo* (*Brachyotum confertum*). Animal: cochinilla (*Dactilopius coccus*) aplicó técnicas ancestrales de tinturado para teñir lana y alpaca con colorantes naturales como *garau*, *chilca*, *nogal*, *coccus*) aplicó cochinilla (*Dactilopius coccus*). Se evaluó la solidez al color frente a luz artificial, lavado (neutro y alcalino) y frote, midiendo la variación cromática (ΔE) mediante el sistema CIELab*. Los resultados mostraron que el lavado con jabón alcalino generó la mayor pérdida de color ($\Delta E = 32$) equivalentes a 1, mientras que, en luz, lavado neutro y frote la variación fue mínima ($\Delta E \approx 1,4$) equivalentes a 4/5, considerada satisfactoria. La cochinilla presentó mayor pérdida de color en lavado alcalino, atribuida a la baja fijación del polvo alimentario usado. En general, los biocolorantes demostraron buena estabilidad, salvo en medio alcalino, lo que respalda su potencial en textiles artesanales con valor cultural y natural.

Muñoz et al. (2022) exploró el uso del extracto de semillas del fruto de achiote (*Bixa orellana*) como colorante natural en el teñido de fibras de lana y algodón. Los hallazgos evidenciaron que este pigmento permitió obtener gamas cromáticas en tonos rojizos y anaranjados, caracterizados por una buena solidez frente a la luz y al frote, aunque con limitaciones en la solidez al lavado. Estos resultados señalan al achiote (*Bixa orellana*) como un recurso tintóreo con potencial en aplicaciones textiles, siempre que se perfeccionen los métodos de fijación para garantizar mayor durabilidad del color.

Bonet et al. (2020) estudio la investigación aplicada a la nanotecnología tuvo como finalidad desarrollar un nanopigmento a partir de los carotenoides del achiote (*Bixa orellana*) para optimizar la compactación molecular en tejidos de lana 100 %. Para ello, Se utilizaron distintas nanoarcillas (trimetil estearil amonio o montmorillonita, K10, halloysita y bentonita) previamente hidratadas en agua desionizada, las cuales fueron sometidas a un proceso de intercambio catiónico con extractos de achiote en estado sólido y líquido. Con el nanopigmento

resultante se llevó a cabo el teñido de 17 muestras de lana, evaluándose experimentalmente mediante espectrofotometría la solidez al lavado, al frote y el factor de protección ultravioleta (UPF). Los resultados mostraron que la solidez del color, medida con el parámetro CIE94 ΔE , presentó cambios notables; sin embargo, en las pruebas de solidez al lavado y frote alcanzaron calificaciones de 5/4 (excelente a muy buena), con algunas variaciones de 3/2 (mediana a baja). En cuanto a la protección solar, la lana teñida evidenció bajos valores en UVA, lo que indica una mayor capacidad de protección frente a los rayos ultravioleta y un potencial beneficio en la reducción de daños a la piel.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Mendoza (2018) evaluó el efecto del tipo y la concentración de mordiente sobre la intensidad cromática y la solidez al lavado en el teñido de fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) utilizando aliso (*Alnus acuminata* H.B.K.). Los resultados evidenciaron que el tratamiento A2T1 presentó un desempeño sobresaliente, alcanzando un grado 4 de solidez al lavado, considerado muy bueno y con mínima transferencia de color. Este nivel de solidez es el más demandado en los procesos de teñido natural, dado que se encuentra dentro del rango óptimo de la escala de 1 a 5, además de promover el uso de tecnologías de teñido ambientalmente sostenibles.

Arteaga & Chugá (2023) analizaron de la solidez del color al frote y al sudor en el proceso de tintura Pad Batch tuvo como objetivo lograr una impregnación uniforme y duradera del color en el tejido. Para ello se elaboraron cinco recetas con colorantes reactivos Drimarene (anaranjado KLG 4 %, turquesa CLB 1 %, azul HF-RL 1 %, amarillo CL-3G 1 % y azul marino CL-R 4 %) utilizando como auxiliares álcali y Novapal. El proceso de foulard se efectuó bajo condiciones controladas de presión (30 PSI), velocidad (1,5 m/min), y un *pick up* variable, seguido de un lavado para la eliminación de residuos de colorante y posterior secado. La evaluación de solidez al frote, solidez a la sudoración. Los resultados evidenciaron valores de 4/5 en la escala de grises tanto para frote en seco como en húmedo, así como para sudoración ácida y alcalina, lo que demuestra una buena solidez del color. Asimismo, el análisis estadístico mediante el software Past 4 confirmó la normalidad de los datos ($p > 0,05$), asegurando la confiabilidad de los resultados obtenidos en el proceso de teñido.

Carrasco et al. (2022) desarrollaron el uso de pigmentos naturales en el teñido de fibras se presenta como una alternativa ecológica frente a los colorantes sintéticos que pueden ser perjudiciales para la salud y el ambiente. En un estudio se trabajó con fibra de alpaca teñida con extracto de molle, obtenido tanto de muestras frescas como secas mediante extracción

acuosa presurizada. Se evaluaron parámetros fisicoquímicos del extracto y su estabilidad en almacenamiento, encontrándose que la mejor condición de conservación fue a 5 °C en oscuridad. El teñido se realizó empleando distintos mordientes, tales como sulfato de aluminio, bitartrato de potasio, ácido cítrico, sulfato de hierro, sulfato de amonio y sulfato de cobre, registrándose valores de solidez al frote y al lavado de 4/5 en la escala de grises, lo que indica buena solidez del color. Entre los mordientes evaluados, el ácido cítrico mostró la mayor afinidad con el pigmento de molle, requiriendo menos enjuagues y logrando un teñido satisfactorio con 21 mL de extracto fresco y 4 mL de extracto seco.

Aguilar & Beltrán (2022) evaluaron el efecto del mordiente y tiempo en la solidez del teñido de hilo de ovino y alpaca con flores de manzanilla (*matricaria chamomilla*” en la investigación tuvo como objetivo principal evaluar el efecto del mordiente y tiempo en la solidez en el teñido de hilo de ovino y alpaca con flores de manzanilla obteniéndose como resultado una buena solidez a las solideces como solidez a la luz, lavado y frote (4/5,) en el hilo de ovino con 20% de mordiente y a un tiempo de teñido de 40 min y para el hilo de alpaca se obtuvo una buena resistencia a las solideces a la luz, lavado y frote con 30% de mordiente y a un tiempo de teñido de 60 min. Concluyendo que el teñido de hilos de ovino y alpaca demanda condiciones específicas de porcentaje de mordiente y tiempo, debido a las particularidades de cada variedad de hilo.

2.1.3. Antecedentes locales

Barreda et al. (2023) desarrollaron una investigación con el objetivo de evaluar la solidez del color (lavado, frote y exposición a la luz) en hilos de alpaca teñidos con semilla de achiote (*Bixa orellana*). La investigación tuvo un enfoque experimental con diseño factorial 2⁴ y dos réplicas, analizando como factores la temperatura, tiempo, relación de planta/sustrato y concentración de mordiente, Los resultados demostraron que la interacción de los factores influyó significativamente en la solidez del color: la relación planta/sustrato y la temperatura mostraron mayor incidencia en la solidez al lavado, mientras que las combinaciones concentración de mordiente, temperatura y relación planta/sustrato–tiempo afectaron de manera importante la solidez a la luz. En cuanto a los valores obtenidos, la solidez a la luz alcanzó calificaciones de 1 a 3, al frote entre 3/4 y 4, y al lavado entre 3 y 4 en la escala de grises. Estos hallazgos respaldan el potencial del achiote como un colorante natural viable para procesos textiles, siempre que se mantenga un control adecuado de las condiciones de teñido.

(Sucasaca y Guevara, 2020) valoraron el potencial tintóreo de la inflorescencia de colli (*Buddleja coriacea*) en el teñido de fibras de alpaca. El estudio demostró que este colorante natural permite obtener una gama diversa de tonalidades amarillas, desde matices claros hasta intensos, resaltando su versatilidad como recurso vegetal. En cuanto a la solidez, las pruebas mostraron que las fibras teñidas conservaron buena solidez frente a la luz solar, sin deterioros significativos en el color. Además, se evidenció que el tiempo y la temperatura del proceso influyen directamente en la intensidad y fijación del tono, lo que determina la durabilidad del pigmento en la fibra. En conjunto, los hallazgos confirmaron que el colli constituye una alternativa sostenible y eficaz en la tintura de alpaca, con aplicaciones potenciales en la industria textil artesanal y ecológica.

(Sucasaca y Guevara, 2022) desarrollaron una investigación orientada al teñido con pigmento extraído de la col morada (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*) aplicado en hilados de alpaca, empleando mordientes como ácido cítrico, sulfato de hierro, alumbre y sulfato de aluminio. Los resultados evidenciaron que este colorante vegetal permitió obtener una amplia gama cromática que incluyó tonalidades azules, rosadas, verdes y beige. En las pruebas de solidez del color frente a la luz solar, las muestras alcanzaron niveles de entre 3 y 4,5 en la escala correspondiente, destacando el uso del sulfato de aluminio, que redujo de manera significativa la pérdida de color durante los enjuagues. En conclusión, la investigación demostró que la col morada constituye una fuente eficaz de pigmento natural para la tintura de fibras de alpaca, logrando diversidad tonal y buena estabilidad del color, especialmente con el empleo de sulfato de aluminio como mordiente.

2.2.BASES TEÓRICAS

2.2.1. Historia de los colorantes

Los colorantes empleados en el sector textil tienen diversos orígenes y aplicaciones, aunque en la actualidad predominan los colorantes sintéticos. Estos presentan la desventaja de no ser biodegradables, lo que los convierte en contaminantes persistentes en el ambiente debido a su naturaleza recalcitrante, resulta indispensable someterlos a procesos de tratamiento que permitan su degradación antes de que las aguas residuales sean vertidas en el entorno.

El uso de tintes se remonta a tiempos antiguos existen registros de su aplicación en China hacia desde el año 2600 a. C. y durante la época de Alejandro Magno, alrededor del 330 a. C., los procesos de teñido se realizaban principalmente mediante el uso de recursos naturales como insectos y plantas con el paso del tiempo, estos conocimientos fueron transmitidos de

generación en generación hasta convertirse, con la evolución de la civilización, en una de las actividades más relevantes de la industria textil.

Los colorantes naturales, extraídos de plantas, insectos y animales, se emplearon desde épocas remotas en textiles y expresiones artísticas. Sin embargo, la obtención de estos pigmentos resultaba limitada por su escasez, elevado costo y poca diversidad de tonalidades lo que impulsó el desarrollo de los colorantes sintéticos en el siglo XIX. A partir de compuestos aromáticos y sales de diazonio se originaron los azocompuestos, una amplia familia de tintes que ofrecieron mayor gama de tonalidades y mejor rendimiento.

Actualmente, los más empleados en la industria son las anilinas, quinonas y azocompuestos el proceso de teñido exige la incorporación de mordientes, sustancias que permiten fijar el colorante a la fibra al formar complejos estables con las proteínas textiles tradicionalmente se usaron sulfatos metálicos como los de hierro y cobre, aunque con el tiempo se desarrollaron colorantes capaces de unirse directamente a las fibras sin necesidad de mordientes, como el rojo de congo no obstante, la toxicidad ambiental y los riesgos para la salud asociados a estos compuestos han limitado su uso, promoviendo la búsqueda de alternativas más seguras y sostenibles (Campos, 2017).

2.2.2. Colorantes

Los colorantes se entienden como sustancias capaces de adherirse de manera estable al material o sustrato al que se aplican, ya sea mediante enlaces químicos o por absorción física en un medio acuoso; es decir, son compuestos que confieren una coloración permanente al difundirse o dispersarse sobre el sustrato. El tinte debe interactuar adecuadamente con el sustrato y ser absorbido por este, proceso que se conoce como teñido (Arias, 2018).

2.2.3. Impacto ambiental asociado a los colorantes textiles

La industria textil es considerada como la segunda actividad más contaminante a nivel mundial, después del sector petrolero, debido a su elevado impacto ambiental, ya que es responsable de aproximadamente el 20 % de la contaminación del agua potable y de cerca del 10 % de las emisiones globales de dióxido de carbono, superando incluso a las generadas por los vuelos y transportes marítimos internacionales. Si no se adoptan medidas sostenibles, se proyecta que estas emisiones aumenten en un 50% hacia el año 2030 (Palacios & Ullauri, 2020).

El principal foco de contaminación en este sector se encuentra en la producción y aplicación de colorantes sintéticos, los cuales se fabrican a partir de derivados del petróleo, empleando solventes y reactivos tóxicos. Actualmente se producen cientos de miles de toneladas de estos

colorantes al año, generando emisiones de CO₂ y un considerable gasto energético en su aplicación sobre fibras textiles, gran parte del tinte no se adhiere a la fibra y termina en los efluentes, liberando al ambiente compuestos tóxicos y persistentes cuya degradación puede tardar décadas de esta forma, los efluentes textiles se catalogan entre los más contaminantes a nivel industrial por ello los colorantes naturales surgen como una alternativa más sostenible, debido a su carácter biodegradable y menor toxicidad (Silva, 2024).

2.2.4. Colorantes naturales

Un colorante se puede definir como una sustancia química perteneciente a un amplio grupo de compuestos, utilizados para teñir materiales como tejido, son aquellos extraídos y obtenidos de fuentes animales o vegetales, sin intervención de procesos químicos sintéticos (Vega, 2023).

Los colorantes naturales son sustancias de origen químico-orgánico capaces de fijarse y transmitir color a las fibras textiles, permitiendo su teñido de manera efectiva.

Su obtención se realiza de diferentes procesos y métodos artesanales entre los cuales se encuentra cocción, fermentación y maceración.

Son colorantes solubles en agua por lo que basta con un hervirlos para que el tinte se desprenda y libere, mientras que hay insolubles, requieren un previo de fermentación para su extracción y hay otros que necesitan una incorporación de un agente intermedio para ceder el color (Vega, 2023).

El empleo de pigmentos derivados de fuentes naturales representa una opción factible y ecológica para el teñido de diversos tipos de fibras textiles, tales como flocas, cintas cardadas, tops e hilados. Estos colorantes destacan por ofrecer una adecuada solidez de color, además de permitir la obtención de una amplia diversidad de tonalidades que enriquecen la estética de los productos textiles. A ello se suma el hecho de que los artículos teñidos con pigmentos naturales pueden comercializarse bajo el concepto de “productos con etiqueta verde”, lo cual incrementa su valor agregado en un mercado cada vez más interesado en la sostenibilidad.

Un aspecto fundamental es que los tintes naturales, al ser de origen biológico, poseen la ventaja de ser biodegradables, lo que reduce de manera considerable el impacto ambiental en comparación con los colorantes sintéticos, durante el proceso de teñido, al momento de disponer los efluentes generados durante los procesos de teñido, estos colorantes se degradan de manera más rápida y sencilla, evitando así la acumulación de contaminantes persistentes en las fuentes de agua. De este modo, no solo se favorece la preservación de los ecosistemas

acuáticos, sino que también se promueve una práctica textil más responsable y acorde con las exigencias actuales de sostenibilidad ambiental (Zaruma et al., 2018).

2.2.5. Colorantes vegetales

Los colorantes vegetales se dividen en colorantes solubles en aceite (liposolubles) y colorantes solubles en agua (hidrosolubles). El grupo de colorantes liposolubles incluye principalmente clorofila y carotenoides, mientras que el grupo de pigmentos hidrosolubles incluye antocianinas, betalainas y flavonoides, por ello, la clorofila es el compuesto que otorga el tono verde distintivo a los vegetales. Los carotenoides son tetraterpenoides responsables del color rojo, naranja o amarillo de la mayoría de las plantas y frutas, los carotenoides más conocidos son α y β -caroteno (pigmento naranja), luteína (pigmento amarillo) y licopeno (pigmento rojo), los carotenoides actúan como antioxidantes y son fuentes de provitamina a lo que promueve una salud saludable en los humanos (Martínez et al., 2016).

La mayor parte de los tintes naturales se obtiene de plantas y de otros materiales orgánicos como hongos y líquenes; estos pigmentos pueden extraerse de diversas partes vegetales, tales como raíces, frutos, corteza, hojas, flores y tallos, según el tipo y la procedencia del colorante (Arias, 2018).

2.2.6. Achiote (*Bixa orellana*)

El achiote es proveniente de una planta tropical se conoce como bija, annatto, urucú, onoto, bijol, cacicuto, entre otros. Su nombre científico, (*Bixa orellana*), hace referencia a Francisco de Orellana, su descubridor, este pigmento se obtiene de las las semillas que se encuentran dentro de la capsula o fruto. En la actualidad, en las regiones peruanos como Cusco y Pasco, su cultivo se orienta principalmente a la exportación (Barreda et al., 2023).

El cultivo del achiote (*Bixa orellana*), también conocido como annatto, achote, onnote, cocote, bija, bixa y urucu, se originó en la América tropical con la llegada de los europeos, el achiote (*Bixa orellana*) comenzó a cultivarse desde México hasta Brasil la cuenca del Amazonas puede ser el lugar de origen (Cusi, 2022). Utilizado originalmente para pintarse el cuerpo y tatuarse, los pueblos indígenas de américa del sur todavía utilizan el achiote (*Bixa orellana*) para repeler insectos y teñir tejidos de algodón y utensilios de cocina.



Figura 1: Árbol de achiote (*Bixa orellana*)

El achiote (*Bixa orellana*) es un árbol de rápido crecimiento, alcanzando los 4-6 metros de altura, de aspecto muy tieso (robusto) y flores muy vistosas de color blanco o rosado, según la variedad, el fruto es una cápsula de color marrón rojizo o amarillo verdoso que contiene de 30 a 45 semillas del fruto recubiertas de una fina película o corteza de color rojizo o anaranjado debido al mismo pigmento de la bixina (Cusi, 2022).

Annatto natural contiene de 1,21-2,30 g de carotenoides responsables de la transferencia de color, y puede reaccionar con nanoarcillas para incrementar la estabilidad térmica, la intensidad del color y la resistencia a la radiación UV-visible, en combinación con tintes naturales y bioresinas (Bonet et al., 2020).

a) Colorante

El principal responsable de color de la semilla del achiote es la bixina, un pigmento de tonalidad rojo intenso que, desde el punto de vista químico, corresponde a un ácido carotenoide con fórmula molecular $C_{25}H_{30}O_4$. Este compuesto se presenta originalmente como un isómero geométrico en forma *cis*, aunque puede transformarse en su forma más estable *trans*.



Figura 2: Semillas del fruto de achiote (*Bixa orellana*)

b) Solubilidad de bixina

Es insoluble en agua y presenta una solubilidad limitada en disolventes orgánicos como cloroformo, aceites vegetales, acetato de etilo y propilenglicol, semillas del fruto más externas de achiote (*Bixa orellana*) contienen distintos compuestos (INIA, 2024).

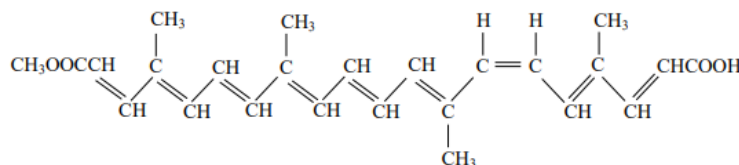


Figura 3: Formula de solubilidad de bixina

c) Efecto del pH en la bixina

La concentración de iones de hidróxido en la solución, pH, afecta más o menos la solubilidad de los colorantes en la solución de extracción, esto cuando la solubilidad ocurre en una reacción de hidrólisis alcalina denominada saponificación en donde la bixina (que es soluble en aceite) se convierte en un dicarboxilato soluble en agua llamado norbixina a concentraciones más altas, pueden ocurrir reacciones secundarias que afecten la eficiencia del proceso (Payes, 2017).

2.2.7. Extracción de colorante

La extracción u obtención de colorantes es un procedimiento esencial que se basa en aislar un componente de una mezcla o solución, utilizando para ello un disolvente adecuado. En términos generales, la extracción implica la disolución de compuestos biológicamente activos, para lo cual se emplean solventes adecuados que facilitan la obtención del colorante.

Los colorantes naturales se encuentran generalmente dentro de las células vegetales o formando sales incrustadas en sus estructuras, por lo que resulta necesario aplicar métodos que faciliten su extracción. Una de las técnicas más empleadas es la infusión o decocción, la cual consiste en extraer el colorante mediante el uso de agua y la aplicación de calor, utilizando tanto material vegetal fresco como seco. Este procedimiento tiene como finalidad aislar el colorante en las cantidades requeridas para su posterior aplicación en procesos de teñido (Aguilar & Beltrán, 2022).

2.2.8. Método de extracción

Para la extracción del colorante natural existen varios tipos de procedimientos entre ellos, uno de los más comunes es la extracción sólido-líquido a través de cocción por ser sencillo de

aplicar, este método implica la obtención de colorante consiste en la extracción por medio de cocción (Barreda et al., 2023).

La decocción o cocimiento es un método ampliamente utilizado para la extracción de colorantes a partir de material vegetal. Este procedimiento consiste en hervir las partes secas o frescas de la planta en agua, con el fin de disolver los compuestos solubles presentes en sus estructuras. El tiempo de cocción suele variar entre 30 y 45 minutos, y en algunos casos se recomienda triturar o machacar el material vegetal para facilitar la liberación del colorante y aumentar el rendimiento del proceso (Aguilar & Beltrán, 2022).

2.2.9. Población de ovino

En 2021, la población mundial de ovejas alcanzó un récord de aproximadamente 1 266 mil millones de cabezas de ovejas (International Wool Textile Organisation, 2022). En el Perú, según INEI (2012) la población ovina asciende a 9 523 198 ejemplares, concentrándose principalmente en los departamentos de Puno y Cusco, con el 21,2 % y 13,0 % respectivamente, seguidos por Huánuco, Huancavelica, Áncash, Junín, Ayacucho y Apurímac. La crianza de ovinos se inició en el Perú durante el siglo XVI con la llegada de los colonizadores españoles y actualmente representa una actividad de gran importancia económica (Ormachea et al., 2020).

2.2.10. Ovino criollo

El ovino criollo constituye la raza de mayor difusión en las comunidades campesinas de la región andina, debido a su capacidad de resistencia frente a la altitud y a las condiciones climáticas adversas propias de la sierra. Introducido por los colonizadores españoles hace más de cinco siglos, se ha consolidado como una población primaria de relevancia, estrechamente vinculada al contexto geográfico y cultural del altiplano. A pesar de su importancia, la mayoría de los sistemas de crianza no cuenta con un control sistemático de sus indicadores productivos. No obstante, esta raza presenta cualidades destacables como la rusticidad, la adaptación a entornos marginales, la tolerancia a climas extremos y una notable longevidad (Huacani et al., 2022).

2.2.11. Lana de ovino

La lana de ovino es una fibra textil originada en la piel de la oveja, específicamente en los folículos pilosos que generan el pelaje del animal. Las fibras finas y onduladas que recubren su cuerpo están compuestas principalmente por queratina, proteína que representa aproximadamente entre el 20 y 25 % de su composición total. Cada fibra presenta una estructura formada por una cutícula externa de tipo escamosa con propiedades hidrófugas, una

zona cortical, en algunos casos, una región medular. El diámetro de la fibra varía entre 12 y 120 micras, dependiendo de la raza, el sistema de producción y la zona corporal, mientras que su longitud oscila entre 20 y 350 mm. la fibra de lana es fácil de hilar, y las telas elaboradas a base de este material suelen ser aislantes térmicas, durables, confortables y de sobresaliente capacidad tintórea (Rojas & Lescano, 2018), Puno es el 1º productor de lana de ovino, produciendo el 39% (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo del Perú, 2019).

a) Características

La lana se caracteriza por una notable resistencia y alargamiento, ya que puede estirarse hasta en un 30 % antes de romperse, lo cual resulta esencial en procesos textiles como el cardado, el peinado y el hilado, donde las fibras son sometidas a fuertes tensiones y deben conservarse íntegras. Asimismo, presenta una destacada elasticidad gracias a la estructura helicoidal de sus moléculas, lo que le permite recuperar hasta un 99 % de su forma original tras ser estirada dentro de ciertos límites, propiedad que permite que las prendas conserven su forma y que los hilos mantengan su flexibilidad. Asimismo, destaca su elevada higroscopicidad, ya que la lana es capaz de absorber y liberar vapor de agua en función de las condiciones del entorno, llegando a retener hasta el 50 % de su peso en líquidos y mostrando una recuperación de humedad del 13 al 18 % en condiciones estándar; además, en lluvias ligeras el agua suele escurrirse de su superficie, mientras que en exposiciones más intensas absorbe gran parte sin generar de inmediato sensación de humedad. Finalmente, su flexibilidad permite que las fibras se doblen con facilidad sin romperse, lo que contribuye a la elaboración de tejidos resistentes y duraderos, siendo incluso cinco veces más flexible que el algodón (Zúñiga, 2011).

b) Hilo

Estas se utilizan en la industria textil, donde la fibra se transforma en hilo mediante la formación de hebras largas y resistentes. El proceso de obtención del hilo comprende las etapas de lavado, cardado, peinado e hilado, que implica el retorcido de los filamentos. Además, los hilos suelen estar constituidos por varios cabos, en función del título del hilo. Los factores que influyen en el teñido son: pilosidad, Intensidad de torsión, impurezas, Sus características principales son su composición, grosor regularidad y el peso, los hilos textiles (Aguilar & Beltrán, 2022).

2.2.12. Teñido

El teñido es un proceso químico mediante el cual las fibras o telas adquieren color por la difusión de los iones del tinte en su estructura interna. Un teñido de calidad está condicionado

por diversos factores, entre los que destacan la temperatura, el tiempo de proceso, el tipo y concentración del colorante, el mordiente empleado, el pH del baño y la estructura propia de la fibra textil, estos factores determinan la intensidad, uniformidad y permanencia del color en el material textil. Para evaluar la calidad del teñido, es indispensable realizar pruebas de solidez del color, que permiten medir la resistencia de este frente a diferentes agentes externos (García, 2018).

2.2.13. Factores que influyen en el proceso de teñido

Los parámetros del proceso de teñido son fundamentales, ya que permiten lograr teñidos uniformes, facilitar su reproducción a gran escala y evitar variaciones de tonalidad entre diferentes lotes de producción, los parámetros que se menciona en el siguiente serán beneficiosos para el proceso de teñido.

a) Temperatura

La temperatura de teñido constituye un factor importante en la fijación del color sobre las fibras textiles, ya que la difusión de las moléculas del colorante está directamente relacionada con la temperatura, un aumento de la temperatura provoca una mayor transferencia de energía a las moléculas, favoreciendo así la migración del colorante hacia la fibra. A los 40°C las fibras absorben los colorantes más lentamente mientras que a una temperatura de 90°C es mejor la absorción (Illa & Tairo, 2015).

b) PH

El pH del baño de teñido es un factor determinante en los procesos de teñido textil, ya que define si el medio es ácido, neutro o básico. Esta variable influye directamente en el comportamiento del colorante, afectando su afinidad por la fibra, la intensidad del color y la uniformidad de la tonalidad obtenido al disminuir el pH se incrementa la velocidad de agotamiento del baño de teñido, aunque se reduce la eficacia de la reacción a partir de la interacción química entre la fibra y el colorante. En el caso de las fibras proteicas, como lana y seda, el pH óptimo del baño suele ser ácido, entre 4 y 6, ya que valores más altos pueden dañar la fibra y disminuir la fijación del colorante. Para las fibras celulósicas, como algodón y lino, el baño de teñido se realiza generalmente cercano a la neutralidad, con un pH de 6 a 7; sin embargo, algunos colorantes naturales pueden requerir un pH ligeramente ácido o alcalino según el vegetal utilizado (Delgado, 2021).

c) Concentración

La relación planta/sustrato se refiere a la proporción entre la cantidad de material vegetal empleado como fuente de colorante y la cantidad de fibra textil a teñir. Este parámetro resulta fundamental, ya que una mayor proporción de planta generalmente incrementa la disponibilidad de pigmentos en la solución de teñido, lo que puede favorecer una mayor intensidad de color. Sin embargo, si la relación no es adecuada, puede afectar la uniformidad y la solidez del teñido, generando variaciones en el resultado final (Hurtado & Oviedo, 2020).

d) Relación de baño de teñido

La relación de baño corresponde a la proporción entre el volumen del licor de teñido y el peso del material textil. Este parámetro es determinante en el proceso, pues condiciona el grado de agotamiento del colorante: relaciones de baño altas suelen disminuir el porcentaje de fijación, reduciendo la eficiencia del teñido. Además, una relación de baño inadecuada puede favorecer fenómenos como la hidrólisis del colorante, lo que limita su adecuada unión con la fibra.

e) Tiempo de teñido

El tiempo de teñido es un factor clave en el proceso, pues determina la duración del contacto entre el colorante y la fibra. Durante este periodo, las moléculas del colorante migran hacia la fibra y se fijan en su estructura interna. Generalmente, los tiempos de teñido pueden variar entre 30 minutos y una hora, dependiendo del tipo de colorante, la fibra utilizada y las condiciones del proceso (Illa & Tairo, 2015).

2.2.14. Mordiente

Son sustancias hidrosolubles, naturales o químicas, que mezcladas con tintes vegetales mejoran la impregnación del color de las fibras, mejoran la durabilidad y mejoran la solidez a la luz, lavado y solidez al frote. Sin embargo, se debe considerar la cantidad de mordiente que estás usando para cada tinte. Si se usa en exceso, tiende a dañar las fibras y puede decolorar el color deseado. Los mordientes se usaban antiguamente para fijar el color de fibras como el limón, la sal, el alumbre, el vinagre, la orina popular, la ceniza, el sumo negro entre otros (Vele, 2017).

Los mordientes de uso más frecuente incluyen el alumbre o sulfato de aluminio y potasio, el cual permite obtener colores intensos sin modificar sustancialmente el tono natural del colorante vegetal. El sulfato de hierro, por su parte, desplaza la coloración original hacia matices grises y oscuros de aspecto mate, mientras que el sulfato de cobre induce tonalidades

verdosas. Finalmente, la colpa, ya sea blanca o amarilla, se emplea para modificar los tonos verdes, aclarándolos u oscureciéndolos según su tipo.

a) Sulfato de aluminio

Sulfato de aluminio [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$], es una sal inorgánica de gran importancia en los procesos de teñido como mordiente. Su función principal es favorecer la fijación del colorante natural a la fibra, generando enlaces más estables entre los pigmentos y la proteína de la lana. Se caracteriza por ser un compuesto soluble en agua, de bajo costo y fácil aplicación, lo que lo convierte en uno de los mordientes más utilizados en la industria textil y en la práctica artesanal (Vele, 2017).

b) Sulfato de hierro

El sulfato de hierro (FeSO_4) es una sal inorgánica empleada como mordiente en procesos de teñido con colorantes naturales. Su acción se basa en la capacidad de formar complejos estables entre los iones de hierro y los pigmentos del colorante, lo que mejora la fijación y, en muchos casos, incrementa la solidez al lavado y a la luz. Además, el sulfato de hierro puede modificar la tonalidad del color obtenido, generando matices más oscuros en comparación con otros mordientes como el sulfato de aluminio. Su uso es frecuente en la práctica artesanal y en la industria textil por su eficacia y disponibilidad (CITE Utcubamba Amazonas, 2017).

2.2.15. Proceso de teñido

El teñido de fibras textiles con colorantes naturales o sintéticos se lleva a cabo, por lo general, mediante la preparación de una solución acuosa conocida como licor o baño de teñido. La coloración es relativamente estable si el proceso de coloración se realiza correctamente. Esto significa que la coloración de los textiles no se puede eliminar fácilmente por medios externos como la luz solar o el agua. El proceso de teñido se basa en la difusión del tinte en la fase líquida en la fibra, luego el tinte en la superficie de la fibra entra en la fase sólida y finalmente el tinte penetra en la fibra para formar enlaces para que se pueda fijar en la fibra (Mamani, 2022).

Durante el proceso de teñido, las moléculas de tinte pasan por varios procesos o pasos antes de unirse químicamente a las fibras.

a) Disgregación

Los colorantes y auxiliares se encuentran en los medios líquidos ya sea como especies moleculares individuales o formando agregados, los cuales se hallan en equilibrio

fisicoquímico de acuerdo con la naturaleza de las sustancias presentes en el sistema. La disgregación ocurre cuando el equilibrio está fuera de balance (Illa & Tairo, 2015).

b) Convección

Las moléculas del tinte se desplazan desde el baño de teñido hacia las zonas próximas a la superficie de las fibras por efecto de la difusión, impulsadas por la existencia de un gradiente de concentración. También hay una convección provocada por la velocidad de rotación de la propia del baño en relación con la velocidad de rotación del sustrato textil (Illa & Tairo, 2015).

c) Adsorción: Esto ocurre en la superficie de las fibras

La adsorción de moléculas de colorante desde la superficie de las fibras ocurre a través de interacciones cuya fuerza depende de la relación de afinidad entre las dos estructuras (Illa & Tairo, 2015).

d) Difusión

Las moléculas presentes en la superficie de las fibras inician su difusión hacia el interior de la estructura macromolecular que conforma la fibra. Esta difusión de líquidos y sólidos depende del tamaño molecular de las partículas que se difunden y de la naturaleza de la estructura interna de las fibras (Illa & Tairo, 2015).

f) Fijación

Al final del proceso se establece la unión entre la fibra y el colorante, lo que permite la fijación del tinte para lograrlo, el teñido debe realizarse bajo condiciones controladas que aseguren la saturación total de las fibras sin comprometer su integridad estructural. Esto es lo que distingue a los dos principios de la coloración.

La afinidad entre el tinte y las fibras hace que el tinte se transfiera del baño a las fibras hasta que se satura y se fija con las fibras.

Cuando se impregna la fibra, el material de fibra absorbe el tinte de la solución cuando se completa el teñido, pero no se ha fijado en ese momento, por lo cual tiene que pasar por el proceso de fijado.

2.2.16. Solidez del color

la resistencia de un material al cambio en cualquiera de sus características de color, a la transferencia de su(s) colorante(s) a materiales adyacentes (testigo), o a ambos, como resultado

de la exposición del material a cualquier ambiente que pueda enfrentar durante el proceso, evaluación, almacenaje o uso del material (INACAL, 2019).

Cambio al desprendimiento del colorante en la fibra o en cualquier otro material textil es la capacidad de mantener el color original del tinte bajo la influencia de otros tipos de factores externos en los procesos de teñido de telas entonces es la capacidad de resistencia del color a la decoloración o sangrado de un material textil teñido a varios tipos de influencias como el agua, la luz, el roce, el lavado, la transpiración, entre otros para medir la calidad del teñido y colorantes (TesTex, 2017).

a) Solidez al lavado

La solidez del color al lavado en materiales textiles está relacionada con la resistencia del teñido frente a procesos de limpieza frecuentes. Este ensayo evalúa la pérdida de color del tejido y las alteraciones superficiales producidas por la acción de una solución detergente y la fricción mecánica generada durante el lavado. Según la normativa de INACAL (2022), la prueba se realiza mediante cinco ciclos que reproducen las condiciones típicas de un lavado a mano o en lavadora doméstica, con el fin de determinar la calidad y durabilidad del teñido.

La solidez al lavado determina si el tejido conserva el color cuando se somete a agua, detergente y agitación mecánica, asimismo, permite evaluar la pérdida de color por efecto del contacto con el agua, mide la decoloración de la fibra textil teñida cuando el tejido es sometido al proceso habitual de lavado. Comparando los resultados con escalas de grises para medir el grado de decoloración. La solidez depende principalmente del tipo de fibra, la estructura del tejido, las condiciones del lavado y la naturaleza del mordiente utilizado. Generalmente, los colorantes naturales presentan menor solidez al lavado que los sintéticos, aunque un uso adecuado de mordientes puede mejorar notablemente su fijación (Tapia, 2023).

b) Solidez al frote

Este método de prueba está diseñado para determinar la cantidad de color que se transfiere desde la superficie de materiales textiles colorados a otras superficies por medio de frotación (INACAL, 2019) se puede determinar con ayuda de las telas sin teñir y las telas de colores los cuales pueden presentar manchas de abrasión cuando se frotran durante el uso o el lavado. Por ejemplo, los tintes utilizados para hacer pijamas que no se lavaron adecuadamente después del teñido pueden manchar las sábanas, agua de tinte de mala calidad, mala aplicación del acabado o producto adicional, o mala selección del tinte o acabado para el propósito (Vaca et al., 2020).

Analiza la estabilidad del color cuando el textil teñido entra en contacto por fricción con otra tela sin teñir, en condiciones secas o húmedas. El objetivo es determinar la transferencia de colorante desde la superficie teñida hacia un material blanco, una alta solidez al frote garantiza que la prenda no manche otros textiles durante el uso o lavado, lo cual es fundamental para asegurar la calidad del teñido (Tapia, 2023).

c) Solidez a la luz

La solidez del color a la luz es la capacidad que poseen los tejidos teñidos para mantener su tonalidad original frente a la acción de la luz solar, evaluada mediante métodos de ensayo establecidos en la NTP 231.183 según INACAL (2020) evalúa la capacidad de las fibras textiles teñidos para mantener su color frente a la exposición a la luz artificial o solar, que provoca la degradación de los pigmentos y, en consecuencia, la decoloración gradual. La pérdida de tonalidad está relacionada con factores como el tipo de fibra y tejido, la temperatura, la humedad ambiental y la atmósfera de almacenamiento. Además, se ha evidenciado que ciertas mezclas de colorantes, como en el caso de la tricromía, pueden acelerar la decoloración a pesar de tener propiedades individuales similares (Vaca et al., 2020).

Es una prueba que mide la capacidad del textil teñido para mantener su color al ser expuesto directamente a la radiación solar. La decoloración o debilitamiento del tono ocurre por la degradación fotoquímica de los colorantes, ya que la radiación ultravioleta rompe enlaces químicos y reduce su fijación a la fibra. Factores como la naturaleza de la fibra, la humedad, la temperatura del ambiente y la estabilidad fotoquímica del tinte influyen en el resultado. En fibras de camélidos, la estructura porosa favorece la penetración del colorante, lo que contribuye a una fijación más estable frente a la acción de la luz (Tapia, 2023).

d) Escala de grises para la evaluación del cambio de color

El instrumento se utiliza para evaluar y analizar el color y las variaciones que experimentan los textiles teñidos (fibra, tejido o lana) después de ser sometidos a ensayos de solidez a la luz solar y a procesos de lavado. Cada grado consta de dos zonas definidas, la primera es la parte superior representa la pérdida del color luego del proceso y el segundo es la parte inferior quien representa el color original (Tapia, 2023).

La evaluación de los resultados de la prueba de solidez del color se realiza conforme a la NTP 231.005 de INACAL (2019), mediante la comparación visual de la variación de color o del contraste entre las muestras tratadas y no tratadas, utilizando como referencia la Escala de

Grises. El nivel de solidez corresponde a la clase de la escala que presenta una diferencia de color o contraste equivalente al observado en las muestras.



Figura 4: Escala de grises de transferencias de color

e) Escala de grises para la evaluación de transferencia de color

La Escala de Grises se utiliza para valorar la transferencia o manchado del color desde los materiales teñidos hacia un testigo blanco, después de ser sometidos al ensayo de frote. Cada grado consta de dos zonas definidas, la parte superior representa la transferencia del color hacia el testigo blanco luego del frote y la parte inferior representa el testigo blanco sin tratamiento (Tapia, 2023).

La transferencia de color o manchado obtenida en una prueba de solidez se valora de acuerdo con la NTP 231.004 de INACAL (2019), mediante la comparación visual del cambio de color o del contraste entre los testigos manchados y los no manchados, tomando como referencia la Escala de Grises. El nivel de solidez corresponde a la clase de dicha escala que presenta una diferencia de color o contraste similar al observado.



Figura 5: Escala de grises de cambio de color

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.ÁMBITO DE ESTUDIO

La investigación se realizó en el laboratorio de control de calidad del CITE Textil Camélidos Arequipa, situado en el Parque Industrial de Río Seco, calle 3 Mz. I' Lt. 4 I. distrito de Cerro Colorado del departamento de Arequipa, donde se efectuaron los procesos de extracción del colorante, teñido del hilado de ovino y la evaluación de la solidez del color (lavado, frote y luz).

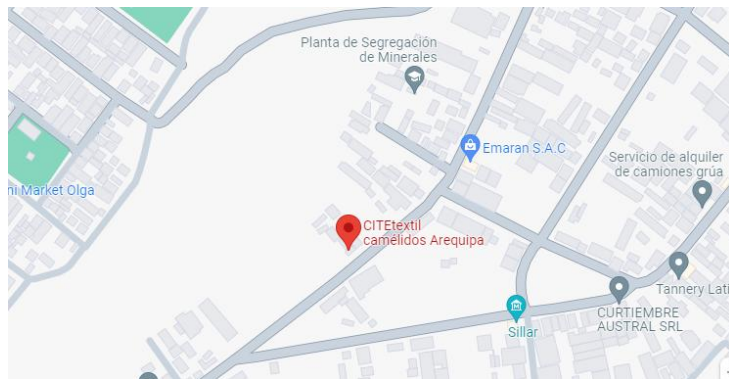


Figura 6: Lugar de ejecución

3.2.DISEÑO METODOLÓGICO

3.2.1. Tipo de investigación

El estudio es de tipo aplicada, dado que se orienta a resolver un problema específico con el fin de proponer modificaciones a una situación problemática. Según Hernández et al. (2014) este enfoque busca atender necesidades concretas mediante la aplicación del conocimiento científico en contextos prácticos. De manera similar, Huaraz & Ramos (2022) señalan que la investigación aplicada no se limita a la creación de teorías, sino que persigue transformar la realidad a través de los resultados obtenidos. En el presente estudio, se adoptó este enfoque porque se centra en resolver un problema específico que afecta a la sociedad, generando conocimientos que pueden aplicarse para mejorar la situación mediante los tratamientos realizados durante la ejecución del estudio.

3.2.2. Nivel de investigación

El presente estudio corresponde a un nivel explicativo, ya que se manipulan las variables independientes con el fin de evaluar su efecto sobre la solidez del color en las muestras teñidas. ya que tiene como finalidad identificar las causas y relaciones de dependencia entre las variables de estudio. Según Hernández et al. (2014) la investigación explicativa busca responder al porqué de los fenómenos, estableciendo relaciones de causalidad permite profundizar en la comprensión de los factores que determinan un hecho.

3.2.3. Diseño de investigación

Diseño de investigación experimental, ya que el investigador manipula deliberadamente las variables independientes para observar sus efectos sobre la variable dependiente (Hernández et al., 2014) en un diseño experimental se busca establecer relaciones de causalidad mediante el control y la manipulación de los factores que intervienen en el fenómeno de estudio. En este caso, se utilizó un diseño factorial 2^5 , considerando cinco variables independientes: cada una evaluada en dos niveles y 3 variables dependientes

3.2.4. Enfoque de investigación

El presente estudio se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, ya que se orienta a la recolección, procesamiento y análisis de datos numéricos con el fin de comprobar la hipótesis y responder a los objetivos planteados según Hernández et al. (2014) el enfoque cuantitativo se caracteriza por el uso de la medición y la estadística, lo cual permite establecer patrones de comportamiento, relaciones de causa y efecto, así como generalizaciones a partir de la evidencia empírica.

3.2.5. Método de investigación

El estudio se realiza bajo el enfoque del método hipotético - deductivo, que inicia con la formulación de hipótesis fundamentadas en la teoría existente y procede a contrastarlas con la realidad mediante la observación y experimentación. De acuerdo con Huaraz & Ramos (2022), este método se estructura en cuatro etapas: la percepción del problema, la formulación de hipótesis, la deducción de consecuencias observables y la verificación empírica de dichas hipótesis.

3.3.FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

3.3.1. Hipótesis general

- El colorante natural del achiote (*Bixa orellana*) tiene efecto significativamente en la solidez del color (lavado, frote y luz) en el hilado de lana de ovino, Puno - 2023.

3.3.2. Hipótesis específicas

- El colorante natural de achiote (*Bixa orellana*) tiene efecto significativamente en la solidez del color al lavado en el hilado de lana de ovino.
- El colorante natural de achiote (*Bixa orellana*) tiene efecto significativamente en la solidez del color al frote en el hilado de lana de ovino.
- El colorante natural de achiote (*Bixa orellana*) tiene efecto significativamente en la solidez del color a la luz en el hilado de lana de ovino. específicas

3.4.POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1. Población

Según el Hernández et al. (2014) define población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones elementos con características comunes para los cuáles serán extensivas las conclusiones de la investigación está queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio (Hernández & Mendoza, 2018). En este sentido, la población del estudio está conformada por las muestras de hilado (lana de ovino) utilizadas en los procesos de teñido desarrollados de acuerdo con el diseño experimental, y, para la obtención del colorante, se consideró como población al achiote (*Bixa orellana*), materia prima empleada en la extracción del colorante natural.

a) Criterios de selección de inclusión

- Muestras de Hilado de ovino limpia de impurezas en buen estado
- Muestras adecuadas para ser sometidas al proceso de teñido.
- Hilado de lana de ovino con características homogéneas en torsión, grosor e hilado artesanal con procedencia de la región de Juliaca - Puno.
- Muestras teñidas exclusivamente con colorante natural extraído de *Bixa orellana*.

b) Criterio exclusión

- Muestras en mal estado
- hilado que posee a impurezas

3.4.2. Tipo de muestreo

El muestreo empleado fue de tipo no probabilístico por selección intencional, dado que, según Hernández et al. (2014) la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador se realizó considerando el conocimiento y los criterios de quien efectúa la investigación; ya que el criterio de selección intencional se adecúa a la naturaleza y a los objetivos planteados. En este contexto, las muestras de hilado de lana de ovino fueron seleccionados en función de su disponibilidad y adecuación a los requerimientos técnicos del teñido con el colorante de achiote (*Bixa orellana*) en condiciones de laboratorio. Para el desarrollo del experimento, el hilado de lana de ovino fue fraccionado en muestras de madejas de 20 metros de longitud, con un peso promedio de 4 gramos cada una. En total, se emplearon 96 muestras destinadas para la evaluación de la solidez del color al lavado, 96 muestras destinados para solidez al frote y 96 muestras para la prueba de solidez a la luz, conformando un total de 288 muestras analizadas.

c) Tamaño de la muestra

La determinación del tamaño de la muestra se realizó a partir del diseño experimental, considerando los factores y los niveles de la variable independiente. Para ello se adoptó un diseño factorial completo 2^5 con el fin de evaluar el efecto de los factores tales como el tipo de mordiente (sulfato de aluminio y sulfato de hierro), la relación planta/sustrato (12,5% y 25%), la concentración de mordiente (1 g/L y 5 g/L), el tiempo (30 min y 60 min) y la temperatura (85 °C y 95 °C) en el teñido natural con achiote (*Bixa orellana*) sobre la solidez del color en el hilado de ovino. El diseño consideró cinco factores con dos niveles cada uno, generando un total de 32 tratamientos aplicados en tres réplicas, lo que corresponde a 96 experimentos para cada prueba de solidez (lavado, frote y luz), cuya distribución se presenta en la Tabla N.º 1.

Tabla 1: Determinación del tamaño de las muestras para el diseño experimental

Prueba de solidez del color	Nº de tratamiento	Nº de repeticiones	Total
Solidez al lavado, frote y luz	32	3	96

A cada muestra se le realizaron los tres ensayos de solidez del color: lavado, frote y luz.

Características de la muestra

- Hilado de lana de ovino de color blanco.
- Muestras de hilado con un peso promedio 4 gramos una longitud de 20 Metros.

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. Técnicas

a) Observacional - experimental

Se trata de una técnica que permite procesar datos bajo condiciones relativamente controladas por el investigador, especialmente porque este puede manipular una o varias variables. En la presente investigación se llevó a cabo la experimentación del teñido del hilado de lana de ovino con achiote (*Bixa orellana*), manipulando los parámetros de teñido con el objetivo de lograr una mayor solidez del color.

Selección y clasificación del hilado de lana de ovino de achiote (*Bixa orellana*)

Recolección de información, análisis, ficha de evaluación de solidez de color, observación y prueba estadística específica.

3.5.2. Instrumentos

En la investigación se evaluó el efecto del teñido natural con achiote (*Bixa orellana*) sobre la solidez del color, para ello, la solidez al lavado, al frote y a la luz se determinó utilizando la Escala de Grises de cambio de color y la Escala de Grises de transferencia de color, según lo establecido en las normas técnicas peruanas. Los datos obtenidos se registraron en una hoja de ficha especialmente diseñada para este propósito.

Ficha de registros: La ficha de registro fue elaborada conforme al diseño de la investigación, permitiendo anotar los datos de cada muestra y las correspondientes evaluaciones de solidez del color, las cuales se realizaron utilizando la Escala de Grises, tal como lo establecen las normas técnicas de INACAL.

Validación y confiabilidad del instrumento: La ficha de registros fue validada mediante juicio de expertos en el área de investigación y teñido, obteniendo una puntuación de 18.4. Esto indica que la ficha utilizada para recopilar los datos de solidez del color al lavado, al frote en seco y a la luz es válida y adecuada para su aplicación en este estudio. Se ejecuto para la prueba de piloto 12 muestras de hilado de lana de ovino y la evolución de solidez esto para el análisis de la confiabilidad del instrumento.

3.6.MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

3.6.1. Material de teñido y solidez

- Semillas del fruto de achiote (*Bixa orellana*)
- Hilado de lana de ovino color blanco de título Nm 5/1
- Tela multifibra
- Tejido testigo blanco de algodón 5 × 5

3.6.2. Equipos

- Estufa eléctrica marca EUROTECH (DRY OVEN DHG-9053^a) (programable T° y T),
- Balanza analítica SARTORIUS (1000 g),
- Data color AHIBA IR máquina de teñido para muestras de hilos, con capacidad de 20 tubos de acero, programable para (RPM, temperatura, tiempo) método de teñido rayos infrarrojos.
- Madeja dora y analizador de títulos (ASPE),
- Lauderometro (Water colour fastness tester) MODEL.AC10-8A, para solidez al lavado
- Crockmeter electrónico de marca SDLATLAS M23888 con posibilidad de programar el número de ciclos para la realización del ensayo de solidez al frote.
- ESTUFA DRY OVEN DHG-953^a,
- Cabina de luz modelo CIC 11 de PCE Instruments, equipada con tipos de iluminación F, D65, TL84, UV, CWF y TL83/U30, utilizada para la evaluación de la solidez.
- Máquina de tejer manual,
- Máquina de coser remalladora
- Escala de grises de cambio de color y transferencia de color.
- Cronometro
- Termómetro

3.6.3. Insumos y reactivos

- Detergente sin blanqueador óptico, estándar referencial AATCC 1993 – WOB, utilizado para las pruebas de solidez al lavado.
- Agua blanda
- Detergente para el lavado del hilado.
- Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$)
- Sulfato de hierro ($FeSO_4$)

3.6.4. Otros materiales

Hilo acrílico, recipiente de vidrio, lavador, olla de acero inoxidable, vasos de metal, jarra medidora, vagueta, cartulina negra, cartón artesanal, papel aluminio, calculadora, hoja de cálculos, cinta masking, recipiente transparente, etiqueta autoadhesiva, cinta embalaje, tijera, guantes quirúrgicos. Probeta, vaso precipitado, botella de reactivo, pipeta de plástico, pipeta electrónica, botella de reactivo, colador, vaso descartable, guantes quirúrgicos, guantes térmicos, mascarilla, franela, cinta masking, papel aluminio, etiqueta autoadhesiva, cinta embalaje, cono, portafolio para archivar muestras, engrampadora, escalímetro, cuaderno de apuntes, bolsa de laboratorio y calculadora.

3.7.MÉTODOS

3.7.1. Método de extracción y aplicación de colorante

La extracción del colorante se realizó siguiendo la metodología propuesta por Devia & Saldarriaga (2003). En primer lugar, se separaron las semillas de las cápsulas maduras del fruto de achiote (*Bixa orellana*). Posteriormente, las semillas se colocaron en suficiente agua hirviendo para facilitar la liberación del tinte, y luego se separaron para obtener el extracto colorante. Para la aplicación en el hilado de lana de ovino teniendo en cuenta los parámetros del estudio.

3.7.2. Metodología de evaluación de solidez

La solidez del color se evaluó siguiendo las normas técnicas peruanas (NTP), que establecen los procedimientos estandarizados para los ensayos textiles.

Escala de grises para cambio y transferencia de color: Se utilizó la NTP 231.005:2014 y la NTP 231.004:2014 (revisadas en 2019), 3ra edición, que establece la Escala de Grises para evaluar el cambio y la transferencia de color en materiales textiles, que describe la escala de grises utilizada para valorar los cambios de color en los materiales textiles y su modo de aplicación en las pruebas de solidez.

Solidez al lavado: El ensayo se realizó utilizando laudometro, equipo empleado para determinar la pérdida de color en la simulación de lavado doméstico, conforme a la NTP 231.008:2015 (revisada en 2022), segunda edición, que establece los procedimientos para evaluar la solidez del color al lavado en textiles.

Solidez al frote: Se aplicó el frictómetro para medir la transferencia de color por fricción hacia otros materiales, siguiendo la NTP 231.042:2009 (revisada el 2019) textil. segunda edición. Ensayos de solidez del color al frote.

Solidez a la luz: La resistencia del color a la irradiación y humedad se evaluó conforme a la NTP 231.183:19986 (revisada al 2020) Textiles.Método para determinar la solidez del color a la luz solar en tejidos artesanales. primera Edición, mediante la exposición controlada de las muestras a la luz.

3.8.PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El procedimiento experimental de la investigación se basó en la carencia identificada en los procesos de teñido con colorantes naturales, factor crucial en la solidez del color del producto final. El estudio se llevó a cabo en la ciudad de Arequipa, bajo una temperatura ambiente promedio de 25 °C y una humedad relativa del 35 %. previo al experimento, se llevaron a cabo seis pruebas piloto, tres con sulfato de aluminio y tres con sulfato de hierro, con el propósito de definir los parámetros adecuados para alcanzar los objetivos planteados. Finalmente, para la ejecución de la parte experimental se realizaron 32 tratamientos con tres réplicas, seleccionándose un total de 288 muestras de hilado de ovino.

3.8.1. Método general de procesos

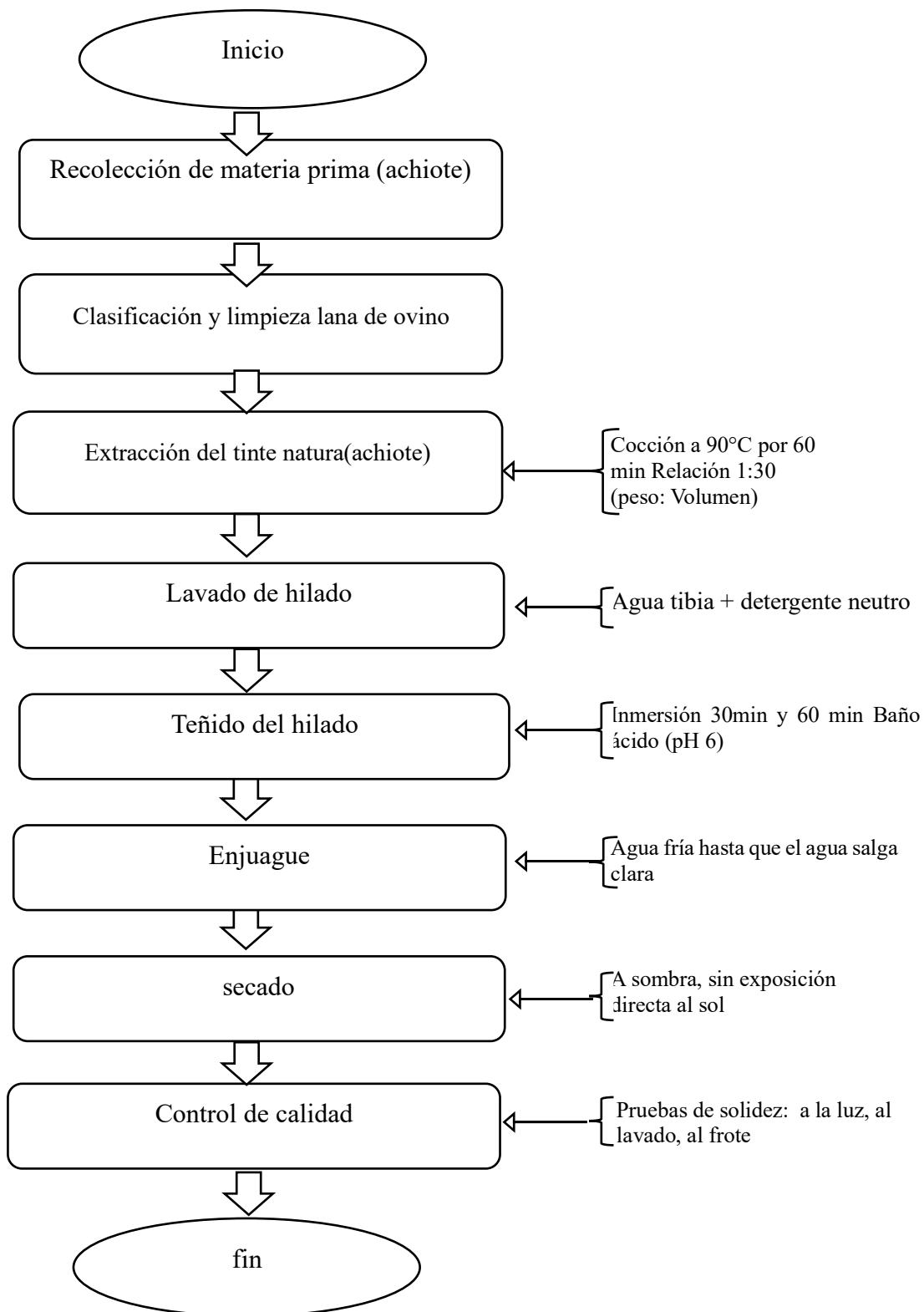


Figura 7: Proceso general de la experimentación

3.8.2. Recolección y selección de las semillas del fruto de achiote (*Bixa orellana*)

a) Recolección

La recolección del achiote (*Bixa orellana*) se llevó a cabo en la Provincia de Sandia, Distrito de Alto Inambari, Centro Poblado de Pampa Yanamayo, perteneciente a la Región Puno. Los frutos fueron cosechados manualmente, seleccionando aquellos en estado de madurez óptima



Figura 8: Selección y clasificación del achiote (*Bixa orellana*)

para asegurar la calidad de las semillas destinadas a la obtención del colorante natural.

b) Limpieza y clasificación:

La limpieza y clasificación de las semillas del fruto de achiote (*Bixa orellana*) se realizaron considerando la madurez del fruto, seleccionando únicamente aquellas semillas sanas y libres de impurezas. Este procedimiento tuvo como finalidad de eliminar las impurezas que acompañaban al fruto, tales como restos vegetales, polvo, partículas extrañas y semillas dañadas. La operación se efectuó de manera manual y cuidadosa, asegurando que las semillas quedaran libres de contaminantes que pudieran alterar sus propiedades. El proceso se llevó a cabo tomando en consideración lo establecido en la NTP 209.200:1982 (revisada el 2018), primera edición, Especies y condimentos - Achiote - Requisitos, que establece los parámetros de calidad que deben cumplir las semillas destinadas a su uso como materia prima.

c) Lavado:

se realizará de forma manual para extraer la semilla del fruto de achiote (*Bixa orellana*) para evitar algunas alteraciones como minerales y sustancias en la semilla, con abundante agua hasta quedar completamente limpias y libres de impurezas. y posteriormente se efectuó el secado de

las semillas a la sombra, evitando la exposición directa al sol, con el propósito de preservar sus componentes naturales y asegurar la calidad del colorante extraído.

d) Deshidratación y secado

Luego de tener las semillas del fruto de achiote (*Bixa orellana*) separadas de las capsulas, posteriormente se efectuó el secado de las semillas a la sombra, evitando la exposición directa al sol, con el propósito de preservar sus componentes naturales y asegurar la calidad del colorante.

3.8.3. Extracción de colorante de achiote (*Bixa orellana*)

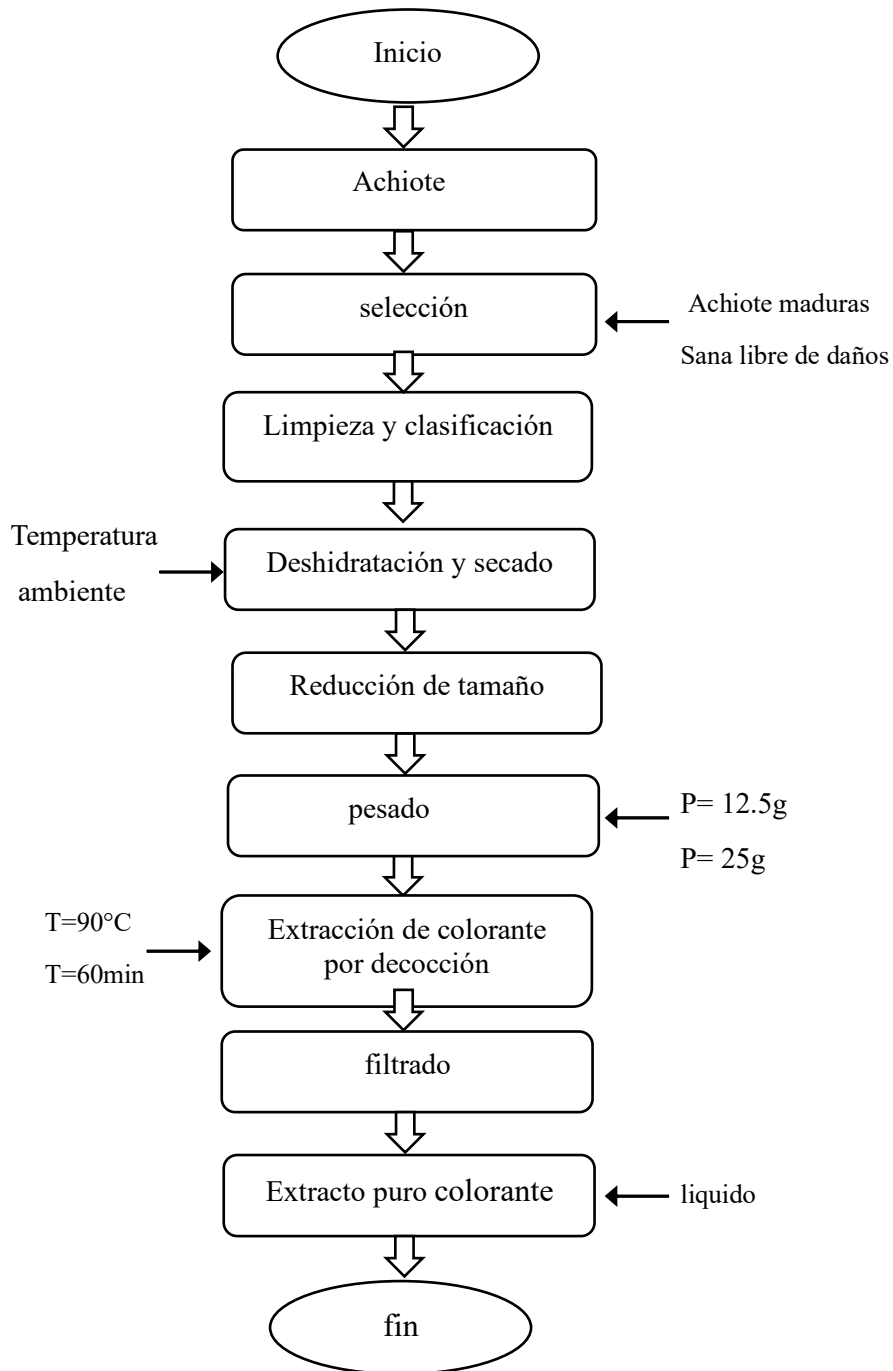


Figura 9: Proceso de extracción de colorante

a) Proceso de extracción de colorante

- **Pesado**

En este caso se pesó la cantidad necesaria de semillas del fruto de achiote (*Bixa orellana*), considerando la relación planta/sustrato, la cual en esta investigación se aplicó en dos niveles: 12.5% y 25% equivalente a 12.5 g y 25 g, con una relación de baño de 1/30.

- **Extracción de colorante**

El proceso de extracción de colorante de las semillas del fruto de achiote (*Bixa orellana*) se realizó mediante el método de decocción sólido-líquido. Para ello, se pesó la cantidad requerida de colorante (12.5 g y 25 g), la cual se incorporó en un recipiente con 3 litros de agua blanda (adicional ½ litro) 12 repeticiones según la relación planta/sustrato. Posteriormente, la mezcla se calentó hasta alcanzar una temperatura de ebullición de 90 °C y, una vez lograda, se dejó hervir durante 60 minutos a fuego lento.

Es importante destacar que en la extracción de colorantes naturales mediante ebullición se requiere añadir medio litro adicional de agua, debido a la evaporación que ocurre durante el proceso, lo cual asegura la concentración adecuada del extracto para el teñido.

- **Filtrado**

La solución que se extrajo se enfrió hasta llegar a 30° para luego realizar el filtrado con un colador anatómico para separar sólidos de la semilla de achiote (*bixa-orellana*).

- **Baño tintoreo**

El líquido filtrado se depositó en un recipiente para su posterior uso en el proceso de teñido del hilado de lana de ovino.

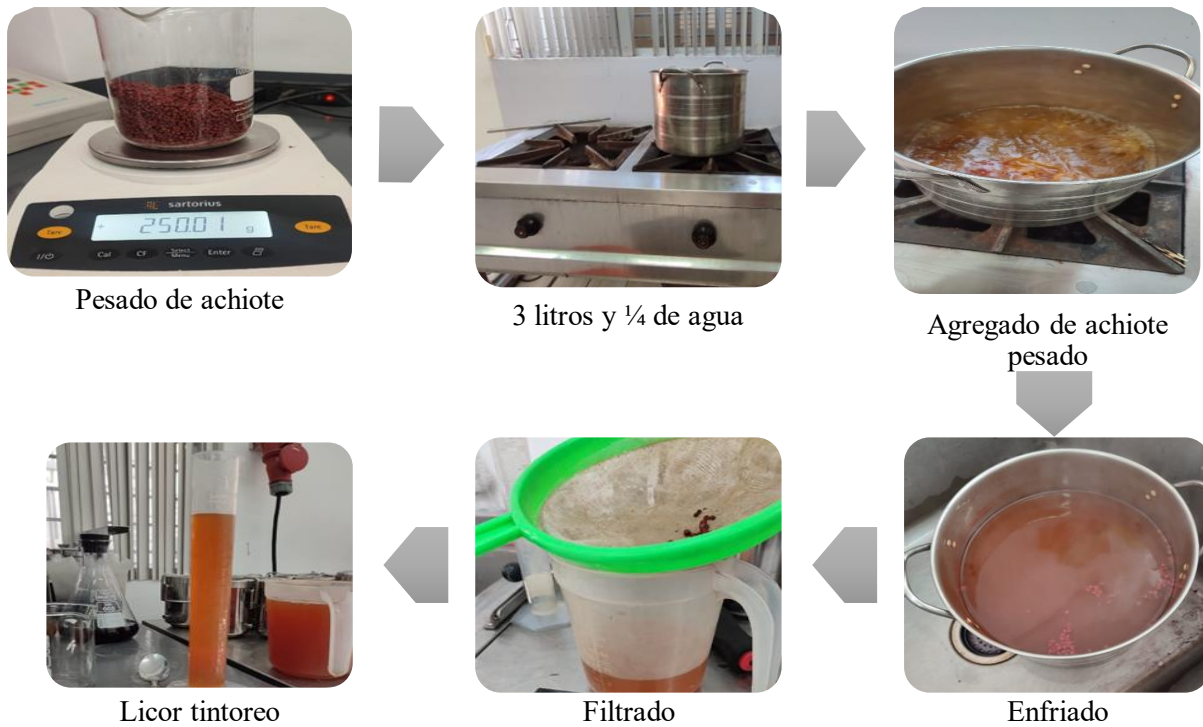


Figura 10: Proceso de extracción de colorante

3.8.4. Preparación de lana de ovino para el teñido

a) Madejado

Se elaboraron madejas de lana de ovino con un peso de 4 gramos (promedio), longitud de 20 metros igual a 20 vueltas, para cada una de las muestras que en total fueron 96 muestras, en este proceso se calculó y se determinó la titulación de hilado de lana de ovino.



Figura 11: Madejado tomada en el laboratorio CITE textil Arequipa

Tabla 2: Cálculo de título del hilado

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
Longitud	20m	20m	20m	20m	20m	200m	20m	20m	20m	20m	20m
Peso	4.14	4,19	3.95	3.83	4.09	4.25	3.98	4,20	4,26	3.86	4.075

Título del hilado

$$Nm = \frac{\text{longitud}}{\text{peso}} = \frac{20}{4.075} = 4.9079$$

$$Nm = 4.9079$$

El hilado de lana de ovino que se utilizó para el experimento tiene un título de Nm 5/1

b) Pesado

El pesaje se efectuó utilizando una balanza analítica, con el fin de calcular con precisión la cantidad de mordiente y la relación de baño necesarias para cada muestra, dado que el peso del hilado de lana de ovino varía debido al hilado irregular.

c) Cálculo de relación de baño y cantidad de mordiente para cada tratamiento

Para la presente investigación la relación de baño es 1/30, donde indica que por 1 g de hilado de lana de ovino se requiere 30 ml de volumen del colorante.

$$RB = (1/30) = (\text{peso de hilado}) \times 30$$

Tratamiento 1

Peso de hilado 3.93gramos

$$RB (1/30) = (3.93) \times 30 = 118 \text{ ml}$$

Para el tratamiento 1, con un peso de hilado de 3,93 gramos, se requirieron 118 ml de volumen del colorante. A continuación, se procedió a calcular la cantidad de mordiente necesaria.

Cantidad de mordiente = volumen del colorante x 1g/L

$$\text{Cantidad de mordiente} = 118 \text{ ml} \times 1 \text{ g/L} = 0.118 \text{ g}$$

Estos cálculos se realizaron para cada uno de tratamientos como se muestra en la tabla N° 3

Tabla 3: Calculo para tratamiento

Factores (parámetros de teñido)														
N° Tratamiento	Tipo de mordiente	Relación planta/sustrato (%)	Concentración de mordiente (g/L)	Tiempo (min)	Temperatura (°c)	Cálculo de concentración de mordiente (gramos)			Cantidad de hilado (gramos)			Relación de baño 1/30 (ml)		
						Replica I	Replica II	Replica III	Replica I	Replica II	Replica III	Replica I	Replica II	Replica III
						T1	Sulfato de aluminio	12.5	1	30	85	0.12	0.12	0.12
T2	Sulfato de hierro	12.5	1	30	85	0.13	0.12	0.12	4.19	3.95	3.93	126	119	118
T3	Sulfato de aluminio	25	1	30	85	0.11	0.12	0.12	3.83	4.09	3.97	115	123	119
T4	Sulfato de hierro	25	1	30	85	0.12	0.12	0.12	4.15	3.97	4.12	125	119	124
T5	Sulfato de aluminio	12.5	5	30	85	0.63	0.62	0.61	4.2	4.16	4.06	126	125	122
T6	Sulfato de hierro	12.5	5	30	85	0.58	0.61	0.61	3.86	4.06	4.04	116	122	121
T7	Sulfato de aluminio	25	5	30	85	0.6	0.58	0.6	4.03	3.84	3.99	121	115	120
T8	Sulfato de hierro	25	5	30	85	0.62	0.6	0.6	4.13	3.99	3.97	124	120	119
T9	Sulfato de aluminio	12.5	1	60	85	0.12	0.12	0.12	3.85	4	3.89	116	120	117
T10	Sulfato de hierro	12.5	1	60	85	0.13	0.12	0.12	4.2	3.89	4.12	126	117	124
T11	Sulfato de aluminio	25	1	60	85	0.12	0.12	0.12	4.04	3.94	4.04	121	118	121
T12	Sulfato de hierro	25	1	60	85	0.13	0.12	0.12	4.17	4.04	4.14	125	121	124
T13	Sulfato de aluminio	12.5	5	60	85	0.58	0.62	0.62	3.87	4.15	4.11	116	125	123
T14	Sulfato de hierro	12.5	5	60	85	0.54	0.62	0.62	3.6	4.11	4.14	108	123	124
T15	Sulfato de aluminio	25	5	60	85	0.58	0.62	0.59	3.86	4.16	3.95	116	125	119
T16	Sulfato de hierro	25	5	60	85	0.62	0.59	0.62	4.16	3.95	4.15	125	119	125
T17	Sulfato de aluminio	12.5	1	30	98	0.12	0.12	0.12	3.9	3.98	3.98	117	119	119
T18	Sulfato de hierro	12.5	1	30	98	0.12	0.12	0.12	4.07	3.94	3.94	122	118	118
T19	Sulfato de aluminio	25	1	30	98	0.12	0.12	0.12	3.97	3.96	3.96	119	119	119
T20	Sulfato de hierro	25	1	30	98	0.11	0.12	0.12	3.83	4.16	3.85	115	125	116
T21	Sulfato de aluminio	12.5	5	30	98	0.6	0.59	0.56	4.03	3.93	3.7	121	118	111
T22	Sulfato de hierro	12.5	5	30	98	0.62	0.61	0.57	4.11	4.04	3.82	123	121	115
T23	Sulfato de aluminio	25	5	30	98	0.6	0.62	0.63	4.03	4.12	4.19	121	124	126
T24	Sulfato de hierro	25	5	30	98	0.63	0.58	0.6	4.2	3.86	4.03	126	116	121
T25	Sulfato de aluminio	12.5	1	60	98	0.12	0.12	0.12	3.9	4.04	4.15	117	121	125
T26	Sulfato de hierro	12.5	1	60	98	0.12	0.12	0.12	3.85	3.95	4.03	116	119	121
T27	Sulfato de aluminio	25	1	60	98	0.13	0.12	0.12	4.17	3.97	3.86	125	119	116
T28	Sulfato de hierro	25	1	60	98	0.12	0.12	0.12	4.02	4.16	3.9	121	125	117
T29	Sulfato de aluminio	12.5	5	60	98	0.63	0.62	0.62	4.2	4.12	4.13	126	124	124
T30	Sulfato de hierro	12.5	5	60	98	0.62	0.59	0.63	4.12	3.92	4.17	124	118	125
T31	Sulfato de aluminio	25	5	60	98	0.54	0.62	0.63	3.61	4.14	4.2	108	124	126
T32	Sulfato de hierro	25	5	60	98	0.57	0.62	0.63	3.81	4.14	4.2	114	124	126

d) Lavado del hilado de lana de ovino

El lavado se ejecuta para eliminar el exceso de suciedad e impurezas que esta contenga, este proceso es importante debido a que se logra mejorar la humectabilidad de lana de ovino para el respectivo teñido. En esta investigación se realizó el lavado con lo siguiente:

Se utilizó 1 g de detergente ALPACEL disuelto en 1000 ml de agua a temperatura ambiente, correspondiente a una cantidad de hilado de 60 gramos, se debe sumergir hasta que el agua cubra en su totalidad durante 15 minutos. Este proceso tiene el objetivo de humectar y así lograr un teñido parejo sin imperfecciones tales como manchas o vetaduras.

3.8.5. Procedimiento de teñido del hilado de lana de ovino

a) Teñido

El proceso de teñido de hilado de lana de ovino se llevó a cabo en el equipo Data Color AHIBA IR, el cual es programable. y con capacidad para 20 envases de acero. Inicialmente, se pesaron las madejas y se calculó la relación de baño y la concentración de mordiente a emplear. Seguidamente, se midió el volumen de la solución tintórea en una probeta y se transfirió a un vaso precipitado, donde se incorporó el mordiente correspondiente, ya sea sulfato de aluminio o sulfato de hierro, hasta lograr su completa disolución. La mezcla obtenida se colocó en los envases de acero y se introdujeron las madejas de hilado.

Una vez integrados el baño tintóreo, el mordiente y las muestras de lana en los recipientes, estos se cerraron herméticamente y se colocaron en la máquina de teñido, programando los parámetros de tiempo y temperatura establecidos para el experimento.

• Parámetros de teñido

Cada uno de los parámetros considerados en el teñido se estableció considerando la revisión bibliográfica y el asesoramiento de un especialista en líneas húmedas y teñido con colorantes naturales del CITE Textil Camélidos de Arequipa.

• Mordiente

La concentración de mordiente es un factor clave en el proceso de teñido, ya que afecta directamente la fijación del colorante sobre el hilado de alpaca. Por esta razón, en el presente estudio se emplearon dos tipos de mordientes, sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y sulfato de hierro ($FeSO_4$), Este se empleó en concentraciones de 1 g/L y 5 g/L.

- **Relación planta sustrato**

La proporción planta/sustrato constituye un factor importante en el teñido del hilado de lana de ovino, ya que influye directamente en la intensidad del color en la fibra. En este estudio se utilizaron distintas concentraciones de 12.5 % y 25 %, considerando que este parámetro es crucial para lograr un teñido uniforme y con la solidez de color deseada.

- **Temperatura**

En esta investigación, se trabajó con temperaturas de 85 °C y 98 °C con el propósito de analizar su influencia en la fijación del color del hilado de lana de ovino. Estas temperaturas permitieron analizar cómo varía la intensidad y solidez del color en función del calor aplicado durante el proceso.

- **Tiempo**

El tiempo de teñido es un parámetro importante, ya que está relacionado con el agotamiento del colorante durante el proceso. En esta investigación se emplearon tiempos de 30 y 60 minutos para evaluar su efecto sobre la fijación e intensidad del color en el hilado de lana de ovino.

- b) Enfriamiento y enjuague**

Una vez finalizado el proceso de teñido, se retiraron los envases de acero de la máquina y se dejaron enfriar. Posteriormente, las madejas se enjuagaron abundantemente con agua hasta que el líquido de enjuague no presente restos de color.

- c) Secado**

En el secado se procedió a secar las muestras a temperatura ambiente 35 °C de esta forma se logró un buen secado para posteriormente evaluar la solidez.

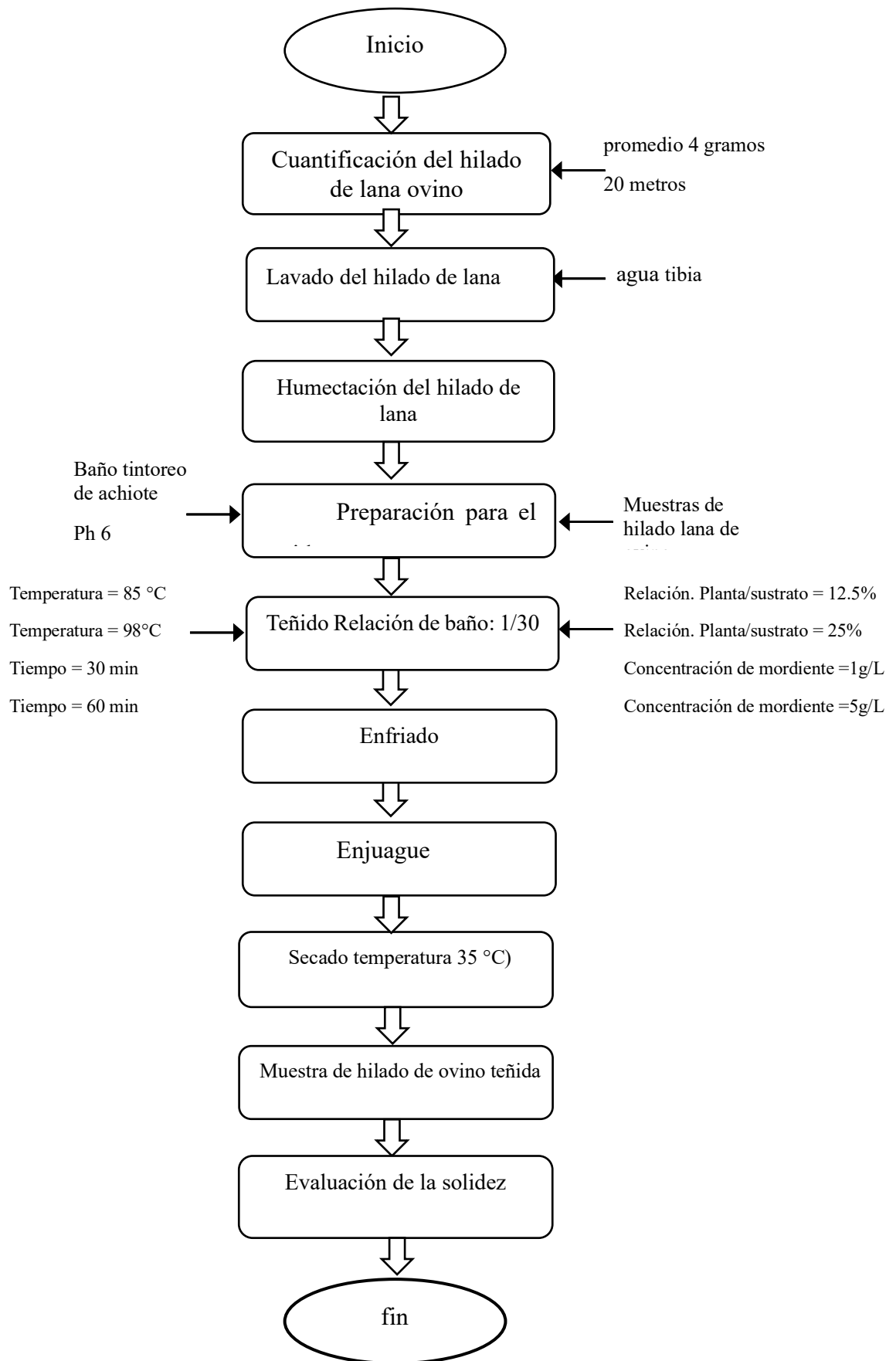


Figura 12: Proceso de teñido



Figura 13: Secuencia fotográfica del teñido de hilado en lana de ovino

Tabla 4: Caracterización de código del color teñido con achiote

Caracterización de código del color teñido con achiote		
	HEX: #dfad3c	RAL 1003
	RGB: (223, 173, 60)	Amarillo señales
	HEX: #bf9257	RAL 1011
	RGB: (191, 146, 87)	Beige pardo
	lab(73.48, 7.41, 61.98)	
	lab(63.61, 10, 37.55)	

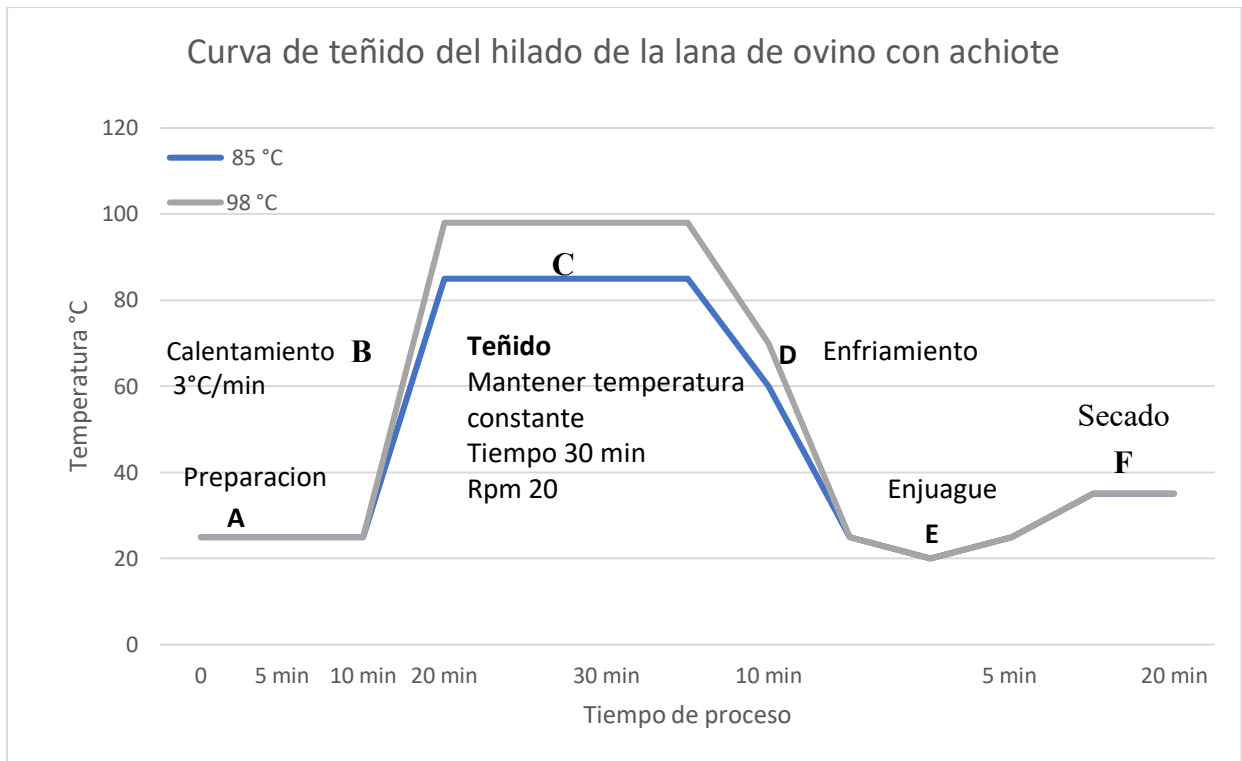


Figura 14: Curva de teñido del hilado de lana de ovino con achiote

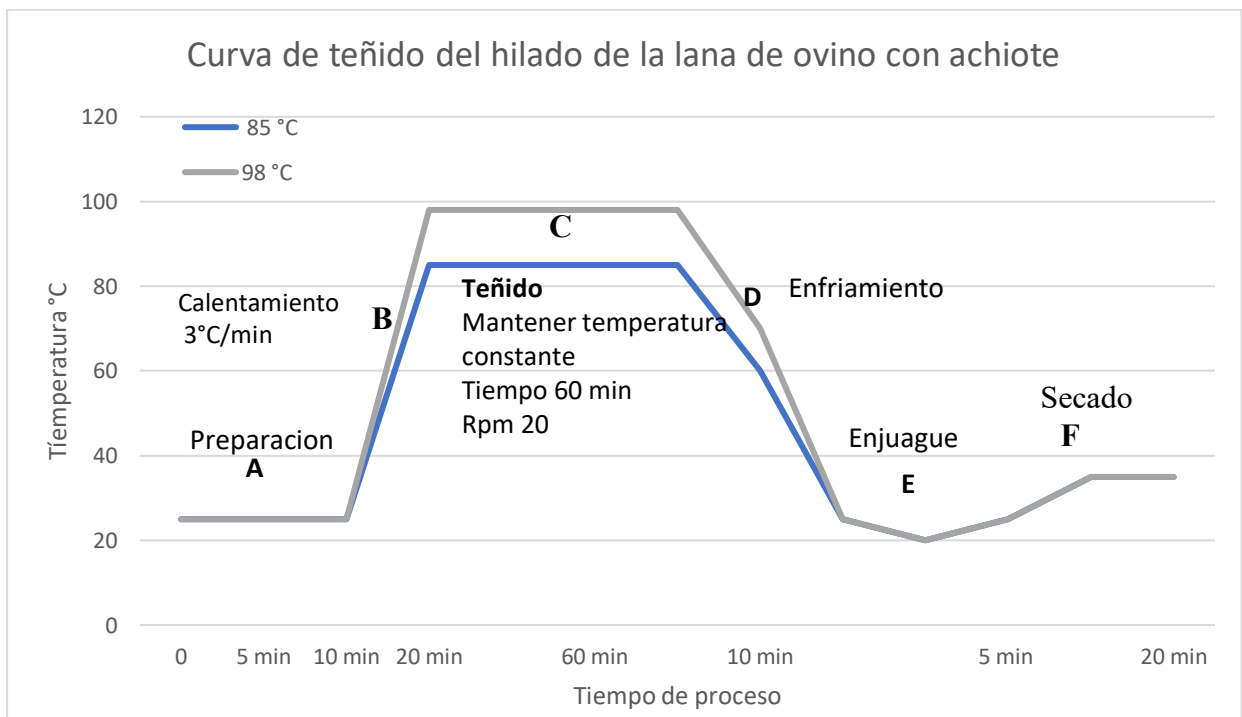


Figura 15: Curva de teñido del hilado de lana de ovino con achiote

3.8.6. Procedimiento de los ensayos de solidez (lavado, frote y luz)

a) Solidez al lavado

En este ensayo se determinó el grado de transferencia de color (manchado) a materiales adyacentes o ambos, en este caso se usó tejido testigo blanco de algodón y la multifibra está compuesta por diversos tipos de tejidos, incluyendo acetato, algodón, nylon, poliéster, acrílico y lana, lo que permite evaluar la solidez del color en diferentes fibras textiles de manera simultánea. Estos sumergidos junto a la muestra en una solución de detergente, se desarrolló, Según la norma técnica peruana (NTP 231.008: 2015 - revisada el 2022) TEXTILES. 2da edición. Método acelerado de ensayo de solidez del color al lavado. se usó el equipo Lauderometro (WATER COLOUR FASTNESS TESTER) MODEL.AC10-8A, para solidez al lavado

Tabla 5: Condiciones del ensayo

Opción	Temperatura C° (2 °C)	Volumen Total	%detergente Solido del volumen total	% detergente Liquido del volumen total	% de cloro del volumen total	N° de esferas de acero	N° de esferas de caucho	Tiempo
1A	40	200	0.37	0.56	-	10	-	45
1B	31	150	0.17	0.56	-	-	10	20
2A	49	150	0.15	0.23	-	50	-	45
3A	71	50	0.15	0.23	-	100	-	45
4A	71	50	0.15	0.23	0.015	100	-	45
5A	49	150	0.15	0.23	0.027	50	-	45

FUENTE: (INACAL, 2022)

Cálculo de detergente según la tabla 5 y la opción 2A que se tomó para este estudio

Volumen total del baño tintoreo = 150 ml

% detergente solido del volumen total 0,15

Cantidad de detergente $150 \times \frac{0.15}{100} = 0.22$

• Procedimiento del ensayo

Para el ensayo de solidez al lavado se utilizó la opción 2A (Tabla 5). Se pesaron muestras de algodón y multifibra, asegurando que tuvieran el mismo peso que la muestra de hilado a evaluar. La madeja teñida, con una medida de 5 cm x 15 cm para la opción 2A hilado de 110 m, (120 yardas) doblado 5 cm de ancho). A continuación, para preparar el espécimen se cosieron la multifibra y el tejido testigo blanco de algodón, junto con la muestra doblada. Se

preparó una solución de detergente, dosificando 0,22 g std referencial AATCC 1993 – WOB (sin blanqueador óptico) para cada contenedor en 150 ml de agua, incorporando además 50 esferas (villas) para favorecer la fricción durante el ensayo. Los especímenes se colocaron en los contenedores, se realizó un precalentamiento de 2 minutos y posteriormente el equipo funcionó durante 45 minutos a tiempo constante y temperatura 49°C. Una vez finalizado el ensayo, las muestras se retiraron, el espécimen se enjuagó tres veces durante un minuto, exprimiendo suavemente con la mano para eliminar residuos de colorante, posteriormente se secaron en estufa por 15 minutos y se identificaron Finalmente, La evaluación se llevó a cabo en la cabina de luz empleando la Escala de Grises para medir la transferencia de color. comparando la multifibra con la muestra original. Se registraron los valores de solidez al lavado de acuerdo con la NTP 231.004: 2014 (revisada el 2019), evaluando cada tipo de fibra presente en la multifibra.

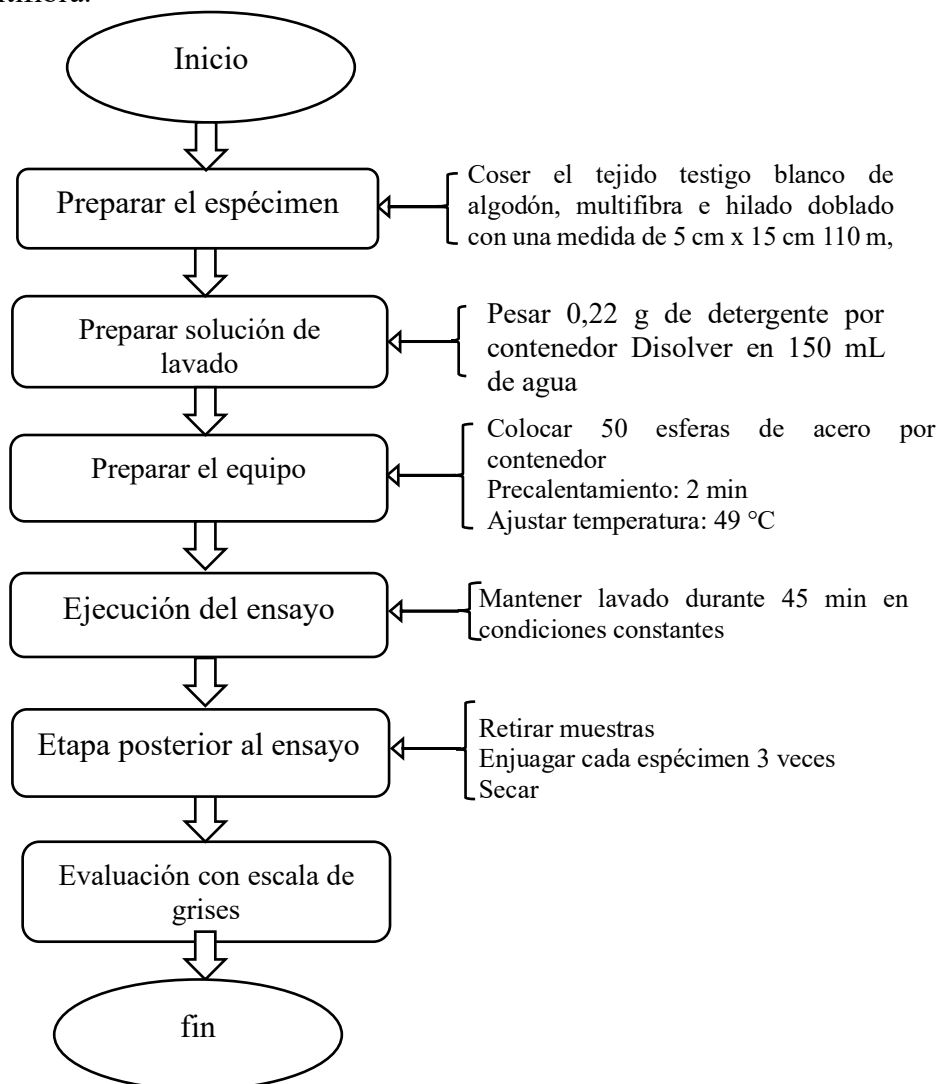


Figura 16: Proceso de ensayo de solidez al lavado



Figura 17: Secuencia fotográfica del procedimiento de solidez al lavado

b) Solidez al frote en seco

En este ensayo se determinó el grado de transferencia de color a materiales adyacentes mediante la frotación se emplearon espécimenes de hilado de lana de ovino a de 5 x 13 cm y el tejido testigo blanco de algodón de 5 x 5 cm, siguiendo lo establecido en la norma técnica peruana NTP 231.042:2009 (revisada en 2019), TEXTILES segunda edición. Ensayos de solidez del color, solidez al frote, el hilado se enrolló longitudinalmente sobre un cartón prensado y se colocó en la base del equipo Crockmeter M238BB, modelo CM-, para efectuar la frotación correspondiente y sujetar el tejido testigo blanco de algodón esta se posicionó de manera que el roce se realizara en la dirección del tejido, conectándose al brazo del equipo deslizante. La prueba se programó para 10 giros completos, a una velocidad de una vuelta por segundo, realizando 20 movimientos de frote hacia adelante y hacia atrás.

Una vez finalizado el proceso, se retiró el tejido testigo blanco de algodón, ya que podrían interferir en la calificación. La evaluación de la transferencia de color se llevó a cabo en la cabina de luces utilizando la escala de grises según la norma NTP 231.004:2014 (revisada 2019), registrando los valores de solidez del color para cada muestra.

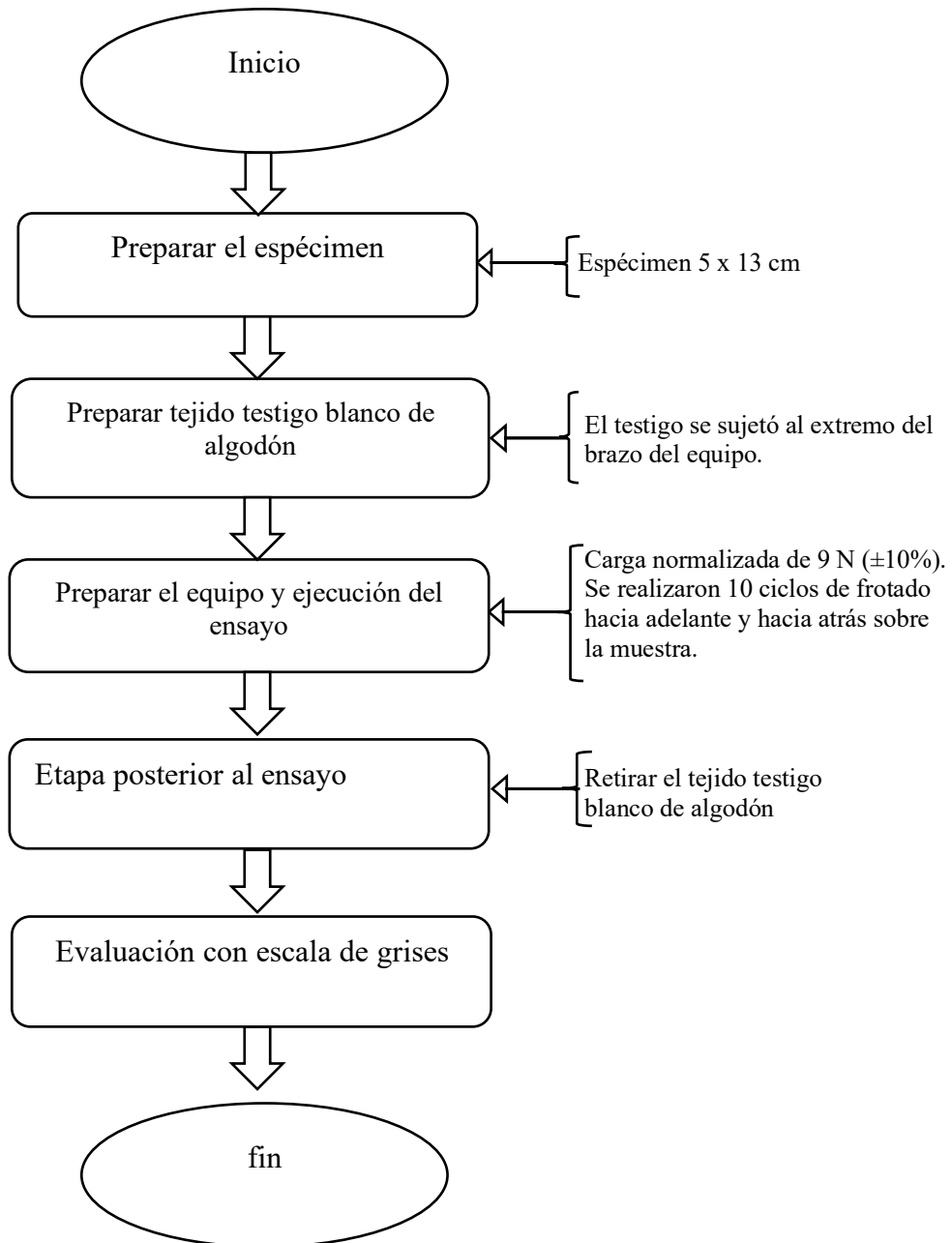


Figura 18: Proceso de solidez al frote



Preparación de
muestras



Ejecución del ensayo



Resultados

Figura 19: Secuencia fotográfica del procedimiento de solidez al frote

c) Solidez a la luz del sol

Para evaluar la solidez del color a la luz, las muestras de tejido se sometieron a exposición solar durante 12 horas al día, distribuidas en intervalos de 4 horas. durante 3 días (10:00 – 14:00 h). bajo condiciones controladas y protegidas de la lluvia, siguiendo la norma técnica peruana (NTP 231.183: 1986 (revisada el 2020) TEXTILES primera edición, Método para determinar la solidez del color a la luz solar en tejidos artesanales, que establece el método para determinar la solidez del color a la luz solar en tejidos artesanales. Para la preparación de las muestras, el hilado teñido de lana de ovino se tejió en la máquina de tejido a punto manual con dimensiones de 4 x 10 cm, fijándose posteriormente sobre cartulina negra. La mitad de cada muestra se cubrió con cartulina negra para servir de referencia. La exposición se realizó entre las 10:00 y 14:00 horas, durante tres días consecutivos, aprovechando las horas de mayor intensidad solar. Finalizado el proceso, se retiró la cubierta de cartulina y se evaluó el cambio de color en la cabina de luces, utilizando la escala de grises norma NTP 231.005:2014 (revisada 2019), registrando los valores de solidez del color para cada muestra.

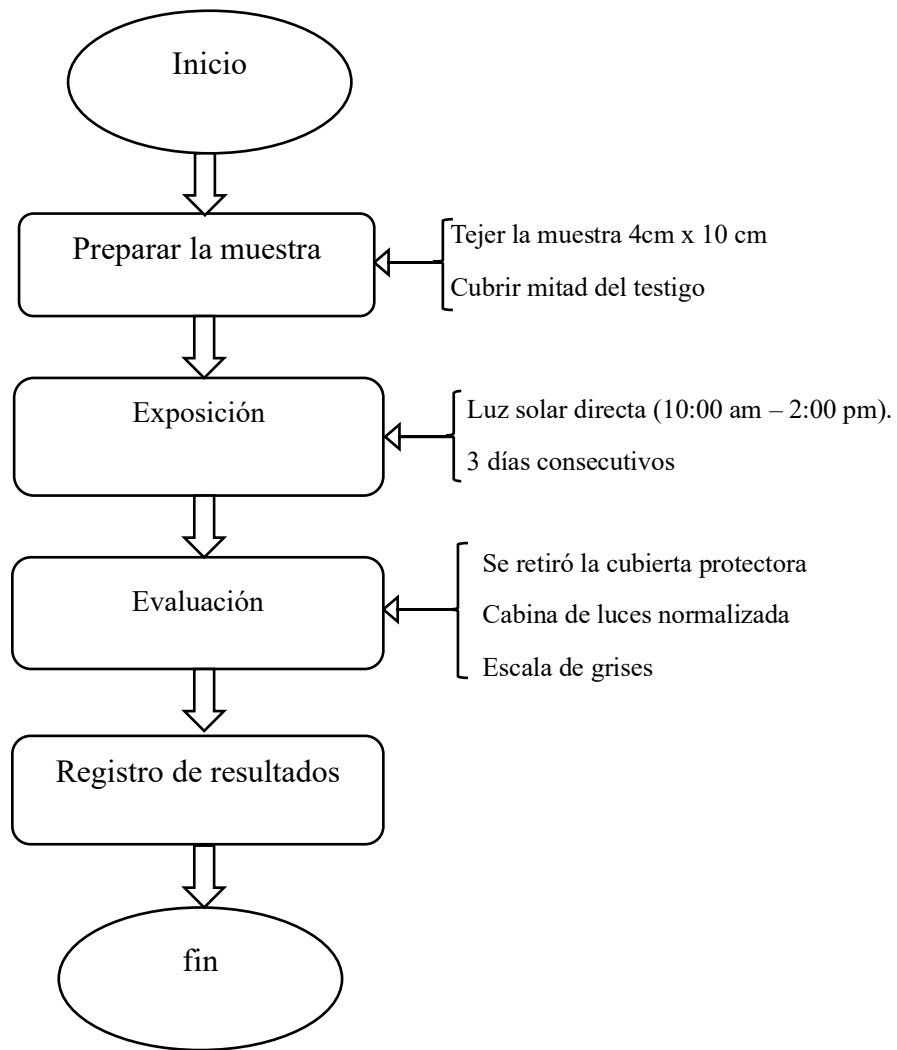
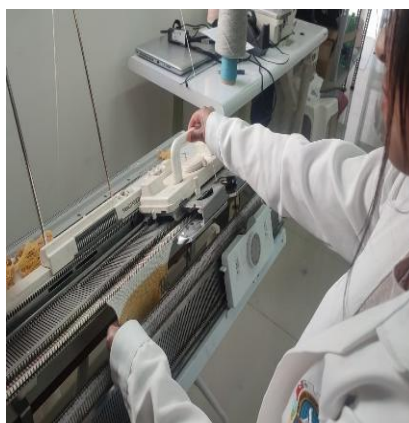


Figura 20: Proceso de solidez a la luz



Enconado de muestras



Tejido de muestras



Exposición

Figura 21: Secuencia fotográfica del procedimiento de solidez al frote

d) Evaluación de solidez

Al concluir los ensayos de solidez, se evaluaron el cambio de color y la transferencia de color de cada muestra en la cámara de luces, para facilitar una mejor visualización, utilizando la Escala de Grises para cambio de color y transferencia de color

- **Escala de grises**

En la prueba de solidez, haciendo el uso de escalas de grises para evaluar los cambios y transferencia de color

Calificación en la escala de grises

Tabla 6: Calificación en la escala de grises

Interpretación	Valor	valor cuantificable
Excelente	5	5
Muy bueno	4/5	4.5
Bueno	4	4
Regular – Bueno	3/4	3.5
Regular	3	3
Mediano	2/3	2.5
Bajo	2	2
Deficiente – Malo	1/2	1.5
Malo	1	1

FUENTE: NTP 231.005 y NTP 231.004 (INACAL, 2019)

3.9.PROCESOS DE DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para la para análisis de datos de este estudio se empleó ó un diseño experimental de 2^5 para evaluar el la influencia de los factores tales como la relación planta/sustrato, concentración de mordiente, tiempo y temperatura cada uno con dos niveles , en el teñido natural con achiote (*Bixa orellana*) en la solidez del color en el hilado de ovino el diseño experimental cuenta con 5 factores con dos niveles teniendo en total 32 tratamientos con tres replicas un total de 96 tratamientos, se seleccionaron 32 muestras de hilado de ovino para cada tipo de solidez (lavado, frote y luz).

Para un diseño factorial 2^k , en el que se consideran k factores con dos niveles cada uno, el modelo estadístico incluye k efectos principales, además de todas las posibles interacciones entre los factores, desde interacciones de dos factores hasta la interacción de orden k., de los cuales se hacen interacciones de dos, tres, cuatro etc, factores, y una interacción de k factores. Es decir, el modelo completo contendría 2k efectos para un diseño 2^k . Un diseño factorial 2^5 tiene 32 combinaciones de tratamiento, porque cada uno de los 5 factores posee 2 niveles

posibles (bajo/alto o $-1/+1$): las interacciones como en el primero también se aplica para esto las combinaciones de tratamientos se pueden organizar en orden estándar introduciendo los factores de manera secuencial, de modo que cada factor nuevo se combine sucesivamente con los factores ya considerados. Podría ser como este de aquí el orden estándar para un diseño de 2^5 (1) a, b, ab, c, ac, bc, abc, d, ad, bd, abd, cd, acd, bcd, abcd, e, ae, be, abe, ce, ace, bce, abce, de, ade, bde, abde, cde, acde, bcde y abcde (Montgomery, 2020).

Procedimiento de análisis para un diseño 2^k

- Estimar los efectos factoriales.
- Construir el modelo inicial.

Si el diseño incluye replicaciones, ajustar el modelo completo.

Si no hay replicación, elaborar el modelo utilizando una gráfica de probabilidad normal de los efectos.

- Realizar pruebas estadísticas.
- Refinar el modelo según los resultados.
- Analizar los residuos.
- Interpretar los resultados obtenidos.

Al elaborar el modelo inicial del experimento, generalmente se selecciona el modelo completo, incluyendo todos los efectos principales y sus interacciones, siempre que al menos uno de los puntos del diseño haya sido replicado (en la sección siguiente se detalla una modificación de este paso). Para evaluar formalmente la significancia de los efectos principales y de las interacciones se emplea el análisis de varianza (ANOVA).

Tabla 7: Diseño factorial 2^5

N°tratamiento	Diseño factorial 2^5					Combinaciones
	Factores					
	A	B	C	D	E	
T1	-	-	-	-	-	(1)
T2	+	-	-	-	-	<i>a</i>
T3	-	+	-	-	-	<i>b</i>
T4	+	+	-	-	-	<i>ab</i>
T5	-	-	+	-	-	<i>c</i>
T6	+	-	+	-	-	<i>ac</i>
T7	-	+	+	-	-	<i>bc</i>
T8	+	+	+	-	-	<i>abc</i>
T9	-	-	-	+	-	<i>d</i>
T10	+	-	-	+	-	<i>ad</i>
T11	-	+	-	+	-	<i>bd</i>
T12	+	+	-	+	-	<i>abd</i>
T13	-	-	+	+	-	<i>cd</i>
T14	+	-	+	+	-	<i>acd</i>
T15	-	+	+	+	-	<i>bcd</i>
T16	+	+	+	+	-	<i>abcd</i>
T17	-	-	-	-	+	<i>e</i>
T18	+	-	-	-	+	<i>ae</i>
T19	-	+	-	-	+	<i>be</i>
T20	+	+	-	-	+	<i>abe</i>
T21	-	-	+	-	+	<i>ce</i>
T22	+	-	+	-	+	<i>ace</i>
T23	-	+	+	-	+	<i>bce</i>
T24	+	+	+	-	+	<i>abce</i>
T25	-	-	-	+	+	<i>de</i>
T26	+	-	-	+	+	<i>ade</i>
T27	-	+	-	+	+	<i>bde</i>
T28	+	+	-	+	+	<i>abde</i>
T29	-	-	+	+	+	<i>cde</i>
T30	+	-	+	+	+	<i>acde</i>
T31	-	+	+	+	+	<i>bcde</i>
T32	+	+	+	+	+	<i>abcde</i>

FUENTE: (Montgomery, 2020)

En la tabla 7 se muestra el diseño factorial 2^5 y las combinaciones para cada tratamiento

Tabla 8: Combinación de tratamientos del teñido con achiote (*Bixa arellana*)

Nºtratamiento	Diseño factorial 2 ⁵					Combinaciones
	A	B	C	D	E	
T1	Sulfato de aluminio	12.5	1	30	85	(1)
T2	Sulfato de hierro	12.5	1	30	85	<i>a</i>
T3	Sulfato de aluminio	25	1	30	85	<i>b</i>
T4	Sulfato de hierro	25	1	30	85	<i>ab</i>
T5	Sulfato de aluminio	12.5	5	30	85	<i>c</i>
T6	Sulfato de hierro	12.5	5	30	85	<i>ac</i>
T7	Sulfato de aluminio	25	5	30	85	<i>bc</i>
T8	Sulfato de hierro	25	5	30	85	<i>abc</i>
T9	Sulfato de aluminio	12.5	1	60	85	<i>d</i>
T10	Sulfato de hierro	12.5	1	60	85	<i>ad</i>
T11	Sulfato de aluminio	25	1	60	85	<i>bd</i>
T12	Sulfato de hierro	25	1	60	85	<i>abd</i>
T13	Sulfato de aluminio	12.5	5	60	85	<i>cd</i>
T14	Sulfato de hierro	12.5	5	60	85	<i>acd</i>
T15	Sulfato de aluminio	25	5	60	85	<i>bcd</i>
T16	Sulfato de hierro	25	5	60	85	<i>abcd</i>
T17	Sulfato de aluminio	12.5	1	30	98	<i>e</i>
T18	Sulfato de hierro	12.5	1	30	98	<i>ae</i>
T19	Sulfato de aluminio	25	1	30	98	<i>be</i>
T20	Sulfato de hierro	25	1	30	98	<i>abe</i>
T21	Sulfato de aluminio	12.5	5	30	98	<i>ce</i>
T22	Sulfato de hierro	12.5	5	30	98	<i>ace</i>
T23	Sulfato de aluminio	25	5	30	98	<i>bce</i>
T24	Sulfato de hierro	25	5	30	98	<i>abce</i>
T25	Sulfato de aluminio	12.5	1	60	98	<i>de</i>
T26	Sulfato de hierro	12.5	1	60	98	<i>ade</i>
T27	Sulfato de aluminio	25	1	60	98	<i>bde</i>
T28	Sulfato de hierro	25	1	60	98	<i>abde</i>
T29	Sulfato de aluminio	12.5	5	60	98	<i>cde</i>
T30	Sulfato de hierro	12.5	5	60	98	<i>acde</i>
T31	Sulfato de aluminio	25	5	60	98	<i>bcde</i>
T32	Sulfato de hierro	25	5	60	98	<i>abcde</i>

En la Tabla 8 se presentan las combinaciones de los cinco factores de investigación, cada uno con dos niveles, dando como resultado 32 tratamientos, cada uno replicado tres veces. por ende, se consideró cinco variables controlables (tipo de mordiente, relación planta/sustrato, concentración de mordiente, tiempo y temperatura) del procedimiento del teñido del hilado de

lana de ovino con colorante de achiote (*bixa arellana*,) respecto a las variables de respuesta correspondientes a la solidez del color al lavado, a la luz y al frote.

Tabla 9: Variables independientes

Variables independientes	Nivel bajo	Nivel alto
Tipo de mordiente	Sulfato de aluminio	Sulfato de hierro
Relación planta/sustrato	12.5 %	25 %
Concentración de mordiente	1g/L	5g/L
Tiempo	30 min	60 min
Temperatura	85 °C	98 °C

Tabla 10: Variables de respuesta

Solidez al lavado	La calificación de la solidez del color se determinó mediante las normas técnicas peruanas NTP 231.004 y NTP 231.005, que establecen la escala de grises para evaluar la transferencia y el cambio de color.
Solidez al frote en seco	La evaluación de la solidez del color se realizó conforme a la norma técnica peruana NTP 231.004, que utiliza la escala de grises para determinar la transferencia de color.
Solidez a la luz	La solidez del color se calificó de acuerdo con la norma técnica peruana NTP 231.005, que emplea la escala de grises para el cambio de color.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1.CONTRASTE DE HIPÓTESIS

a) Hipótesis general

H_0 = El colorante natural del achiote (*Bixa orellana*) tiene no efecto significativamente en la solidez del color (lavado, frote y luz) en el hilado de lana de ovino, Puno - 2023.

H_1 = El colorante natural del achiote (*Bixa orellana*) tiene efecto significativamente en la solidez del color (lavado, frote y luz) en el hilado de lana de ovino, Puno - 2023.

- Validación de supuestos estadísticos

Prueba de normalidad

En la prueba de normalidad se plantea como hipótesis nula que los datos siguen una distribución normal cuando el valor de p es mayor a 0,05, mientras que la hipótesis alterna establece que los datos no presentan una distribución normal cuando el valor de p es menor o igual a 0,05; por lo tanto, la regla de decisión indica que si $p > 0,05$ se acepta la hipótesis nula y se rechaza la alterna, y si $p \leq 0,05$ se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna (Montgomery, 2020).

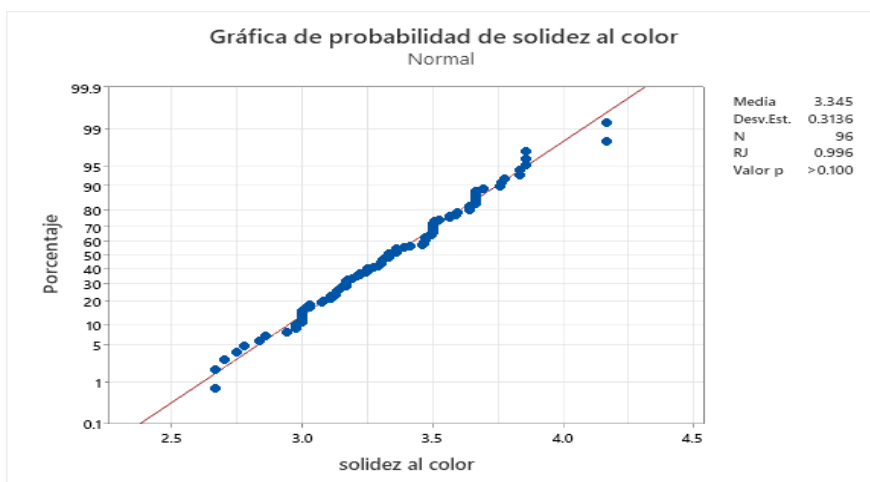


Figura 22: Gráfica de probabilidad de solidez al color

En la figura 22 se detalla la prueba de Ryan Joiner para evaluar la normalidad de la solidez del color a la luz, obteniéndose un valor de RJ = 0.996 y su P valor = 0.100. Como el coeficiente RJ está muy cerca de 1, se rechaza la hipótesis alterna y se acepta la hipótesis nula. Por ende, se concluye que los datos muestran una distribución normal y son aptos para trabajar con (ANOVA)

Prueba de Levene (homogeneidad de varianzas)

El supuesto de homogeneidad de varianzas se considera cumplido cuando el valor de p es mayor que 0,05, lo que indica que se acepta la hipótesis nula y que las varianzas de los tratamientos no presentan diferencias significativas; por el contrario, si el valor de p es menor o igual a 0,05, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que existe al menos una varianza distinta, por lo que no se cumple este supuesto (Montgomery, 2020).

Tabla 11: Resultados de la prueba de Levene (homogeneidad de varianza)

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0.357
Levene	0.49	0.983

La Tabla 11 detalla los resultados de la prueba de Levene, la cual evidencia que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, dado que el valor obtenido $P = 0.983$ es mayor que el nivel de significancia que 0.05. Esto indica que cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas, lo que valida la aplicación del análisis de varianza.

Análisis de varianza (ANOVA)

Tabla 12: Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	31	7.67318	0.24752	9.50	0.000
Error	64	1.66671	0.02604		
Total	95	9.33989			

De acuerdo con la Tabla 12, el análisis de varianza realizado con un nivel de significancia del 5 % arrojó un valor de $p = 0,000$, el cual es inferior a 0,05; por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna H_1 : El uso de colorante natural extraído del achiote (*Bixa orellana*) influye significativamente en la solidez del color (lavado, frote y luz) en el hilado de lana de ovino, Puno - 2023.

4.2.PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.2.1. Resultados de solidez al color

En las tablas 13 se presentan los tratamientos donde se detallan las combinaciones de los parámetros de teñido evaluados: tipo de mordiente (sulfato de aluminio), relación de planta sustrato (12.5% y 25%), concentración de mordiente (1 g/L y 5 g/L), tiempo (30 min y 60 min), temperatura (85°C y 98°C) asimismo, se muestran los resultados obtenidos en cada tratamiento.

Tabla 13: Resultados de evaluación de solidez al color

N° Tratamiento	Factores (parámetros de teñido)					solidez al lavado			solidez al frote			solidez a la luz		
	Tipo de mordiente	Relación planta/sustrato (g)	Concentración de mordiente (g/L)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Replica I	Replica II	Replica III	Replica I	Replica II	Replica III	Replica I	Replica II	Replica III
	A	B	C	D	E									
T1	Sulfato de aluminio	12.5	1	30	85	3.3	3.3	3.6	3.5	3	3	2	2	2
T2	Sulfato de hierro	12.5	1	30	85	3.5	3.5	3.5	3.5	4	3.5	1.5	2.5	2
T3	Sulfato de aluminio	25	1	30	85	3.5	3.5	3.5	4	3.5	4.5	2.5	2.5	2.5
T4	Sulfato de hierro	25	1	30	85	3.9	3.9	3.9	3.5	3.5	4	2.5	2.5	2.5
T5	Sulfato de aluminio	12.5	5	30	85	4	4	4	3	3	4	2	3	3
T6	Sulfato de hierro	12.5	5	30	85	4	3.9	4	4	3.5	3.5	3	3	3
T7	Sulfato de aluminio	25	5	30	85	3.4	3.5	3.5	4	4	4	2	2	2
T8	Sulfato de hierro	25	5	30	85	4.3	4.2	4.3	4.5	4.5	4.5	2.5	2	2.5
T9	Sulfato de aluminio	12.5	1	60	85	4.1	4.2	4.1	3	3	3	2	2.5	2.5
T10	Sulfato de hierro	12.5	1	60	85	3.9	4	4	4	3.5	3.5	2.5	2	2.5
T11	Sulfato de aluminio	25	1	60	85	3.3	3.6	4	3.5	3.5	3.5	2.5	3	3
T12	Sulfato de hierro	25	1	60	85	4.5	4.5	4.5	4	3.5	3.5	3	2	2.5
T13	Sulfato de aluminio	12.5	5	60	85	3.9	3.9	3.9	3	3	3.5	2.5	2	2.3
T14	Sulfato de hierro	12.5	5	60	85	3.9	3.9	3.9	3.5	3.5	3.5	3	2.5	3
T15	Sulfato de aluminio	25	5	60	85	4	3.5	3.8	4	4	4	2.5	3	3
T16	Sulfato de hierro	25	5	60	85	3.9	3.9	3.9	4	4	4	3	3	3
T17	Sulfato de aluminio	12.5	1	30	98	3.5	3.6	3.6	3.5	4	3.5	2	2	2
T18	Sulfato de hierro	12.5	1	30	98	3.9	3.9	3.9	3	3	3.5	3.5	2	2
T19	Sulfato de aluminio	25	1	30	98	3.6	4.1	3.8	4	4.5	4	2.5	2	2.3
T20	Sulfato de hierro	25	1	30	98	3.3	3.5	3.4	3.5	3.5	3.5	2.5	2	3
T21	Sulfato de aluminio	12.5	5	30	98	3	3.5	3.3	3	3.5	3	2	2	2
T22	Sulfato de hierro	12.5	5	30	98	3.1	3.3	3.2	3	3.5	3	2	3	3
T23	Sulfato de aluminio	25	5	30	98	3.7	3.8	3.7	4.5	4.5	4.5	2.5	2	2.3
T24	Sulfato de hierro	25	5	30	98	4	3.8	3.9	3.5	3.5	3.5	3	2	2.5
T25	Sulfato de aluminio	12.5	1	60	98	3	3.9	3.5	3.5	3.5	3.5	1.5	2	2.5
T26	Sulfato de hierro	12.5	1	60	98	3.5	4	3.8	4	4	4	2	2	2
T27	Sulfato de aluminio	25	1	60	98	4.6	4	4.3	4.5	4.5	4.5	2.5	2.5	2.5
T28	Sulfato de hierro	25	1	60	98	4.5	4.2	4.5	3.5	4	3.5	3	2	2.5
T29	Sulfato de aluminio	12.5	5	60	98	3.7	4.3	4	4	4	3.5	2	2.5	2.3
T30	Sulfato de hierro	12.5	5	60	98	4	4.5	4	3.5	3.5	4	3	3	3
T31	Sulfato de aluminio	25	5	60	98	4.1	4.1	4.1	4.5	4	4.5	3	3	3
T32	Sulfato de hierro	25	5	60	98	4.5	4.5	4.5	4.5	4	4.5	3.5	3	3.5

Se evaluó la solidez del color aplicando la escala de grises establecida por la ntp, en la cual se consideran como aceptables las calificaciones de 5 (excelente) 4/5 (muy bueno), 4 (bueno) y 3 /4 (regular - bueno), 3 (regular), 2/3 (mediano), 2 (bajo) y ½ (deficiente - malo), 1 (malo).

b) Análisis de varianza

Tabla 14: Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	31	7.67318	0.24752	9.50	0.000
Lineal	5	4.85139	0.97028	37.26	0.000
A: Tipo de mordiente	1	0.38507	0.38507	14.79	0.000
B: Planta/sustrato	1	2.45334	2.45334	94.21	0.000
C: Concentración de mordiente	1	0.67447	0.67447	25.90	0.000
D: Tiempo	1	1.31446	1.31446	50.47	0.000
E: Temperatura	1	0.02407	0.02407	0.92	0.340
Interacciones de 2 términos	10	1.17991	0.11799	4.53	0.000
A*B	1	0.12663	0.12663	4.86	0.031
A*C	1	0.16225	0.16225	6.23	0.015
A*D	1	0.03682	0.03682	1.41	0.239
A*E	1	0.15844	0.15844	6.08	0.016
B*C	1	0.00214	0.00214	0.08	0.775
B*D	1	0.06970	0.06970	2.68	0.107
B*E	1	0.14570	0.14570	5.59	0.021
C*D	1	0.03920	0.03920	1.51	0.224
C*E	1	0.02120	0.02120	0.81	0.370
D*E	1	0.41782	0.41782	16.04	0.000
Interacciones de 3 términos	10	0.99773	0.09977	3.83	0.000
A*B*C	1	0.03604	0.03604	1.38	0.244
A*B*D	1	0.00111	0.00111	0.04	0.837
A*B*E	1	0.19560	0.19560	7.51	0.008
A*C*D	1	0.00960	0.00960	0.37	0.546
A*C*E	1	0.00000	0.00000	0.00	0.990
A*D*E	1	0.04770	0.04770	1.83	0.181
B*C*D	1	0.00907	0.00907	0.35	0.557
B*C*E	1	0.12956	0.12956	4.97	0.029
B*D*E	1	0.02302	0.02302	0.88	0.351
C*D*E	1	0.54602	0.54602	20.97	0.000
Interacciones de 4 términos	5	0.50814	0.10163	3.90	0.004
A*B*C*D	1	0.00172	0.00172	0.07	0.798
A*B*C*E	1	0.01215	0.01215	0.47	0.497
A*B*D*E	1	0.04623	0.04623	1.78	0.187
A*C*D*E	1	0.08050	0.08050	3.09	0.083
B*C*D*E	1	0.36754	0.36754	14.11	0.000
Interacciones de 5 términos	1	0.13600	0.13600	5.22	0.026
A*B*C*D*E	1	0.13600	0.13600	5.22	0.026
Error	64	1.66671	0.02604		
Total	95	9.33989			

En la Tabla 14 se presentan los resultados con un nivel de significancia del 5 %. El análisis de varianza para la solidez del color indica que el modelo es altamente significativo, con un valor de $p = 0.000$.

En cuanto a los factores Tipo de mordiente (A), Relación planta/sustrato (B), Concentración de mordiente (C), y Tiempo (D) son significativos, ya que el valor de p es menor a 0.05, por lo que se afirma que si influyen en el teñido. Sin embargo, temperatura (E) no es significativa, por lo que no influye en la variable de respuesta.

Las interacciones de dos factores (A*B, A*C, A*E, B*E y D*E) muestran efectos significativos, ya que sus valores de p son menores a 0,05, mientras que las demás interacciones no son significativas, dado que sus valores de p superan 0,05. En cuanto a las interacciones de tres factores (A*B*E, A*D*E y C*D*E). también resultan significativas por tener valores de p inferiores a 0,05, mientras que las restantes no presentan significancia. La interacción de cuatro factores (B*C*D*E) es significativa, y la interacción de los cinco factores (A*B*C*D*E) también muestra efecto significativo, dado que su valor de p es menor a 0,05. Estos resultados confirman que la solidez del color no depende de un único parámetro, sino de la combinación de factores y de las condiciones del proceso.

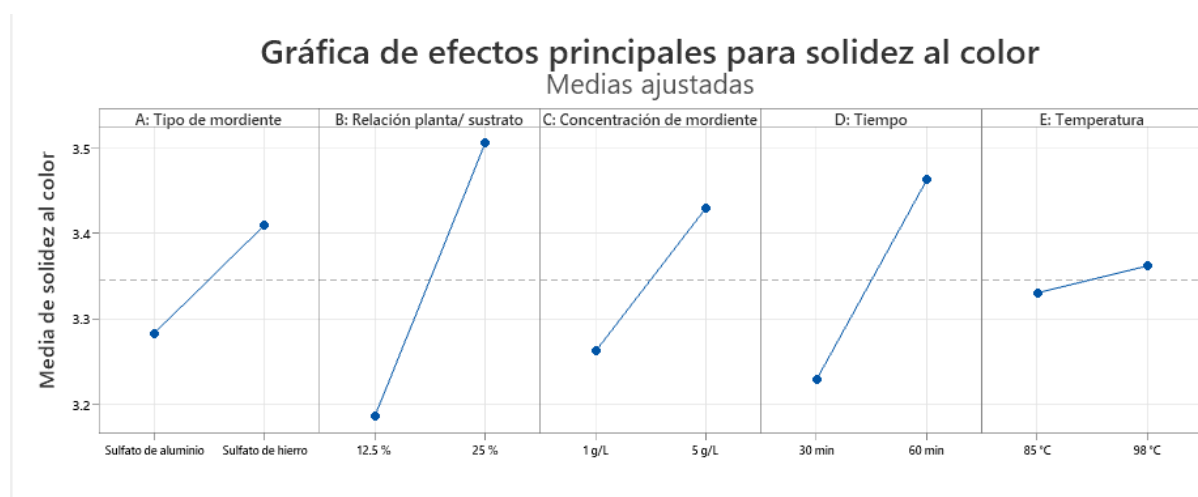


Figura 23: Gráfica de efectos principales para la variable Solidez al color

En la figura, 23 se observa la gráfica de efectos principales para la variable Solidez al color Factor Tipo de mordiente (A) la línea sube ligeramente de sulfato de aluminio a sulfato de hierro. Indica que el sulfato de hierro mejora un poco más la solidez del color que el de aluminio.

Relación planta/sustrato (B) se observa un incremento muy marcado al pasar de 12.5% a 25%. Esto significa que usar mayor cantidad de sustrato de achiote (*Bixa orellana*) genera una mayor solidez al color. Este es uno de los factores con mayor impacto.

Concentración de mordiente (C) al aumentar de 1 g/L a 5 g/L, también sube la solidez al color. Lo que indica una mayor concentración del mordiente favorece la fijación del color.

Tiempo (D) de 30 min a 60 min hay un incremento apreciable. Es decir, un mayor tiempo de teñido mejora la solidez.

Temperatura (E) la línea es casi plana entre 85 °C y 98 °C lo que indica que, dentro del rango estudiado, la temperatura no tiene un efecto significativo sobre la solidez del color.

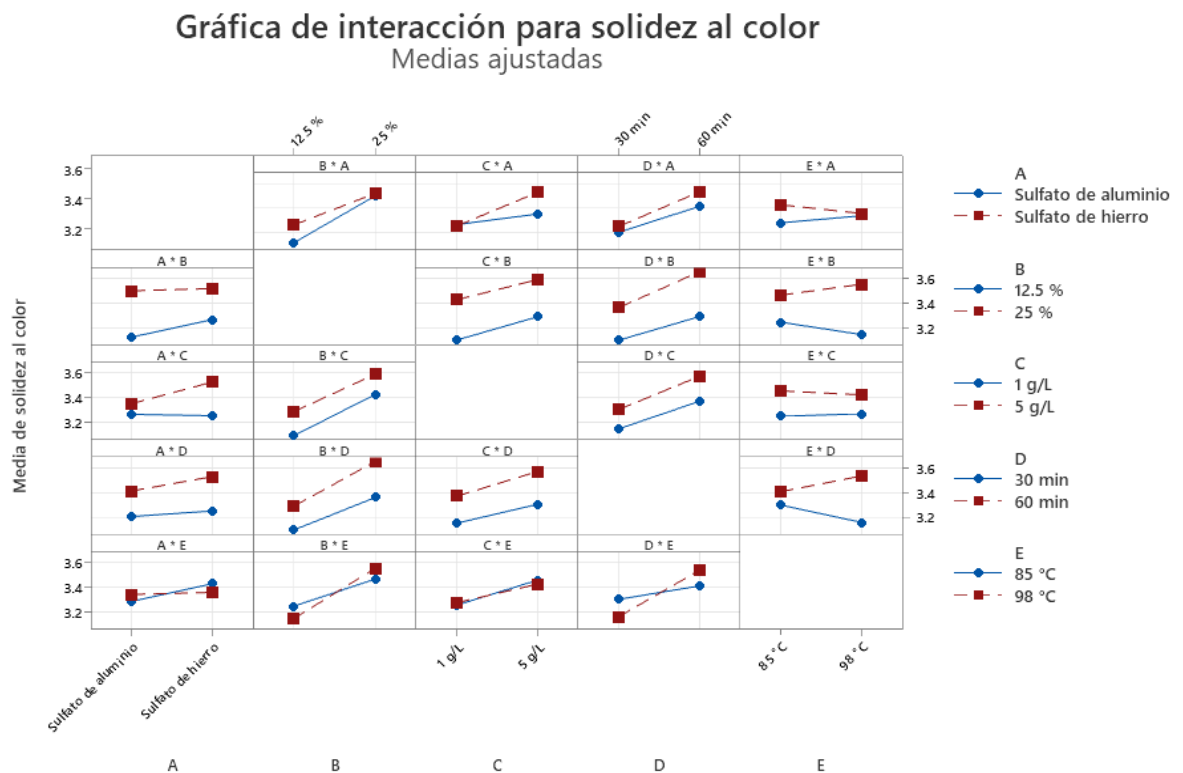


Figura 24: Gráfica de interacciones para la solidez de color.

Según la figura 24 se observa que las líneas paralelas los cuales indican que no hay interacción significativa.

Cuando las líneas se cruzan o muestran una separación marcada, se evidencia la existencia de interacción entre los factores, lo que indica que el efecto de uno de ellos varía en función del nivel del otro.

A*B (Tipo de mordiente × Relación planta/sustrato): El sulfato de hierro con 25% de Relación planta/sustrato logra mayor solidez que el sulfato de aluminio en el mismo nivel. Existe interacción clara.

C*A (Concentración × Tipo de mordiente): Al subir de 1 g/L a 5 g/L, la solidez aumenta más cuando se usa sulfato de hierro que con sulfato de aluminio.

D*B (Tiempo × Relación planta/sustrato): Con 25% de relación planta/sustrato, extender el tiempo de 30 a 60 minutos mejora notablemente la solidez. Con 12.5% el cambio es menor. Indica que el tiempo es más efectivo cuando la relación planta/sustrato es alta.

B*C (Relación planta/sustrato × Concentración): Ambas líneas suben, pero la pendiente es mayor en 25%. Esto significa que, al aumentar la concentración de mordiente, el efecto es más notorio si se aplica mayor cantidad de relación planta/ sustrato.

D*E (Tiempo × Temperatura): A 85 °C, aumentar el tiempo mejora la solidez. Pero a 98 °C, el cambio con el tiempo es menor. Esto sugiere que una temperatura más alta compensa el tiempo.

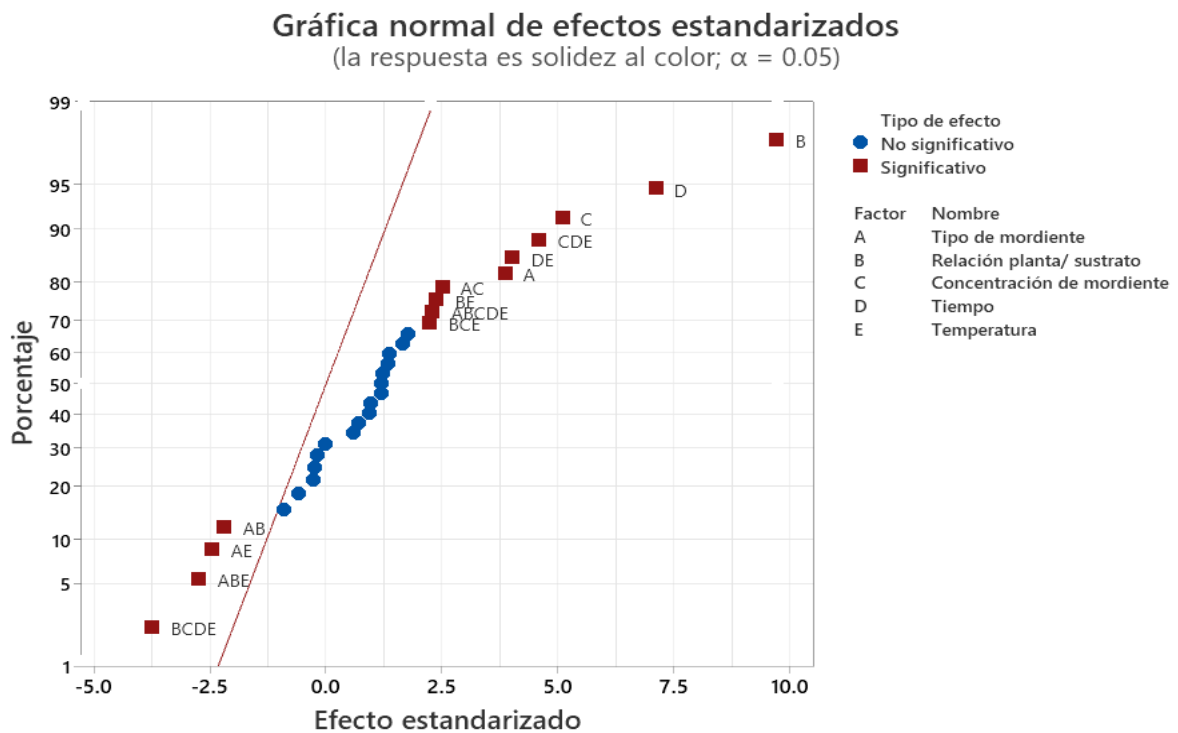


Figura 25: Gráfica normal de efectos estandarizados

Figura 25 se observa la gráfica normal de efectos estandarizados permite identificar qué factores e interacciones tienen un efecto significativo en la solidez al color, considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Factores como el tipo de mordiente (A), Relación

planta/sustrato (B) Concentración de mordiente (C) Tiempo (D) mostrando una influencia significativa en la solidez en cuanto a las interacciones (B*E, D*E, B*C*D, C*A*E, A*B*C*D*E,) son estadísticamente significativos ($\alpha = 0.05$). Es decir, influyen en la solidez al color

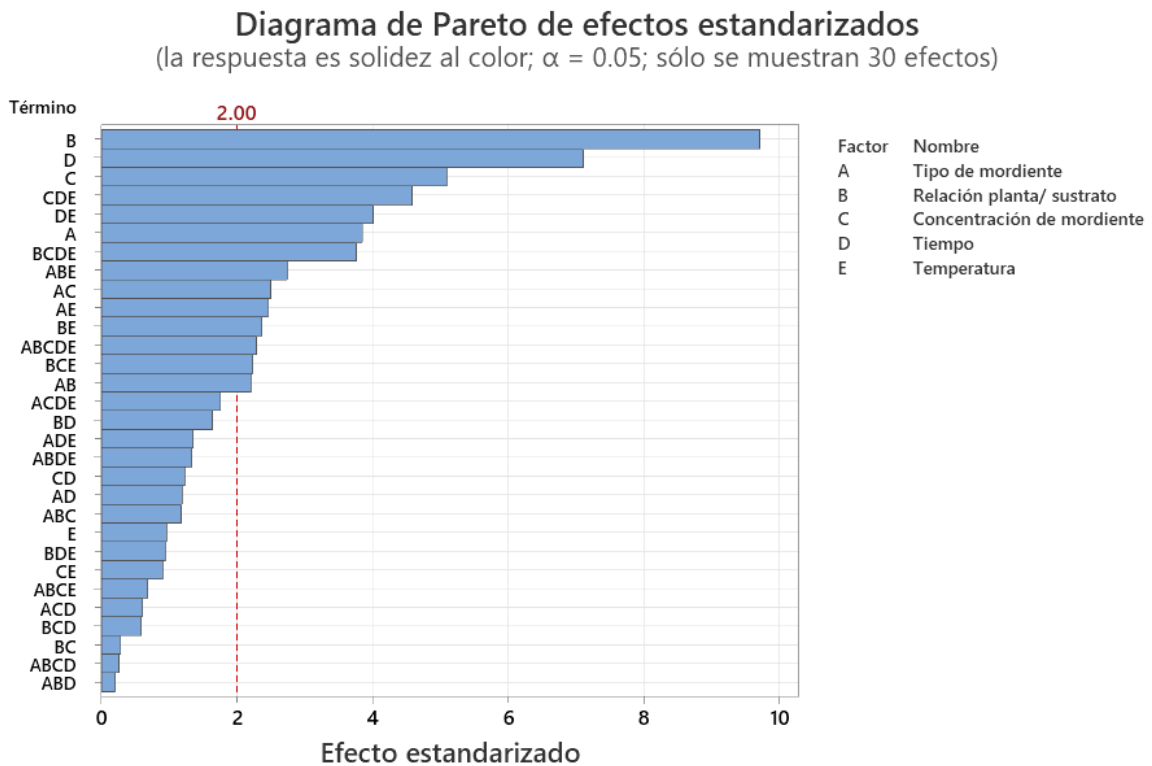


Figura 26: Diagrama de pareto de efectos estandarizados

La Figura 26 presenta los efectos estandarizados de los factores y sus interacciones sobre la solidez del color, considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. La línea vertical roja, correspondiente al valor crítico de 2,00, señala el límite a partir del cual los factores se consideran estadísticamente significativos.

Los factores con mayor efecto sobre la solidez del color fueron el tipo de mordiente (A), la relación planta/sustrato (B), el tiempo de teñido (D) y la concentración de mordiente (C). Asimismo, se identificaron como significativas las interacciones (D*E, B*E, A*C, A*E, A*B, B*C*E, A*B*E, C*D*E, *B*C*D*E y A*B*C*D*E) las cuales influyen de manera relevante en la obtención de resultados favorables. Por el contrario, las interacciones cuyos valores se ubicaron por debajo del punto crítico de 2,00 no resultaron significativas, lo que indica que no afectan de forma apreciable la solidez del color.

4.2.2. Resultados de solidez solidez al lavado

a) Hipótesis específica 1

H_0 = El colorante natural de achiote (*Bixa orellana*) no tiene efecto significativamente en la solidez del color al lavado en el hilado de lana de ovino.

H_1 = El colorante natural de achiote (*Bixa orellana*) tiene efecto significativamente en la solidez del color al lavado en el hilado de lana de ovino.

- **Validación de supuestos estadísticos**

Prueba de normalidad

En la prueba de normalidad, si el valor de p es mayor a 0,05 se acepta que los datos siguen una distribución normal; por el contrario, si p es menor o igual a 0,05 se concluye que los datos no son normales (Montgomery, 2020).

Tabla 15: Resultado para la solidez al lavado (prueba de Ryan Joiner)

Ensayo	Media	Desviación estándar	Número de muestras (N)	Ryan Joiner (RJ)	Valor p
Solidez al lavado	3,849	0,3670	96	0,989	0,100

La prueba de Ryan Joiner para la normalidad de la solidez de color al lavado se muestra en la Tabla 15. donde se determina que $RJ = 0.989$ y su P valor = 0. 100. Como el coeficiente RJ está muy cerca de 1, se acepta la hipótesis nula. Por ende, se concluye que los datos muestran una distribución normal.

Prueba de Levene (homogeneidad de varianzas)

La prueba de homogeneidad de varianzas establece que, si el valor de p es mayor que 0,05, se acepta la hipótesis nula y se concluye que las varianzas de los tratamientos son iguales; en cambio, cuando p es menor o igual a 0,05, se rechaza la hipótesis nula, indicando que al menos una varianza es diferente y no se cumple el supuesto de homogeneidad (Montgomery, 2020).

Tabla 16: Resultados de la prueba de Levene (homogeneidad de varianzas)

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0.000
Levene	1.32	0.199

La Tabla 16 muestra los resultados de la prueba de Levene, en los que se observa que se acepta la hipótesis nula y se descarta la alterna, ya que el valor de p obtenido $P = 0.199$ es superior al nivel de significancia de 0,05. En consecuencia, se confirma el cumplimiento del supuesto de homogeneidad de varianzas, lo que respalda la aplicación del análisis de varianza.

Análisis de varianza (ANOVA)

Tabla 17: Análisis de varianza (ANOVA)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	31	10.9561	0.35342	12.29	0.000
Error	64	1.8404	0.02876		
Total	95	12.7965			

De acuerdo con la Tabla 17, el análisis de varianza realizado con un nivel de significancia del 5 % arrojó un valor de $p = 0,000$, inferior a 0,05; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula H_0 y se acepta la hipótesis alterna H_1 : El colorante natural de achiote (*Bixa orellana*) tiene efecto significativamente en la solidez del color al lavado en el hilado de lana de ovino.

Tabla 18: Resultados de evaluación de solidez al lavado

N° Tratamiento	Factores (parámetros de teñido)					solidez al lavado		
	Tipo de mordiente	Relación planta/sustrato (g)	Concentración de mordiente (g/L)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Replica I	Replica II	Replica III
	A	B	C	D	E			
T1	Sulfato de aluminio	12.5	1	30	85	3.3	3.3	3.6
T2	Sulfato de hierro	12.5	1	30	85	3.5	3.5	3.5
T3	Sulfato de aluminio	25	1	30	85	3.5	3.5	3.5
T4	Sulfato de hierro	25	1	30	85	3.9	3.9	3.9
T5	Sulfato de aluminio	12.5	5	30	85	4	4	4
T6	Sulfato de hierro	12.5	5	30	85	4	3.9	4
T7	Sulfato de aluminio	25	5	30	85	3.4	3.5	3.5
T8	Sulfato de hierro	25	5	30	85	4.3	4.2	4.3
T9	Sulfato de aluminio	12.5	1	60	85	4.1	4.2	4.1
T10	Sulfato de hierro	12.5	1	60	85	3.9	4	4
T11	Sulfato de aluminio	25	1	60	85	3.3	3.6	4
T12	Sulfato de hierro	25	1	60	85	4.5	4.5	4.5
T13	Sulfato de aluminio	12.5	5	60	85	3.9	3.9	3.9
T14	Sulfato de hierro	12.5	5	60	85	3.9	3.9	3.9
T15	Sulfato de aluminio	25	5	60	85	4	3.5	3.8
T16	Sulfato de hierro	25	5	60	85	3.9	3.9	3.9
T17	Sulfato de aluminio	12.5	1	30	98	3.5	3.6	3.6
T18	Sulfato de hierro	12.5	1	30	98	3.9	3.9	3.9
T19	Sulfato de aluminio	25	1	30	98	3.6	4.1	3.8
T20	Sulfato de hierro	25	1	30	98	3.3	3.5	3.4
T21	Sulfato de aluminio	12.5	5	30	98	3	3.5	3.3
T22	Sulfato de hierro	12.5	5	30	98	3.1	3.3	3.2
T23	Sulfato de aluminio	25	5	30	98	3.7	3.8	3.7
T24	Sulfato de hierro	25	5	30	98	4	3.8	3.9
T25	Sulfato de aluminio	12.5	1	60	98	3	3.9	3.5
T26	Sulfato de hierro	12.5	1	60	98	3.5	4	3.8
T27	Sulfato de aluminio	25	1	60	98	4.6	4	4.3
T28	Sulfato de hierro	25	1	60	98	4.5	4.2	4.5
T29	Sulfato de aluminio	12.5	5	60	98	3.7	4.3	4
T30	Sulfato de hierro	12.5	5	60	98	4	4.5	4
T31	Sulfato de aluminio	25	5	60	98	4.1	4.1	4.1
T32	Sulfato de hierro	25	5	60	98	4.5	4.5	4.5

Análisis de varianza

Tabla 19: Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	31	10.9561	0.35342	12.29	0.000
Lineal	5	4.7275	0.94550	32.88	0.000
A: Tipo de mordiente	1	0.8894	0.88935	30.93	0.000
B: Planta/sustrato	1	0.8513	0.85127	29.60	0.000
C: Concentración de mordiente	1	0.0726	0.07260	2.52	0.117
D: Tiempo	1	2.9051	2.90510	101.03	0.000
E: Temperatura	1	0.0092	0.00920	0.32	0.574
Interacciones de 2 términos	10	1.6313	0.16313	5.67	0.000
A*B	1	0.3197	0.31970	11.12	0.001
A*C	1	0.0012	0.00120	0.04	0.839
A*D	1	0.0280	0.02802	0.97	0.327
A*E	1	0.1067	0.10667	3.71	0.059
B*C	1	0.0360	0.03604	1.25	0.267
B*D	1	0.0323	0.03227	1.12	0.293
B*E	1	0.6208	0.62082	21.59	0.000
C*D	1	0.0294	0.02940	1.02	0.316
C*E	1	0.0171	0.01707	0.59	0.444
D*E	1	0.4401	0.44010	15.30	0.000
Interacciones de 3 términos	10	2.9846	0.29846	10.38	0.000
A*B*C	1	0.0988	0.09882	3.44	0.068
A*B*D	1	0.0425	0.04250	1.48	0.229
A*B*E	1	0.7526	0.75260	26.17	0.000
A*C*D	1	0.0590	0.05900	2.05	0.157
A*C*E	1	0.0392	0.03920	1.36	0.247
A*D*E	1	0.1601	0.16007	5.57	0.021
B*C*D	1	0.3384	0.33844	11.77	0.001
B*C*E	1	0.1335	0.13350	4.64	0.035
B*D*E	1	0.1634	0.16335	5.68	0.020
C*D*E	1	1.1971	1.19707	41.63	0.000
Interacciones de 4 términos	5	1.5287	0.30574	10.63	0.000
A*B*C*D	1	0.3408	0.34082	11.85	0.001
A*B*C*E	1	0.2860	0.28602	9.95	0.002
A*B*D*E	1	0.0345	0.03450	1.20	0.277
A*C*D*E	1	0.0570	0.05704	1.98	0.164
B*C*D*E	1	0.8103	0.81034	28.18	0.000
Interacciones de 5 términos	1	0.0840	0.08402	2.92	0.092
A*B*C*D*E	1	0.0840	0.08402	2.92	0.092
Error	64	1.8404	0.02876		
Total	95	12.7965			

En la Tabla 19 se presentan los resultados del análisis de varianza para la solidez del color al lavado con un nivel de significancia del 5 %. El modelo resulta significativo. Los factores tipo de mordiente (A), relación planta/sustrato (B) y tiempo (D) muestran efectos significativos, dado que sus valores de p son menores a 0,05, lo que indica que influyen en el teñido. Por el

contrario, la concentración de mordiente (C) y la temperatura (E) no presentan efectos significativos.

En cuanto a las interacciones de dos factores, los pares (A*B, B*E y D*E) son significativos, ya que sus valores de p son menores a 0,05, mientras que las demás combinaciones no muestran efectos significativos. Entre las interacciones de tres factores, (A*B*E, A*D*E, B*C*D, B*C*E, B*D*E y C*D*E) son significativas por tener valores de p menores a 0,05, mientras que las restantes no presentan significancia.

Las interacciones de cuatro factores (A*B*C*D, A*B*C*E) resultan significativas, y la interacción de cinco factores (A*B*C*D*E) también muestra efecto significativo, dado que su valor de p es menor a 0,05.

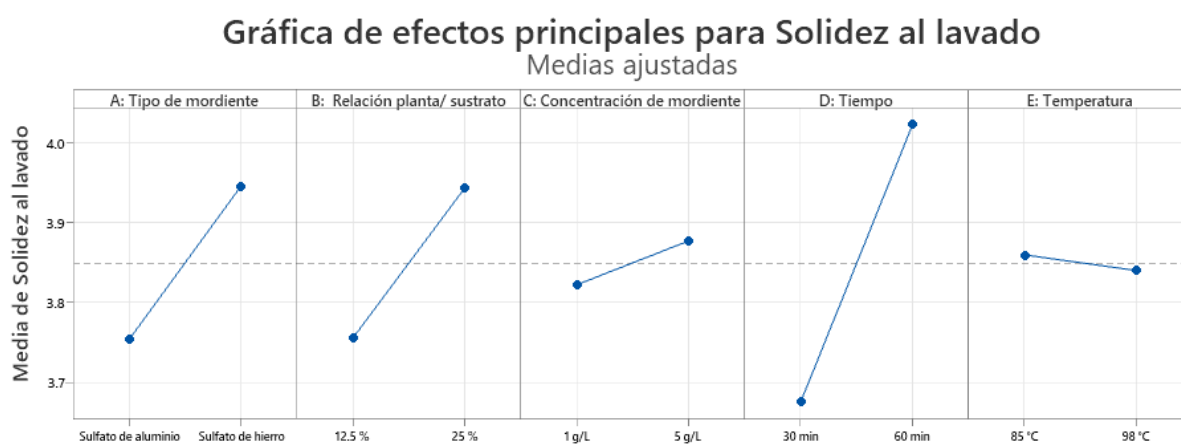


Figura 27: Gráfica de efectos principales para la variable solidez al lavado

La figura 27 evidencia que el factor tipo de mordiente (A): El sulfato de hierro genera una mayor solidez al lavado en comparación con el sulfato de aluminio, lo que evidencia su mejor desempeño como mordiente.

Relación planta/sustrato (B): Un incremento en la cantidad (de 12,5 % a 25 %) mejora la solidez al lavado, indicando que una mayor cantidad de colorante de achiote (*bixa arellana*) aporta mayor fijación del color.

Concentración de mordiente (C): Se aprecia una ligera mejora al aumentar de 1 g/L a 5 g/L, aunque el efecto no es tan marcado como en otros factores.

Tiempo (D): Este factor muestra el mayor efecto, que al pasar de 30 min a 60 min la solidez al lavado aumenta considerablemente, confirmando que el tiempo de teñido es determinante en la fijación del color.

Temperatura (E): El cambio de 85 °C a 98 °C no genera variaciones relevantes, por lo que este factor no influye de manera significativa en la solidez al lavado.

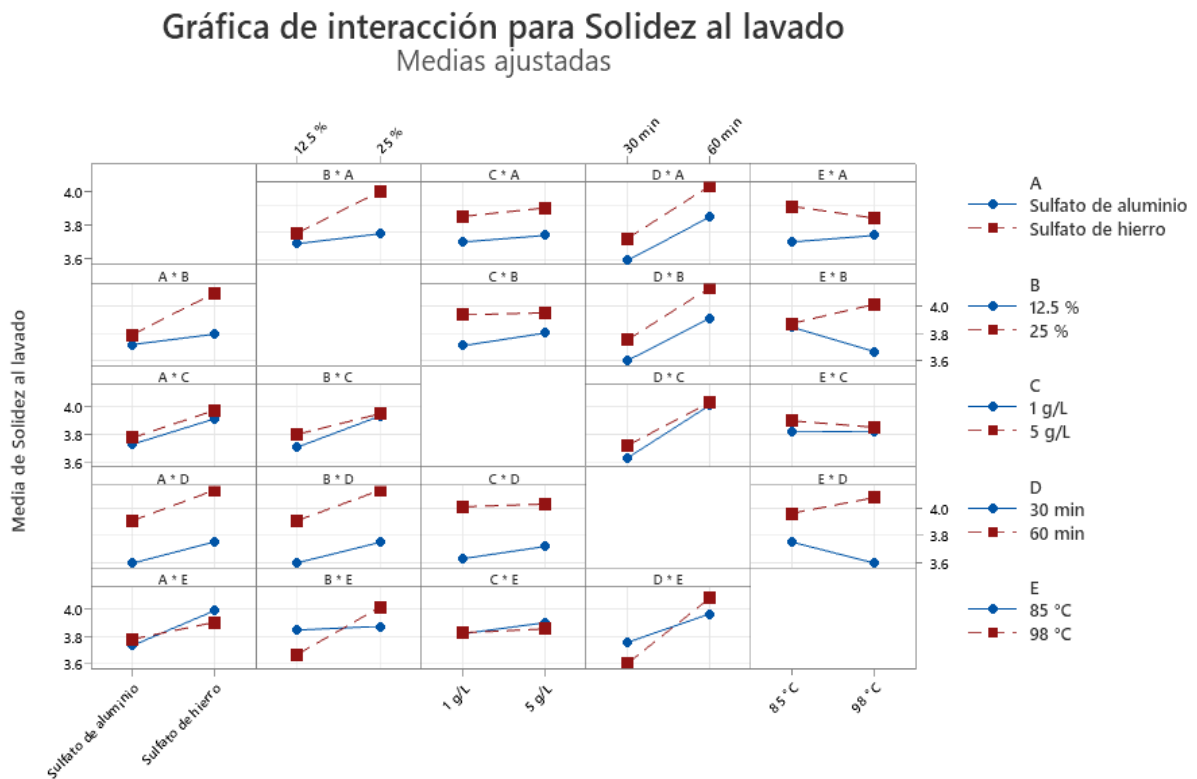


Figura 28: Gráfica de interacciones para la solidez de color al lavado

La figura 28 gráfica de interacciones muestra cómo la combinación de factores influye en la solidez al lavado. Se observa que las interacciones más relevantes corresponden a los pares A*B (tipo de mordiente y relación planta/sustrato), B*E (relación planta/sustrato y temperatura) y D*E (tiempo y temperatura), que coinciden con los resultados del ANOVA.

En la interacción A*B, el sulfato de hierro junto con una relación planta/sustrato de 25 % genera los mayores valores de solidez, lo que evidencia un efecto combinado positivo.

En el caso de la interacción B*E, la relación de 25 % combinada con la temperatura de 98 °C favorece la fijación del color, mientras que a 12,5 % los resultados son más bajos e inestables.

Por su parte, la interacción D*E muestra que la combinación de 60 minutos y 98 °C produce un incremento significativo en la solidez al lavado, mientras que a 30 minutos los valores disminuyen, independientemente de la temperatura.

En otras interacciones, como A*C y A*E, se observa que el sulfato de hierro tiende a mantener mejores resultados en todos los niveles de concentración y temperatura, aunque los cambios no son tan marcados como en las interacciones antes mencionadas. Asimismo, en B*D y B*C, una mayor relación planta/sustrato (25 %) se asocia a mejores resultados, reforzando la importancia de este factor en combinación con el tiempo y la concentración.

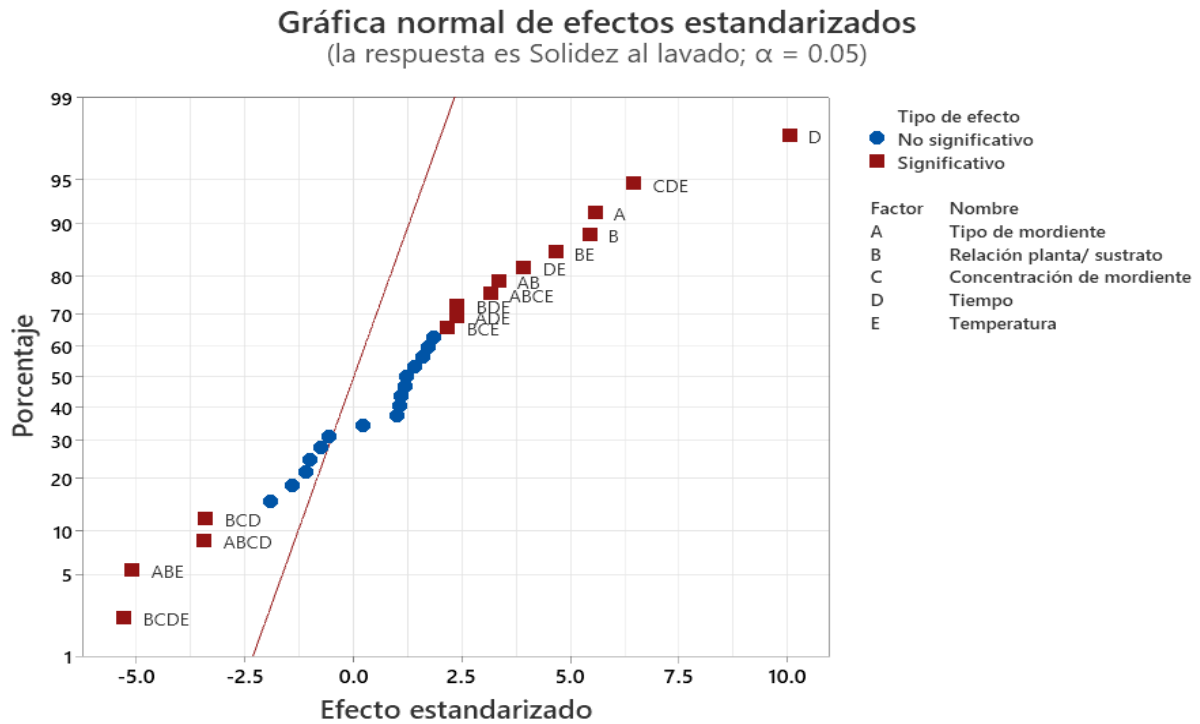


Figura 29: Gráfica normal de los efectos estandarizados de la solidez al lavado

La gráfica 29 muestra los efectos principales y las interacciones de los factores en la solidez al lavado, destacando cuáles son significativos (cuadrados rojos) y cuáles no (círculos azules).

Se puede observar que el factor Tipo de mordiente (A) Relación planta/sustrato (B) tiempo (D), y la interacciones (B*E, D*E, A*B, C*D*E, B*D*E, B*D*A, B*C*E Y A*B*C*E) son estadísticamente significativos $\alpha = 0.05$ es decir, influyen en la solidez al lavado.

Diagrama de Pareto de efectos estandarizados
(la respuesta es Solidez al lavado; $\alpha = 0.05$; sólo se muestran 30 efectos)

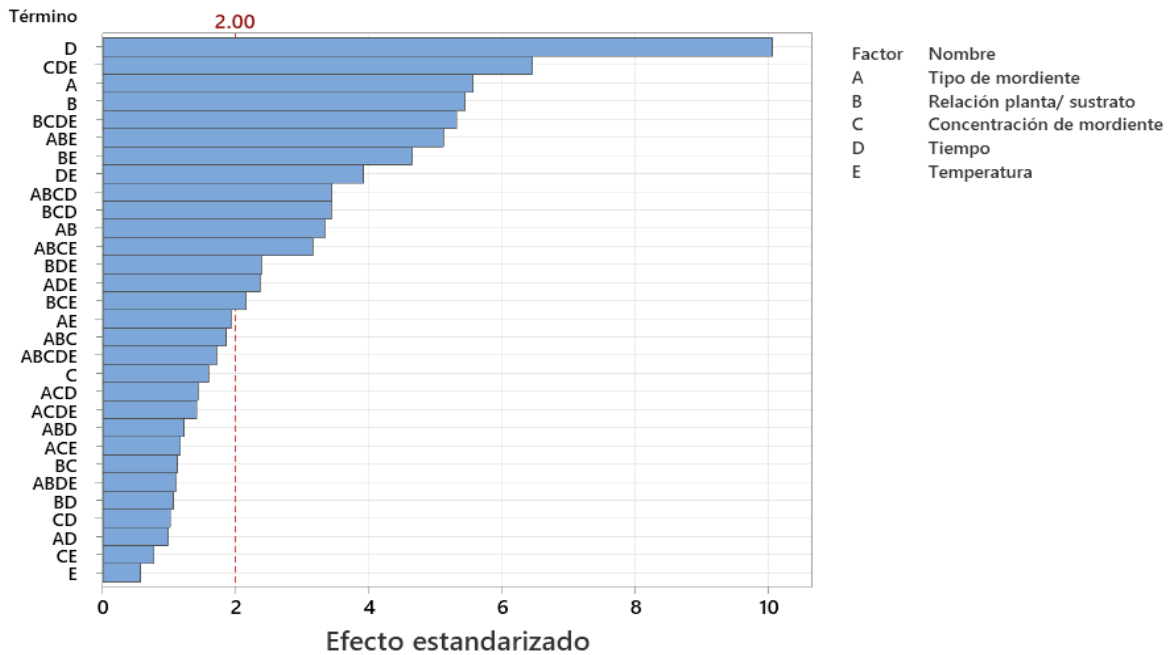


Figura 30: Diagrama de pareto de efectos estandarizados

La Figura 30 presenta los efectos estandarizados de los factores y sus interacciones sobre la solidez del color, considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. La línea vertical roja, correspondiente al valor crítico de 2,00, indica el límite a partir del cual los factores se consideran estadísticamente significativos.

Se observa que el factor que tiene mayor efecto significativo es el factor con mayor efecto es el factor Tipo de mordiente (A) Relación planta/sustrato (B) tiempo (D, y la interacciones (B*E, D*E, A*B, C*D*E, B*D*E, B*D*A, B*C*E Y A*B*C*E) son significativos y influyen la obtención de un buen resultado; en cambio, las interacciones con valores menores al punto crítico de 2,00 no presentan significancia.

Tabla 20: Prueba de comparaciones múltiples (tukey) para la solidez al lavado

Tipo de mordiente	N	Media	Agrupación
Sulfato de hierro	48	3.9452	A
Sulfato de aluminio	48	3.7527	B
Relación planta/sustrato	N	Media	Agrupación
25 %	48	3.9431	A
12.5 %	48	3.7548	B
Concentración de mordiente	N	Media	Agrupación
5 g/L	48	3.8765	A
1 g/L	48	3.8215	A
Tiempo	N	Media	Agrupación
60 min	48	4.0229	A
30 min	48	3.6750	B
Temperatura	N	Media	Agrupación
98 °C	48	3.8392	A
85 °C	48	3.8588	A

Según la tabla 20 en la prueba de solidez al lavado, los valores promedio se situaron entre 3.67 y 4.02, correspondientes a categorías de (regular–bueno a bueno) según NTP231.

En relación con el tipo de mordiente, el sulfato de hierro alcanzó un promedio superior 3.95, (bueno) respecto al sulfato de aluminio (3.75, (regular–bueno)), lo que confirma un mejor comportamiento del hierro en este ensayo.

La relación planta/sustrato de 25 % 3.94, (bueno) superó al 12.5 % 3.75, (regular–bueno), demostrando que una mayor proporción de materia colorante en el baño mejora la solidez al lavado.

La concentración de mordiente no presentó grandes diferencias, aunque 5 g/L 3.87, (bueno) fue ligeramente superior a 1 g/L 3.82, (regular–bueno).

El tiempo de teñido sí resultó un factor clave: 60 minutos alcanzó el promedio más alto 4.02, (bueno), mientras que 30 minutos se redujo a 3.67 (regular–bueno), evidenciando que una mayor duración favorece la fijación del pigmento.

Por último, la temperatura no mostró un efecto significativo, con valores muy similares entre 85 °C 3.86, (bueno) y 95 °C 3.83 (bueno).

4.2.3. Resultados de solidez al frote

a) Hipótesis específica 2

H_0 = El colorante natural de achiote (*Bixa orellana*) no tiene efecto significativo en la solidez del color al frote en el hilado de lana de ovino.

H_1 = El colorante natural de achiote (*Bixa orellana*) tiene efecto significativo en la solidez del color al frote en el hilado de lana de ovino.

- **Validación de supuestos estadísticos**

Prueba de normalidad

Para evaluar la normalidad de los datos mediante pruebas estadísticas como Ryan-Joiner, se formula una hipótesis nula que asume normalidad cuando el valor de p es mayor a 0,05, y una hipótesis alterna que indica no normalidad cuando p es menor o igual a 0,05. De acuerdo con esta regla de decisión, si $p > 0,05$ se acepta la hipótesis nula; si $p \leq 0,05$ se rechaza y se acepta la alterna (Montgomery, 2020).

Tabla 21: Resultado para la solidez al frote (prueba de Ryan Joiner)

Ensayo	Media	Desviación estándar	Número de muestras (N)	Ryan Joiner (RJ)	Valor p
Solidez al lavado	3,724	0,4694	96	0,999	0,100

La Tabla 21 presenta los resultados de la prueba de normalidad de Ryan Joiner aplicada a la solidez del color a la luz, donde se obtuvo $RJ = 0,999$ y un valor de $p = 0,100$. Dado que el coeficiente RJ es cercano a 1 y el valor de p es mayor que 0,05, se rechaza la hipótesis alterna y se acepta la hipótesis nula, concluyéndose que los datos siguen una distribución normal.

Prueba de Levene (homogeneidad de varianzas)

La prueba de homogeneidad de varianzas establece que, si el valor de p es mayor que 0,05, se acepta la hipótesis nula y se concluye que las varianzas de los tratamientos son iguales; en cambio, cuando p es menor o igual a 0,05, se rechaza la hipótesis nula, indicando que al menos una varianza es diferente y no se cumple el supuesto de homogeneidad (Montgomery, 2020).

Tabla 22: Resultados de la prueba de Levene (homogeneidad de varianza)

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	1.000
Levene	0.09	1.000

La Tabla 22 muestra los resultados de la prueba de Levene, los cuales indican que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, dado que el valor de p obtenido (0,100) es mayor que el nivel de significancia de 0,05. Esto confirma que se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas, lo que valida la aplicación del análisis de varianza.

Análisis de varianza (ANOVA)

Tabla 23: Análisis de varianza (ANOVA)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	31	16.9349	0.54629	8.74	0.000
Error	64	4.0000	0.06250		
Total	95	20.9349			

Según la Tabla 23, al aplicar el ANOVA con un nivel de significancia del 5 %, se obtuvo un valor de $p = 0,000$, menor que 0,05. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula H_0 y se acepta la hipótesis alterna H_1 : El colorante natural de achiote (Bixa orellana) tiene efecto significativamente en la solidez del color al frote en el hilado de lana de ovino.

Tabla 24: Resultados de evaluación de solidez al color

N° Tratamiento	Factores (parámetros de teñido)					solidez al frote		
	Tipo de mordiente	Relación planta/sustrato (g)	Concentración de mordiente (g/L)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Replica I	Replica II	Replica III
	A	B	C	D	E			
T1	Sulfato de aluminio	12.5	1	30	85	3.5	3	3
T2	Sulfato de hierro	12.5	1	30	85	3.5	4	3.5
T3	Sulfato de aluminio	25	1	30	85	4	3.5	4.5
T4	Sulfato de hierro	25	1	30	85	3.5	3.5	4
T5	Sulfato de aluminio	12.5	5	30	85	3	3	4
T6	Sulfato de hierro	12.5	5	30	85	4	3.5	3.5
T7	Sulfato de aluminio	25	5	30	85	4	4	4
T8	Sulfato de hierro	25	5	30	85	4.5	4.5	4.5
T9	Sulfato de aluminio	12.5	1	60	85	3	3	3
T10	Sulfato de hierro	12.5	1	60	85	4	3.5	3.5
T11	Sulfato de aluminio	25	1	60	85	3.5	3.5	3.5
T12	Sulfato de hierro	25	1	60	85	4	3.5	3.5
T13	Sulfato de aluminio	12.5	5	60	85	3	3	3.5
T14	Sulfato de hierro	12.5	5	60	85	3.5	3.5	3.5
T15	Sulfato de aluminio	25	5	60	85	4	4	4
T16	Sulfato de hierro	25	5	60	85	4	4	4
T17	Sulfato de aluminio	12.5	1	30	98	3.5	4	3.5
T18	Sulfato de hierro	12.5	1	30	98	3	3	3.5
T19	Sulfato de aluminio	25	1	30	98	4	4.5	4
T20	Sulfato de hierro	25	1	30	98	3.5	3.5	3.5
T21	Sulfato de aluminio	12.5	5	30	98	3	3.5	3
T22	Sulfato de hierro	12.5	5	30	98	3	3.5	3
T23	Sulfato de aluminio	25	5	30	98	4.5	4.5	4.5
T24	Sulfato de hierro	25	5	30	98	3.5	3.5	3.5
T25	Sulfato de aluminio	12.5	1	60	98	3.5	3.5	3.5
T26	Sulfato de hierro	12.5	1	60	98	4	4	4
T27	Sulfato de aluminio	25	1	60	98	4.5	4.5	4.5
T28	Sulfato de hierro	25	1	60	98	3.5	4	3.5
T29	Sulfato de aluminio	12.5	5	60	98	4	4	3.5
T30	Sulfato de hierro	12.5	5	60	98	3.5	3.5	4
T31	Sulfato de aluminio	25	5	60	98	4.5	4	4.5
T32	Sulfato de hierro	25	5	60	98	4.5	4	4.5

Análisis de varianza

Tabla 25: Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	31	16.9349	0.54629	8.74	0.000
Lineal	5	7.8880	1.57760	25.24	0.000
A: Tipo de mordiente	1	0.0234	0.02344	0.38	0.542
B: Planta/sustrato	1	6.7734	6.77344	108.38	0.000
C: Concentración de mordiente	1	0.4401	0.44010	7.04	0.010
D: Tiempo	1	0.2109	0.21094	3.37	0.071
E: Temperatura	1	0.4401	0.44010	7.04	0.010
Interacciones de 2 términos	10	6.9219	0.69219	11.08	0.000
A*B	1	1.3776	1.37760	22.04	0.000
A*C	1	0.0234	0.02344	0.38	0.542
A*D	1	0.3151	0.31510	5.04	0.028
A*E	1	2.1901	2.19010	35.04	0.000
B*C	1	0.7526	0.75260	12.04	0.001
B*D	1	0.1276	0.12760	2.04	0.158
B*E	1	0.0026	0.00260	0.04	0.839
C*D	1	0.0234	0.02344	0.38	0.542
C*E	1	0.2109	0.21094	3.37	0.071
D*E	1	1.8984	1.89844	30.38	0.000
Interacciones de 3 términos	10	0.7969	0.07969	1.27	0.263
A*B*C	1	0.3151	0.31510	5.04	0.028
A*B*D	1	0.0026	0.00260	0.04	0.839
A*B*E	1	0.0651	0.06510	1.04	0.311
A*C*D	1	0.1276	0.12760	2.04	0.158
A*C*E	1	0.0026	0.00260	0.04	0.839
A*D*E	1	0.2109	0.21094	3.37	0.071
B*C*D	1	0.0026	0.00260	0.04	0.839
B*C*E	1	0.0026	0.00260	0.04	0.839
B*D*E	1	0.0026	0.00260	0.04	0.839
C*D*E	1	0.0651	0.06510	1.04	0.311
Interacciones de 4 términos	5	0.3880	0.07760	1.24	0.300
A*B*C*D	1	0.2109	0.21094	3.37	0.071
A*B*C*E	1	0.0234	0.02344	0.38	0.542
A*B*D*E	1	0.0026	0.00260	0.04	0.839
A*C*D*E	1	0.1276	0.12760	2.04	0.158
B*C*D*E	1	0.0234	0.02344	0.38	0.542
Interacciones de 5 términos	1	0.9401	0.94010	15.04	0.000
A*B*C*D*E	1	0.9401	0.94010	15.04	0.000
Error	64	4.0000	0.06250		
Total	95	20.9349			

En la Tabla 25 se presentan los resultados del análisis de varianza para la solidez del color al lavado con un nivel de significancia del 5 %. El modelo resulta significativo. Los factores relación planta/sustrato (B), concentración de mordiente (C) y temperatura (E) muestran efectos significativos, ya que sus valores de p son menores a 0,05, lo que indica que influyen

en el teñido. Por el contrario, el tipo de mordiente (A), la concentración de mordiente (D) y el tiempo (D) no presentan efectos significativos.

En cuanto a las interacciones de dos factores, los pares (A*B, A*D, A*E, B* y D*E) resultan significativos, mientras que las demás combinaciones no muestran efecto significativo. Entre las interacciones de tres factores, únicamente (A*B*C) es significativa, y las restantes no presentan significancia. Las interacciones de cuatro factores no muestran efecto significativo, pero la interacción de cinco factores (A*B*C*D*E) es significativa, dado que su valor de p es menor a 0,05.

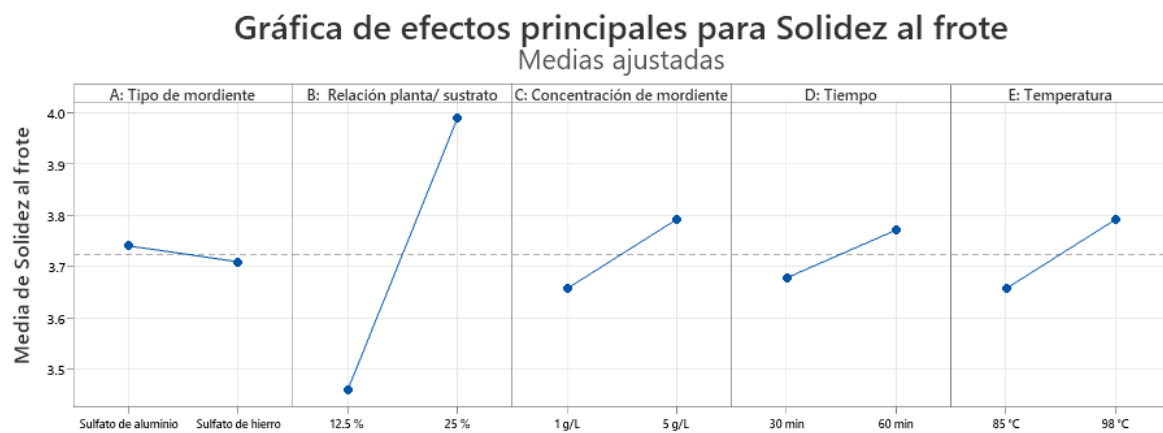


Figura 31: Gráfica de efectos principales para solidez al frote

Figura 31 se observa que el tipo de mordiente (A): Se observa que el sulfato de aluminio presenta una ligera ventaja sobre el sulfato de hierro, aunque la diferencia es mínima, Por consiguiente, el tipo de mordiente no presenta una influencia significativa en la solidez al frote.

Relación planta/sustrato (B): Este factor tiene el efecto más marcado. Al incrementar la proporción de planta/sustrato de 12.5 % a 25 %, la solidez al frote mejora notablemente.

Concentración de mordiente (C): El aumento de la concentración de 1 g/L a 5 g/L genera una mejora en la solidez al frote,

Tiempo (D) El incremento de tiempo de teñido de 30 a 60 minutos también contribuye a una ligera mejora en la solidez, aunque el efecto es menor en comparación con la relación planta/sustrato y la concentración del mordiente.

Temperatura (E): Elevar la temperatura de teñido de 85 °C a 98 °C tiene un efecto positivo moderado en la solidez al frote, manteniéndose en valores similares a los obtenidos con el tiempo de teñido.

El factor con mayor influencia en la solidez al frote es la relación planta/sustrato, seguido por la concentración de mordiente, mientras que el tipo de mordiente, el tiempo y la temperatura también tienen efectos positivos, aunque de menor intensidad.

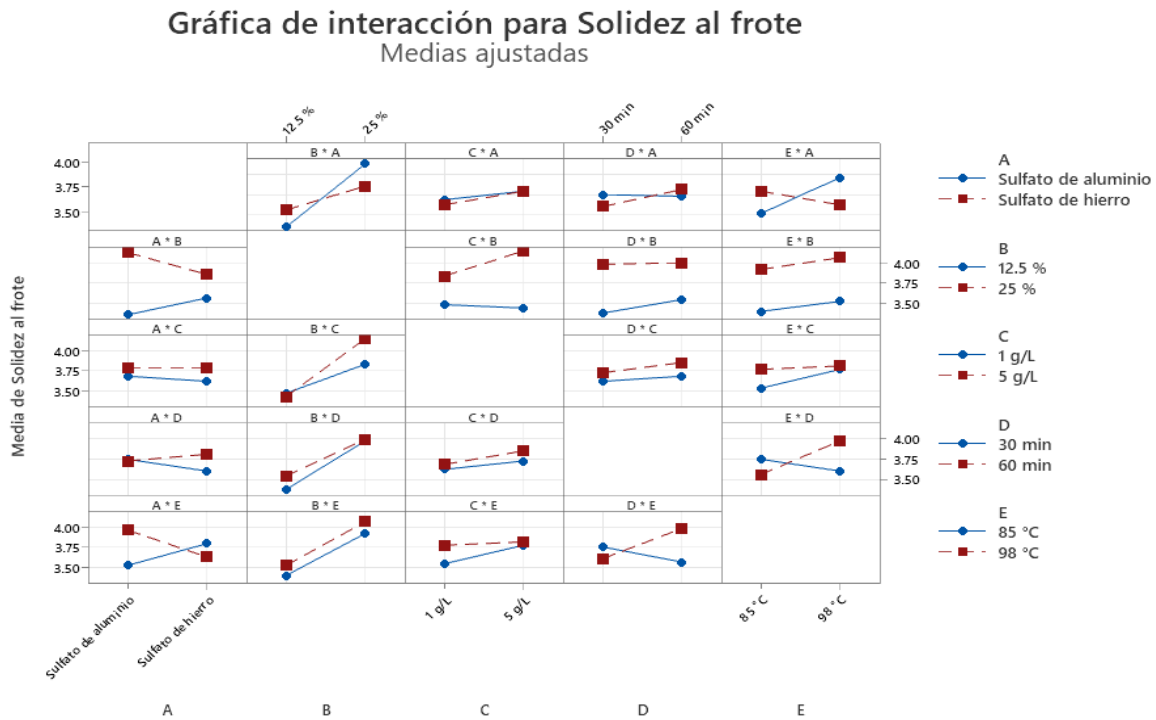


Figura 32: Gráfica de interacción para solidez al frote

Figura 32 se observa que A*B (tipo de mordiente × relación planta/sustrato) para el 25 % de relación planta/sustrato, el sulfato de hierro alcanza valores de solidez más altos que el sulfato de aluminio.

En cambio, con 12.5 %, ambos mordientes muestran valores más bajos y similares esto indica que la combinación de mayor relación planta/sustrato 25 % con sulfato de hierro favorece la solidez al frote.

Interacción B*C (relación planta/sustrato × concentración de mordiente) al aumentar la concentración de mordiente de 1 g/L a 5 g/L, los valores de la solidez mejora notablemente, especialmente cuando se emplea 25 % de planta/sustrato, en cambio, con 12.5 % de planta/sustrato, el efecto de la concentración es menos pronunciado.

Interacción D*B (tiempo × relación planta/sustrato): se observa que el tiempo de 60 min combinado con 25 % de relación planta/sustrato genera los valores más altos de solidez en cambio, con 30 min y 12.5 %, los valores bajan hasta, esto confirma que mayor tiempo y mayor proporción de planta/sustrato potencian la fijación del color al roce.

Interacciones con la temperatura (e) tanto en 85 °c como en 98 °c, las líneas permanecen casi paralelas y cercanas, lo que evidencia que la temperatura no ejerce una interacción significativa con los demás factores.

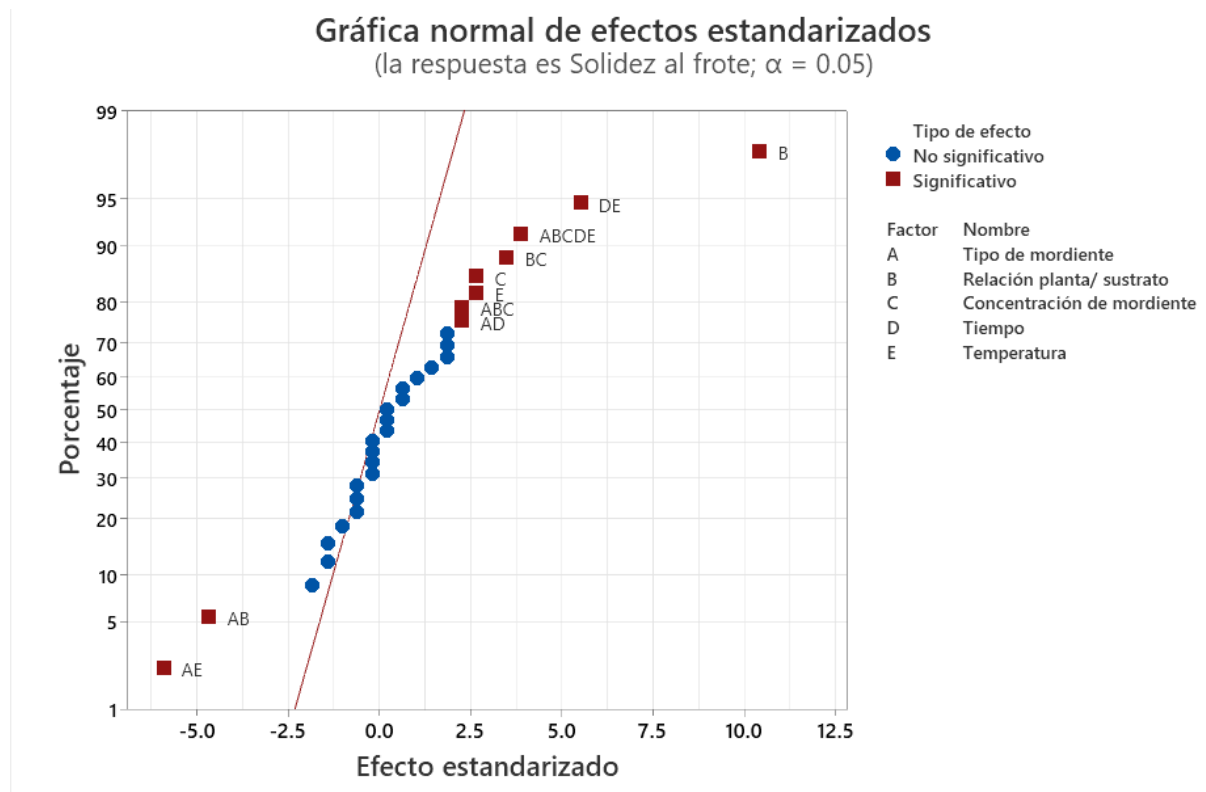


Figura 33: Gráfica normal de los efectos estandarizados solidez al frote

Figura 33 muestra los efectos principales y las interacciones de los factores en la solidez al lavado, destacando cuáles son significativos (cuadrados rojos) y cuáles no (círculos azules).

Se puede observar que el factor Relación planta/sustrato (B), concentración de mordiente (C) tiempo (D, temperatura (E) y la interacciones (B, A*E, D*E, A*B, A*B*C*D*E, B*C, A*B*C, A*D) son estadísticamente significativos $\alpha = 0.05$ es decir, influyen en la solidez al frote.

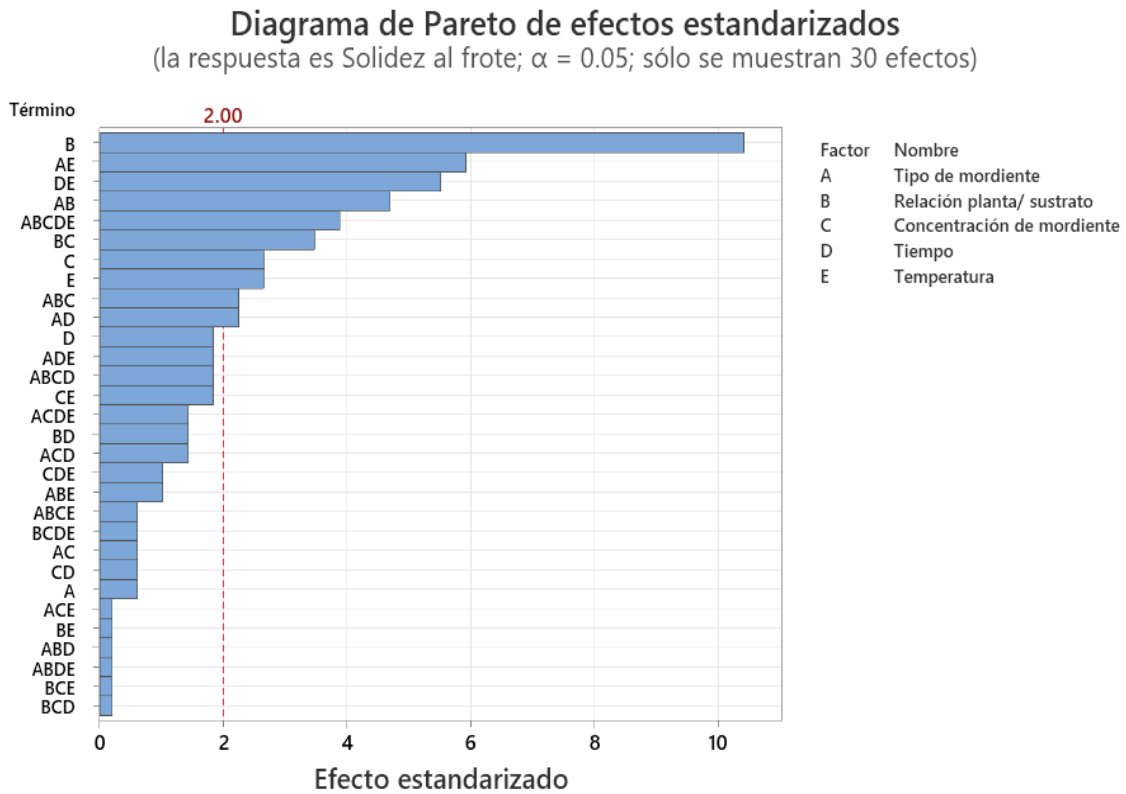


Figura 34: Diagrama de pareto de efectos estandarizados

La figura 34 presenta los efectos estandarizados de los factores y sus interacciones sobre la solidez del color, considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. La línea roja vertical, con un valor crítico de 2,00, indica el umbral a partir del cual los factores se consideran significativos.

Factor que tiene mayor efecto significativo es el factor con mayor efecto es sustrato (B), concentración de mordiente (C) tiempo (D, temperatura (E) y en cuanto a las interacciones (A*E, D*E, A*B, A*B*C*D*E, B*C, A*B*C A*D) los factores que superan el punto crítico de 2,00 son significativos e influyen en la obtención de un buen resultado, mientras que las interacciones con valores inferiores a este umbral no presentan significancia.

Tabla 26: Prueba de comparaciones múltiples (tukey) para la solidez al frote

Tipo de mordiente	N	Media	Agrupación
Sulfato de aluminio	48	3.7396	A
Sulfato de hierro	48	3.7083	A
Relación planta/sustrato	N	Media	Agrupación
25 %	48	3.9896	A
12.5 %	48	3.4583	B
Concentración de mordiente	N	Media	Agrupación
5 g/L	48	3.7917	A
1 g/L	48	3.6563	A
Tiempo	N	Media	Agrupación
60 min	48	3.7708	A
30 min	48	3.6771	A
Temperatura	N	Media	Agrupación
98 °C	48	3.7917	A
85 °C	48	3.6563	A

La tabla 26 muestra que, en el ensayo de solidez al frote, los valores obtenidos se ubicaron a partir de 3,45 y 3,98, lo que corresponde a las categorías de regular-bueno a bueno, según la NTP 231.005.

Respecto al tipo de mordiente, no se observaron diferencias significativas, pues el sulfato de aluminio obtuvo un promedio de 3.74 y el sulfato de hierro 3.70, ambos en la categoría (bueno). Esto sugiere que este factor en sus dos niveles trabaja igual

En cuanto a la relación planta/sustrato, el 25 % registró el mejor promedio 3.99, categoría (bueno), superior al 12.5 % 3.46, (regular–bueno), evidenciando que una mayor proporción de colorante en el baño contribuye positivamente a la solidez frente al frote.

La concentración de mordiente también mostró un efecto favorable: 5 g/L alcanzó 3.79 (bueno), mientras que 1 g/L se redujo a 3.65 (regular–bueno).

El tiempo de teñido reflejó un comportamiento similar, con 60 minutos alcanzando 3.77 (bueno), por encima de los 30 minutos 3.67 (regular–bueno), lo que indica que una mayor duración en el proceso mejora ligeramente la fijación del colorante.

Finalmente, la temperatura no evidenció diferencias notables, con valores similares entre 98 °C 3.79 (bueno) y 85 °C 3.65 (regular–bueno).

4.2.4. Resultados de solidez a la luz

a) Hipótesis específica 3

H_0 = El colorante natural de achiote (*Bixa orellana*) no tiene efecto significativo en la solidez del color a la luz en el hilado de lana de ovino.

H_1 = El colorante natural de achiote (*Bixa orellana*) tiene efecto significativo en la solidez del color a la luz en el hilado de lana de ovino.

- **Validación de supuestos estadísticos**

Prueba de normalidad

La prueba de normalidad se establece mediante la hipótesis nula (H_0), que indica que, si el valor de p es mayor a 0,05, los datos siguen una distribución normal, y la hipótesis alterna (H_1), que señala que, si el valor de p es menor o igual a 0,05, los datos no presentan distribución normal. La regla de decisión establece que, cuando $p > 0,05$, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la alterna; mientras que si $p \leq 0,05$, se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la nula (Montgomery, 2020).

Tabla 27: Resultado para la solidez a la luz (prueba de Ryan Joiner)

Ensayo	Media	Desviación estándar	Número de muestras (N)	Ryan Joiner (RJ)	Valor p
Solidez al lavado	2,474	0,4581	96	0,996	0,100

La Tabla 27 presenta los resultados de la prueba de normalidad de Ryan Joiner aplicada a la solidez del color a la luz, en la que se obtuvo un coeficiente RJ = 0,995 y un valor de $p = 0,100$. Dado que el coeficiente RJ es cercano a 1 y que el valor de p es mayor a 0,05, se rechaza la hipótesis alterna y se acepta la hipótesis nula, concluyéndose que los datos siguen una distribución normal.

prueba de Levene (homogeneidad de varianzas)

La prueba de homogeneidad de varianzas establece que, si el valor de p es mayor que 0,05, se acepta la hipótesis nula y se concluye que las varianzas de los tratamientos son iguales; en cambio, cuando p es menor o igual a 0,05, se rechaza la hipótesis nula, indicando que al menos una varianza es diferente y no se cumple el supuesto de homogeneidad (Montgomery, 2020).

Tabla 28: Resultados de la prueba de Levene (homogeneidad de varianza)

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0.984
Levene	0.24	0.999

La tabla 28 muestra los resultados de la prueba de Levene, la cual evidencia que se acepta la hipótesis nula, dado que el valor obtenido $P = 0.199$ es mayor que el nivel de significancia que 0.05. Esto indica que se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas, lo que valida la aplicación del análisis de varianza.

Análisis de varianza (ANOVA)

Tabla 29: Análisis de varianza (ANOVA)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	31	15.5417	0.50134	6.88	0.000
Error	64	4.6667	0.07292		
Total	95	20.2083			

La toma de decisión, basada en el ANOVA con un nivel de significancia del 5 %, mostró un valor de $p = 0,000$, menor que 0,05. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula H_0 y se acepta la hipótesis alterna H_1 : El colorante natural de achiote (*Bixa orellana*) tiene efecto significativamente en la solidez del color a la luz en el hilado de lana de ovino.

Tabla 30: Resultados de evaluación de solidez al color

N° Tratamiento	Factores (parámetros de teñido)					solidez a la luz		
	Tipo de mordiente	Relación planta/sustrato (g)	Concentración de mordiente (g/L)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Replica I	Replica II	Replica III
	A	B	C	D	E			
T1	Sulfato de aluminio	12.5	1	30	85	2	2	2
T2	Sulfato de hierro	12.5	1	30	85	1.5	2.5	2
T3	Sulfato de aluminio	25	1	30	85	2.5	2.5	2.5
T4	Sulfato de hierro	25	1	30	85	2.5	2.5	2.5
T5	Sulfato de aluminio	12.5	5	30	85	2	3	3
T6	Sulfato de hierro	12.5	5	30	85	3	3	3
T7	Sulfato de aluminio	25	5	30	85	2	2	2
T8	Sulfato de hierro	25	5	30	85	2.5	2	2.5
T9	Sulfato de aluminio	12.5	1	60	85	2	2.5	2.5
T10	Sulfato de hierro	12.5	1	60	85	2.5	2	2.5
T11	Sulfato de aluminio	25	1	60	85	2.5	3	3
T12	Sulfato de hierro	25	1	60	85	3	2	2.5
T13	Sulfato de aluminio	12.5	5	60	85	2.5	2	2.3
T14	Sulfato de hierro	12.5	5	60	85	3	2.5	3
T15	Sulfato de aluminio	25	5	60	85	2.5	3	3
T16	Sulfato de hierro	25	5	60	85	3	3	3
T17	Sulfato de aluminio	12.5	1	30	98	2	2	2
T18	Sulfato de hierro	12.5	1	30	98	3.5	2	2
T19	Sulfato de aluminio	25	1	30	98	2.5	2	2.3
T20	Sulfato de hierro	25	1	30	98	2.5	2	3
T21	Sulfato de aluminio	12.5	5	30	98	2	2	2
T22	Sulfato de hierro	12.5	5	30	98	2	3	3
T23	Sulfato de aluminio	25	5	30	98	2.5	2	2.3
T24	Sulfato de hierro	25	5	30	98	3	2	2.5
T25	Sulfato de aluminio	12.5	1	60	98	1.5	2	2.5
T26	Sulfato de hierro	12.5	1	60	98	2	2	2
T27	Sulfato de aluminio	25	1	60	98	2.5	2.5	2.5
T28	Sulfato de hierro	25	1	60	98	3	2	2.5
T29	Sulfato de aluminio	12.5	5	60	98	2	2.5	2.3
T30	Sulfato de hierro	12.5	5	60	98	3	3	3
T31	Sulfato de aluminio	25	5	60	98	3	3	3
T32	Sulfato de hierro	25	5	60	98	3.5	3	3.5

Análisis de Varianza

Tabla 31: Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	31	13.7057	0.44212	3.95	0.000
Lineal	5	6.5078	1.30156	11.62	0.000
A: Tipo de mordiente	1	1.1484	1.14844	10.26	0.002
B: Planta/sustrato	1	1.3776	1.37760	12.30	0.001
C: Concentración de mordiente	1	2.3438	2.34375	20.93	0.000
D: Tiempo	1	1.6276	1.62760	14.53	0.000
E: Temperatura	1	0.0104	0.01042	0.09	0.761
Interacciones de 2 términos	10	3.7604	0.37604	3.36	0.001
A*B	1	0.2109	0.21094	1.88	0.175
A*C	1	1.0417	1.04167	9.30	0.003
A*D	1	0.0234	0.02344	0.21	0.649
A*E	1	0.3750	0.37500	3.35	0.072
B*C	1	0.6667	0.66667	5.95	0.017
B*D	1	0.9401	0.94010	8.40	0.005
B*E	1	0.0938	0.09375	0.84	0.364
C*D	1	0.3750	0.37500	3.35	0.072
C*E	1	0.0234	0.02344	0.21	0.649
D*E	1	0.0104	0.01042	0.09	0.761
Interacciones de 3 términos	10	2.5937	0.25937	2.32	0.021
A*B*C	1	0.0938	0.09375	0.84	0.364
A*B*D	1	0.0651	0.06510	0.58	0.449
A*B*E	1	0.0417	0.04167	0.37	0.544
A*C*D	1	0.0938	0.09375	0.84	0.364
A*C*E	1	0.0651	0.06510	0.58	0.449
A*D*E	1	0.0417	0.04167	0.37	0.544
B*C*D	1	0.8437	0.84375	7.53	0.008
B*C*E	1	0.5859	0.58594	5.23	0.025
B*D*E	1	0.0104	0.01042	0.09	0.761
C*D*E	1	0.7526	0.75260	6.72	0.012
Interacciones de 4 términos	5	0.8203	0.16406	1.47	0.214
A*B*C*D	1	0.0000	0.00000	0.00	1.000
A*B*C*E	1	0.0026	0.00260	0.02	0.879
A*B*D*E	1	0.1667	0.16667	1.49	0.227
A*C*D*E	1	0.0651	0.06510	0.58	0.449
B*C*D*E	1	0.5859	0.58594	5.23	0.025
Interacciones de 5 términos	1	0.0234	0.02344	0.21	0.649
A*B*C*D*E	1	0.0234	0.02344	0.21	0.649
Error	64	7.1667	0.11198		
Total	95	20.8724			

En la Tabla 31 se presentan los resultados del análisis de varianza para la solidez del color con un nivel de significancia del 5 %. El modelo resulta altamente significativo, con un valor de $p = 0,000$. En cuanto a los factores, el tipo de mordiente (A), la relación planta/sustrato (B), la

concentración de mordiente (C) y el tiempo (D) muestran efectos significativos, ya que sus valores de p son menores a 0,05, lo que indica que influyen en el teñido. Por otro lado, la temperatura (E) no es significativa, por lo que no afecta la variable de respuesta.

Respecto a las interacciones, las de dos factores (A*C, B*C y B*D) son significativas, mientras que las demás no presentan efectos significativos. Entre las interacciones de tres factores, (B*C*D, B*C*E, y C*D*E) son significativas, y las restantes no muestran significancia. La interacción de cuatro factores (B*C*D*E) también es significativa, mientras que la interacción de cinco factores (A*B*C*D*E) no presenta efecto significativo, dado que su valor de p es mayor a 0,05. Estos resultados confirman la influencia combinada de ciertos factores en la solidez del color.

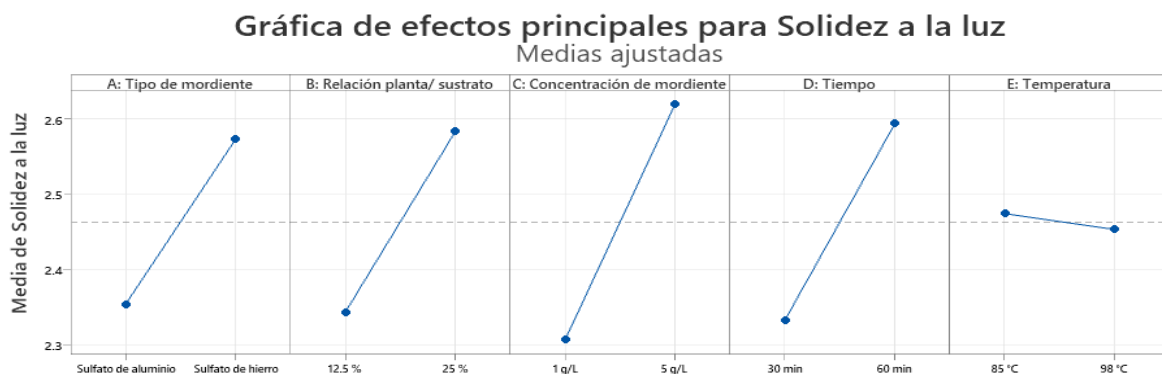


Figura 35: Gráfica de efectos principales para solidez a la luz

La figura 35 muestra que la relación con el tipo de mordiente (A), se observa que el sulfato de hierro genera un promedio superior de solidez frente a la luz en comparación con el sulfato de aluminio, lo que sugiere que este mordiente favorece la fijación y solidez del color.

Respecto a la relación planta/sustrato (B), la proporción más alta (25 %) presenta una mayor resistencia al desvanecimiento que la menor (12.5 %), lo que indica que un mayor contenido de colorante disponible en la fibra contribuye a mejorar la estabilidad del color.

En cuanto a la concentración de mordiente (C), se aprecia un incremento significativo al pasar de 1 g/L a 5 g/L, lo cual resalta la importancia del mordiente como agente de enlace entre el pigmento y la fibra.

Por otro lado, el tiempo de teñido (D) evidencia que prolongar el proceso a 60 minutos favorece la penetración del color en la fibra y, en consecuencia, mejora la solidez frente a la luz en comparación con 30 minutos.

Finalmente, la temperatura (E) muestra un comportamiento ligeramente inverso: a 85 °C se registra una solidez a la luz superior en comparación con 98 °C. Este efecto podría deberse a que temperaturas más elevadas deterioran parcialmente el pigmento (bixina/norbixina) o incluso afectan la estructura de la fibra, reduciendo su capacidad de fijación. No obstante, la diferencia observada es mínima, por lo que se concluye que la temperatura no ejerce un efecto significativo sobre la solidez a la luz dentro del rango evaluado.

En conjunto, los resultados sugieren que las mejores condiciones para optimizar la solidez a la luz en el teñido con achiote se alcanzan utilizando sulfato de hierro como mordiente, una relación planta/sustrato del 25 %, concentración de 5 g/L, tiempo de teñido de 60 minutos y temperatura de 85 °C.

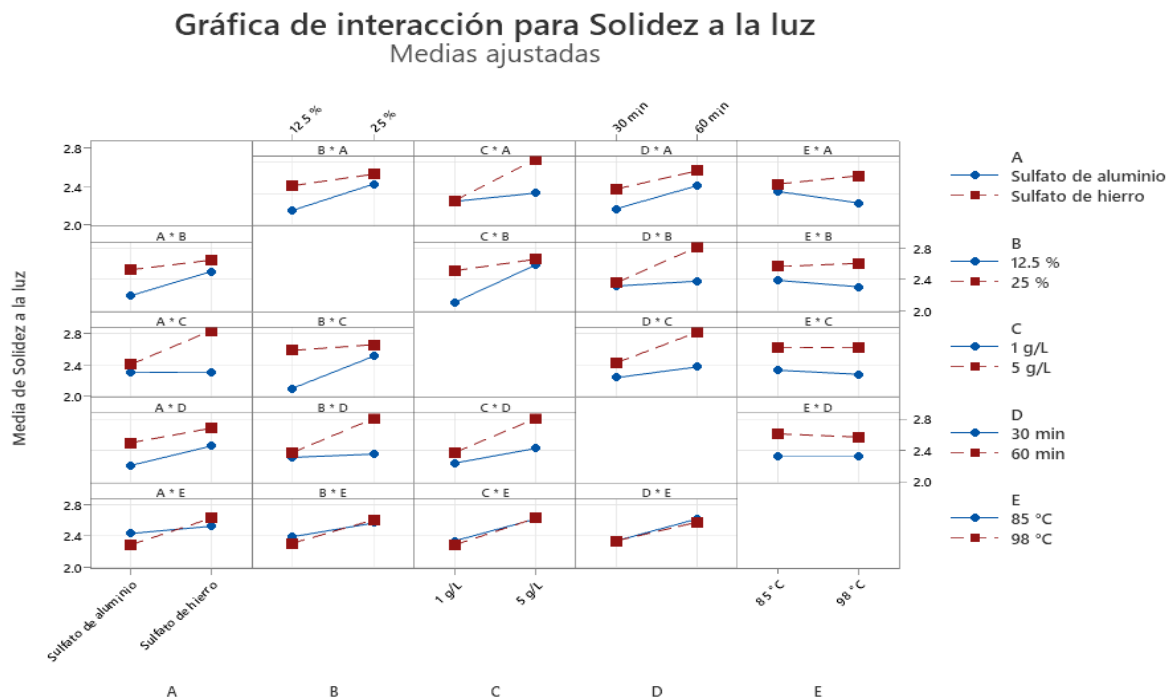


Figura 36: Gráfica de interacción para la solidez a la luz

Según la figura 36 la gráfica de interacción para la solidez a la luz evidencia que los factores no actúan de manera completamente independiente, sino que en algunos casos muestran efectos combinados relevantes:

A*B (Tipo de mordiente x relación planta/sustrato) La combinación de sulfato de hierro con 25 % de relación planta/sustrato presenta valores de solidez superiores respecto a otras combinaciones. Esto confirma que tanto la disponibilidad de colorante como el mordiente influyen de manera conjunta en la solidez frente a la luz.

A*C (Tipo de mordiente con concentración de mordiente) el sulfato de hierro a 5 g/L alcanza un nivel de solidez notablemente mayor en comparación con el sulfato de aluminio, lo que evidencia que la concentración de mordiente potencia el efecto del hierro como fijador de pigmento.

A*D (Tipo de mordiente con tiempo) se observa que, al utilizar sulfato de hierro durante 60 minutos, la solidez mejora respecto al aluminio, mostrando una interacción positiva entre mordiente y tiempo de exposición al baño de teñido.

A*E (Tipo de mordiente con temperatura) la mejor respuesta se da con sulfato de hierro a 85 °C, mientras que a 98 °C la solidez disminuye en ambos mordientes. Esto indica que la temperatura excesiva puede degradar el pigmento, pero el hierro mitiga parcialmente este efecto.

Interacciones entre factores secundarios (B, C, D, E): B * C: La combinación de 25 % y 5 g/L genera mayor solidez. B *D: La relación 25 % con 60 min refuerza el teñido C *D: Se evidencia que la concentración de 5 g/L con 60 min da resultados más estables., C* E y D *E: Una concentración alta de mordiente (5 g/L) y un tiempo largo (60 min) mantienen la solidez, especialmente cuando la temperatura se controla en 85 °C.

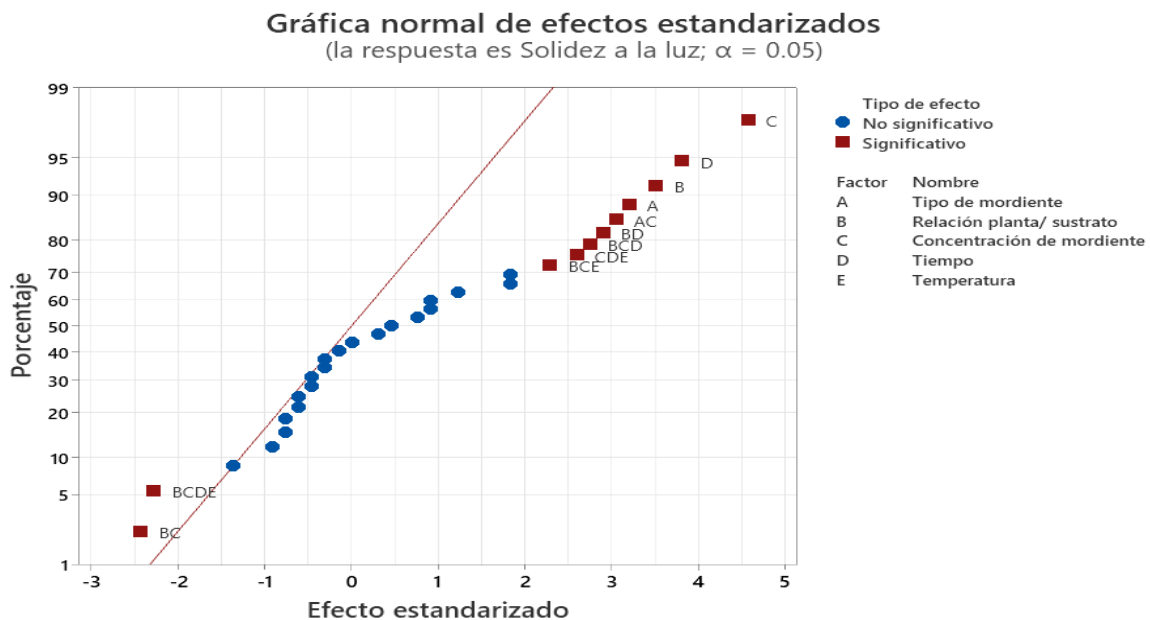


Figura 37: Gráfica normal de los efectos estandarizados

En la Figura 37, correspondiente a la gráfica normal de efectos estandarizados para la solidez del color a la luz, se observa que los puntos de color rojo se alejan de la línea de referencia, lo

que indica que dichos efectos son estadísticamente significativos. Entre los factores con mayor influencia se encuentran la concentración de mordiente (C), el tiempo de teñido (D), la relación planta/sustrato (B) y el tipo de mordiente (A), así como algunas interacciones como A*C, B*D, A*B*C y B*C*D*E.

Por el contrario, los puntos representados en color azul se mantienen próximos a la línea, lo que evidencia que estos efectos no son significativos y tienen una contribución mínima sobre la respuesta.

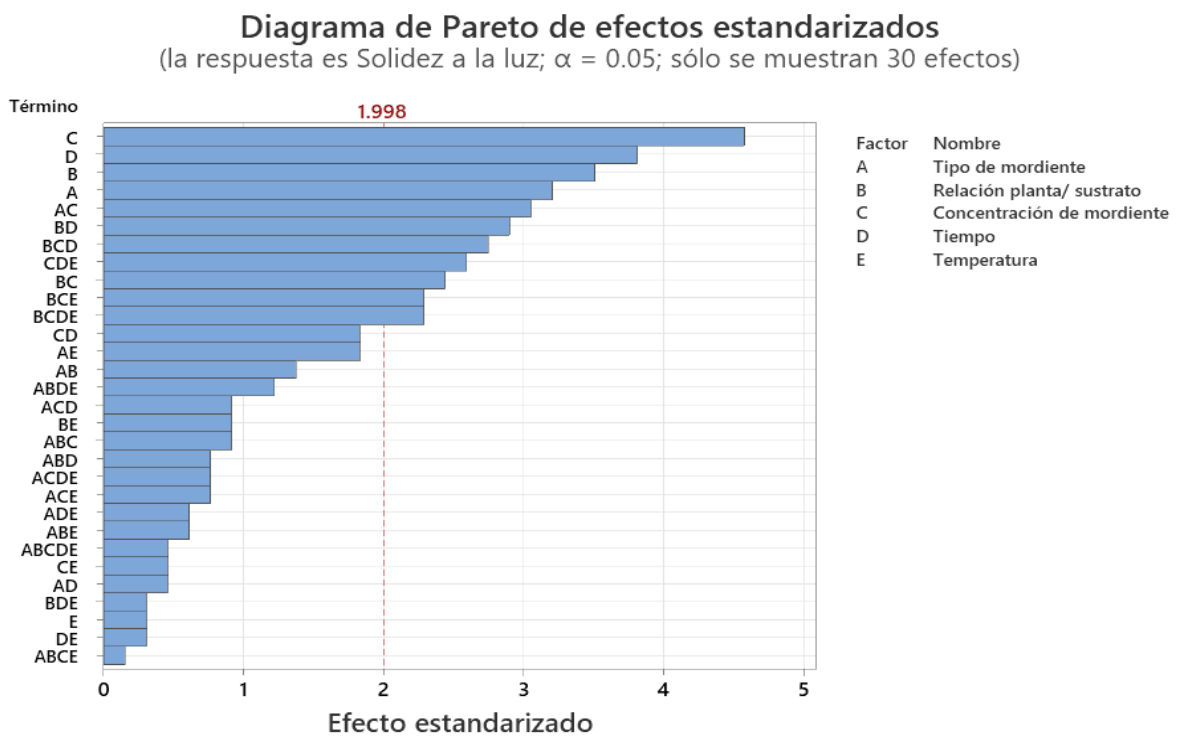


Figura 38: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados

En la figura 38 se presenta el diagrama de Pareto de los efectos estandarizados, el cual muestra la magnitud de los factores y sus interacciones sobre la solidez del color, considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. La línea vertical roja, correspondiente al valor crítico de 1,998, indica el límite a partir del cual los efectos se consideran estadísticamente significativos.

Se observa que el factor que tiene mayor efecto significativo es el factor el Relación planta/sustrato (B) Concentración de mordiente(C) Tiempo (D) y temperatura (E) mostrando una influencia significativa en la solidez en cuanto a las interacciones (A*C, B*D, B*C*D, C*D*E, B*C, B*C*E y B*C*D*E) los factores que superan el punto crítico de 1,998 son significativos e influyen en la obtención de un buen resultado, mientras que las interacciones con valores inferiores a este umbral no presentan significancia.

Tabla 32: Prueba de comparaciones múltiples (tukey) para la solidez a la luz

Tipo de mordiente	N	Media	Agrupación
Sulfato de hierro	48	2.5729	A
Sulfato de aluminio	48	2.3542	B
Relación planta/sustrato	N	Media	Agrupación
25 %	48	2.5833	A
12.5 %	48	2.3438	B
Concentración de mordiente	N	Media	Agrupación
5 g/L	48	2.6198	A
1 g/L	48	2.3073	A
Tiempo	N	Media	Agrupación
60 min	48	2.5938	A
30 min	48	2.3333	B
Temperatura	N	Media	Agrupación
85 °C	48	2.4740	A
98 °C	48	2.4531	A

En el ensayo de solidez a la luz, los resultados obtenidos se situaron entre 2.3 y 2.6, lo que corresponde a calificaciones de “mediano” a “bajo” según NTP 231.005

El sulfato de hierro alcanzó el promedio más alto 2.57 (*a mediana*), mientras que el sulfato de aluminio obtuvo un promedio inferior 2.35 (*bajo*), confirmando un mejor comportamiento del hierro como mordiente.

De manera similar, la relación planta/sustrato del 25 % mostró un promedio de 2.58 (*mediano*), superior al 12.5 % 2.34 (*bajo*), evidenciando que una mayor concentración de materia colorante en el baño mejora la fijación frente a la luz.

La concentración de mordiente de 5 g/L 2.61 (*mediano*) superó claramente a 1 g/L 2.30, (*bajo*), lo que demuestra que este factor tiene una influencia positiva en la solidez del color.

El tiempo de teñido de 60 minutos también aportó mejores resultados (2.59, *mediano*) en comparación con 30 minutos 2.33 (*bajo*). Por su parte, la temperatura no mostró un efecto relevante, con valores similares entre 85 °C 2.47 (*mediano*) y 98 °C (2.45, *mediano*).

En conclusión, la solidez a la luz del achiote se mantiene en niveles de bajo a mediano, siendo los factores más determinantes la concentración de mordiente, la relación planta/sustrato y el tiempo de teñido. No obstante, los valores obtenidos evidencian que este colorante presenta limitaciones importantes frente a la radiación solar prolongada.

4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.3.1. Análisis de efecto de los factores de teñido en la solidez del color

a) Tipo de mordiente (A)

El tipo de mordiente presentó un efecto significativo en la solidez de lavado mostró un efecto positivo, el sulfato de hierro alcanzó valores superiores de solidez (hasta 4/5 muy bueno) respecto al sulfato de aluminio, confirmando su mayor capacidad de fijación del colorante natural. En el frote, este factor no resultó muy significativo mostrando un comportamiento similar en ambos mordientes con promedios entre 3/4 (regular - Bueno) y 4 (bueno) En la solidez a la luz fue significativo, aunque los promedios reflejaron una ligera ventaja del hierro sobre el aluminio. En conjunto, el sulfato de hierro demostró mayor eficiencia con sulfato de hierro llegaron hasta 3 (regular) principalmente en la solidez al lavado y, en menor medida, en la luz.

b) Relación planta/sustrato (B)

Este factor fue altamente significativo en todos los casos al aumentar la proporción de 12.5 % a 25 %, los valores de solidez mejoraron en el lavado hasta 4/5 (Muy bueno) y en el frote hasta 4/5 (muy bueno). En la luz también resultó significativo, aunque los valores máximos alcanzaron 3 (regular) este comportamiento confirma que una mayor disponibilidad de pigmento favorece la fijación en la fibra, pero no garantiza estabilidad frente a la solidez a la luz, dado que los carotenoides del achiote son fotosensibles.

c) Concentración de mordiente (C)

La concentración de mordiente mostró un efecto significativo estadísticamente en la solidez al color, en el lavado no presentó impacto relevante mientras que en el frote y especialmente, en la luz, su influencia fue clara. Al aumentar la concentración a 5 g/L, los valores de frote alcanzaron 4/5 (muy bueno) y los de luz 3 (regular) lo que evidencia que una mayor cantidad de mordiente estabiliza mejor el complejo fibra-pigmento. Este efecto fue más evidente con el sulfato de hierro, que estableció interacciones más estables que el aluminio.

d) Tiempo de teñido (D)

El tiempo de teñido fue uno de los factores más determinantes. En la solidez al lavado resultó altamente significativo con incrementos de 3 (regular) a 4/5 (muy bueno) al pasar de 30 a 60 minutos. En la solidez a la luz también fue significativo, alcanzando valores de hasta 3 (regular)

en tiempos prolongados. En el frote no fue estadísticamente significativo, aunque la tendencia fue positiva. Estos resultados confirman que un mayor tiempo de teñido permite una mejor difusión y fijación del colorante, con mayor incidencia en el lavado y la luz.

e) Temperatura (E)

La temperatura fue el único factor que no presentó significancia en la solidez al color, en la solidez al lavado no mostró efectos relevantes. En el frote sí resultó significativa, alcanzando valores de hasta 4/5 (muy bueno) a 98 °C. En la solidez a la luz también tuvo efecto, pero los mejores resultados se obtuvieron a 85 °C, ya que a temperaturas más elevadas se acelera la degradación de los pigmentos carotenoides. En síntesis, la temperatura influye en la fijación durante el frote y la estabilidad relativa frente a la luz, pero no constituye un factor determinante como el tiempo o la relación planta/sustrato

4.3.2. Análisis de la solidez del color según tipo de ensayo

El presente estudio tuvo como finalidad evaluar la solidez del color en hilados de lana de ovinos teñidos con colorante natural de achiote (*Bixa orellana*), considerando tres pruebas fundamentales: lavado, frote y luz. Los resultados obtenidos permiten analizar cómo las condiciones de teñido (tipo de mordiente, relación planta/sustrato, concentración de mordiente, tiempo y temperatura) influyen en la solidez del color en el teñido del hilado de lana de ovino.

a) Solidez al lavado

Los resultados estuvieron en un rango de 3/4 (regular - bueno) a 4.5 (muy bueno). Los valores más bajos se registraron en condiciones de 12.5 % de planta/sustrato, 1 g/L de mordiente y 30 minutos de teñido, evidenciando una fijación insuficiente del pigmento. En contraste, los valores máximos (4/5) se alcanzaron en tratamientos de 25 % de planta/sustrato, 60 minutos de tiempo y uso de sulfato de hierro. El ANOVA indicó que los factores más determinantes fueron el tipo de mordiente, la relación planta/sustrato y el tiempo. Estos hallazgos muestran que la fijación del achiote depende principalmente de niveles altos del mordiente y del tiempo del proceso de teñido.

b) Solidez al frote

En la prueba de solidez al frote, los valores fueron de 3 (regular) y 4/5 (muy bueno), con un comportamiento similar al del lavado, pero con mayor consistencia en los niveles intermedios.

En tratamientos con relación planta/sustrato (12.5 g) y menor tiempo (30 min), los valores se situaron en torno a 3.0, evidenciando desprendimiento visible del color. En cambio, cuando se utilizó mayor cantidad de planta/ sustrato (25 g), concentración de mordiente mayor (5 g/L) y tiempo (60 min y temperaturas de 98 °C), los valores alcanzaron hasta 4/5, lo que refleja un desempeño bastante bueno frente a la solidez al frote.

Este resultado sugiere que la cantidad del colorante en la solución de teñido y el control de la temperatura son determinantes en la fijación del color y en la resistencia a la solidez al frote. Esto demuestra que el achiote (*Bixa orellana*) puede ser utilizado en hilado de lana de ovino. Prendas de este material donde el roce con otras superficies es frecuente, sin que se produzca un deterioro rápido de la tonalidad del color.

Ambos mordientes son eficaces para mejorar la solidez al frote, aunque el aluminio ofrece un comportamiento más uniforme, mientras que el hierro depende de la combinación precisa de varios factores

c) Solidez a la luz

Esta prueba presentó los valores más bajos, con un rango entre 2 (bajo) y 3.5 (regular – bueno) los valores mínimos se observaron en tratamientos de 30 min, 12.5 % de planta/sustrato y 1 g/L de mordiente, con pérdida notable de tonalidad. Los valores máximos se alcanzaron en condiciones de 25 % de planta/sustrato, 5 g/L de mordiente y 60 minutos, en combinación con temperaturas moderadas 85 °C. El ANOVA mostró que los factores significativos fueron planta/sustrato concentración, tiempo y temperatura mientras que el tipo de mordiente no fue significativo. No obstante, los promedios indicaron que el sulfato de hierro muestra un desempeño ligeramente superior al aluminio. Este resultado confirma la alta fotosensibilidad de los pigmentos carotenoides, que se degradan bajo radiación ultravioleta, limitando la solidez del color aún bajo condiciones óptimas.

En general, los resultados muestran que el colorante natural de achiote (*Bixa orellana*) constituye una alternativa viable y sostenible para el teñido de lana de ovino, siempre que el proceso se controle mediante factores como tiempo, temperatura y tipo de mordiente. Asimismo, este estudio evidencia el potencial de rescatar prácticas ancestrales y adaptarlas al contexto técnico actual, contribuyendo al desarrollo de procesos más ecológicos en la industria textil.

4.3.3. Discusión de resultados con otros autores

Tabla 33: Discusión de resultados

Discusión de resultados con autores internacionales			
Citas de autor (es)	Conclusión de antecedentes	Interpretación de resultados	Comparación entre antecedentes
Tapia Pacci (2023), Bolivia	El teñido de fibra de alpaca con colorante natural de <i>tankar</i> (<i>Berberis boliviana</i> L.) demostró excelente solidez en lavado, frote y luz bajo condiciones óptimas de mordiente (alumbre 20 %), tiempo (60 min) y temperatura (86 °C).	En mi estudio, el teñido con achiote en lana de ovino alcanzó valores de solidez al lavado de hasta 4/5 (“muy bueno”), con mejores resultados en condiciones de 25 % de planta/sustrato, 60 min de tiempo y mordiente de sulfato de hierro. En frote, también se obtuvieron valores de hasta 4/5, mientras que en luz los resultados fueron menores (máximo 3/4).	Ambos estudios coinciden en que el control de factores como mordiente, tiempo y temperatura es determinante para obtener buena solidez del color. La diferencia radica en que, mientras Tapia reporta valores máximos de solidez (5), en mi investigación los valores fueron ligeramente menores, lo que se atribuye a la fotosensibilidad de los carotenoides del achiote.
Alvares Canelo & Arroyo Figueroa (2017), México	Los colorantes naturales como cochinilla, cebolla, cacao y girasol mostraron buena solidez frente a luz y frote ($\Delta E \leq 2$; calificación 4/5), pero presentaron debilidades frente al lavado y a medios ácidos ($\Delta E > 20$; calificación 1/2).	En el caso del achiote aplicado a lana de ovino, la solidez al frote fue consistente y buena (3.5 a 4.5), similar a lo reportado en otros colorantes. Sin embargo, la solidez al lavado fue más limitada (3 a 4/5), y en la luz presentó los valores más bajos (2 a 3), confirmando la vulnerabilidad frente a agentes más agresivos.	Se evidencia un patrón común: los colorantes naturales son estables frente a frote y, en menor medida, a la luz, pero el estudio de Alvares presenta deficiencias en el lavado. Sin embargo, en el estudio de achiote se obtuvo mejores resultados hasta 4/5 (muy bueno)
Palacios Ochoa (2021), Ecuador	En el teñido con biocolorantes vegetales y cochinilla, el mayor deterioro se observó en lavado alcalino ($\Delta E = 32$; calificación ≈ 1), mientras que en luz, frote y lavado neutro los valores fueron satisfactorios ($\Delta E \approx 1,4$; calificación 4/5).	En mi investigación, el achiote mostró debilidad frente a la solidez a la luz con valores de 2 especialmente bajo condiciones menos favorables de mordiente y tiempo, mientras que en frote los valores fueron consistentes (3/4–4/5) en el lavado, los promedios alcanzaron un máximo de 3.	Coincidimos en que solidez al luz y frote se obtiene de regular a muy bueno resultados, La diferencia es que Palacios-Ochoa enfatiza el efecto del medio alcalino, mientras que mi estudio muestra cómo factores de proceso (tiempo, mordiente, temperatura) pueden mitigar en parte estas limitaciones.
Muñoz Márquez (2022), México	El achiote produjo tonalidades rojizas y anaranjadas con buena solidez frente a luz y frote, aunque con limitaciones en el lavado, recomendando optimizar los métodos de fijación.	En el teñido de lana de ovino con achiote, se comprobó la misma tendencia: buena solidez a la luz (máx. 3) y al frote (máx. 4/5), mientras que en el lavado los valores oscilaron entre 3 y 4/5, dependiendo del mordiente y tiempo aplicado. La combinación de sulfato ferroso y mayor tiempo de teñido permitió mejores resultados.	Muñoz muestra que la debilidad principal del achiote está en la solidez al lavado. Sin embargo, mi investigación demuestra que dichas debilidades pueden atenuarse mediante la optimización de factores de teñido.

Bonet Aracil (2020), España	El desarrollo de nanopigmentos a base de carotenoides de achiote mejoró la compactación molecular, alcanzando solidez de 4/5 en lavado y frote, y otorgando protección UV, aunque con variaciones en algunos casos.	En mi investigación sin aplicación de nanotecnología, la solidez al lavado fue intermedia (3 – 4/5) y al frote buena (3/4 – 4/5), pero en la luz no superó 3 mostrando la vulnerabilidad típica del achiote.	Ambos estudios refuerzan que el achiote es un pigmento con potencial textil. La diferencia es que la nanotecnología aplicada por Bonet Aracil mejoró la resistencia y protección UV, mientras que en mi estudio los resultados dependen de la optimización de parámetros tradicionales de teñido.
-----------------------------	---	--	---

Tabla 34: Discusión de resultados

Discusión de resultados con autores nacionales			
Citas de autor (es)	Conclusión de antecedentes	Interpretación de resultados	Comparación entre antecedentes
Mendoza Huamaní (2018), Perú	El teñido de fibra de alpaca con aliso (<i>Alnus acuminata</i>) mostró buena solidez al lavado, alcanzando calificaciones de grado 4 en la escala de grises, lo que evidencia que este colorante natural garantiza durabilidad frente al enjuague	En mi investigación con achiote, la solidez al lavado alcanzó también valores de hasta 4/5 bajo condiciones óptimas (25 % planta/sustrato, 60 min y mordiente de hierro), aunque en algunos casos descendió a 3.0 cuando los factores fueron menos favorables.	Coincidimos en que los colorantes naturales pueden lograr buenas solidez al lavado. La diferencia es que Mendoza encontró resultados más consistentes con el aliso, mientras que en mi estudio los valores dependen fuertemente del control de las condiciones de teñido.
Arteaga Ayala y Chugá Chamorro (2023), Perú	La tintura <i>Pad Batch</i> con colorantes reactivos presentó excelente solidez al frote (4/5) y buena solidez al sudor en medio ácido y alcalino.	En mi estudio, la solidez al frote con achiote también alcanzó valores de hasta 4/5, especialmente con mayor concentración de mordiente, mayor tiempo y temperaturas controladas. Sin embargo, el comportamiento fue menos uniforme que en los colorantes reactivos, ya que en algunos casos se registraron valores de 3	Coincidimos en que el frote constituye una de las pruebas más favorables para la solidez del color. La diferencia está en que, mientras los colorantes sintéticos aseguran mayor estabilidad, en los naturales (como el achiote) los resultados dependen más de la interacción de los factores de teñido.
Carrasco Bocangel (2022), Perú	El teñido con pigmento de molle en fibra de alpaca presentó buena solidez al lavado y al frote (4/5), siendo el ácido cítrico el mordiente con mejor desempeño en fijación y	En el teñido con achiote en lana de ovino, también se lograron valores satisfactorios de solidez al frote y al lavado (3/4 – 4/5), aunque el sulfato de hierro resultó más eficiente que el sulfato de aluminio.	Ambos estudios coinciden en que la selección adecuada del mordiente es decisiva para mejorar la fijación. Sin embargo, mientras Carrasco destaca el uso de ácido cítrico, mi estudio comprobó que el

	menor requerimiento de enjuagues.		hierro ofrece mejores resultados que el aluminio.
Aguilar Figuero y Beltrán Cañari. (2022), Perú	El teñido de hilo de ovino y alpaca con flores de manzanilla mostró buena solidez a la luz, lavado y frote (4/5) con tiempos de teñido de 40–60 min y porcentajes de mordiente entre 20–30 %.	En mi caso, la lana teñida con achiote alcanzó valores de solidez de hasta 4/5 en lavado y frote bajo condiciones prolongadas de tiempo (60 min) y mayor cantidad de mordiente (5 g/L). En la luz, sin embargo, los valores máximos fueron de 3.0.	Coincidimos en que los tiempos largos y mayores niveles de mordiente son determinantes para mejorar la solidez. La diferencia es que, mientras la manzanilla mostró mayor estabilidad incluso frente a la luz, el achiote presenta una limitación por su alta fotosensibilidad.

Tabla 35: Discusión de resultados

Discusión de resultados con autores locales			
Citas de autor (es)	Conclusión de antecedentes	Interpretación de resultados	Comparación entre antecedentes
Barreda Álvarez (2024), Perú	El teñido de hilos de alpaca con semilla de achiote evidenció valores de solidez entre 3/4 en lavado, 3/4 – 4 en frote y 1/3 en luz. Los factores más influyentes fueron relación planta/sustrato, temperatura y combinaciones con mordiente y tiempo.	En mi investigación, el teñido de lana de ovino con achiote alcanzó valores similares: 3 - 4/5 en lavado, 3 - 4/5 en frote y 2/3 en luz. El ANOVA confirmó que los factores de mayor influencia fueron mordientes, relación planta/sustrato y tiempo.	Coincidimos plenamente en que la mayor debilidad del achiote está en la solidez a la luz, y que el control de parámetros como mordiente y tiempo es decisivo. La diferencia radica en que mi estudio evidenció que el sulfato de hierro permite mejorar los resultados en comparación al aluminio.
Sucasaca Quispe & Guevara Garnica (2020), Perú	El <i>colli</i> (<i>Buddleja coriacea</i>) permitió obtener tonalidades amarillas con buena solidez a la luz, destacando la influencia del tiempo y la temperatura en la fijación del pigmento.	En el caso del achiote, la solidez a la luz fue la más débil (2/3), aun cuando se optimizaron factores como tiempo, mordiente y temperatura.	Coincidimos en que el tiempo y la temperatura son variables decisivas para la fijación. Sin embargo, mientras el <i>colli</i> mostró buena solidez a la luz, el achiote presentó una marcada fotosensibilidad.
Sucasaca Quispe & Guevara Garnica (2022).	El teñido con col morada en alpaca evidenció buena estabilidad del color (3/4. - 5), destacando el sulfato de aluminio como mordiente eficaz para reducir pérdidas durante los enjuagues.	En mi estudio, el achiote aplicado a lana mostró mejores resultados con sulfato ferroso que con aluminio, especialmente en solidez al lavado (4/5 frente a 3/4).	Coincidimos en que la elección del mordiente es clave para el éxito del teñido natural. No obstante, la diferencia es que, mientras la col morada respondió mejor al aluminio, en el caso del achiote el sulfato de hierro demostró mayor capacidad de fijación.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.CONCLUSIONES

Con respecto al objetivo general se evaluó el efecto del colorante natural achiote (*Bixa orellana*) en la solidez de color en el hilado de lana de ovino, se demostró que, si influye significativamente en la solidez del color, confirmando la hipótesis alterna. bajo un diseño experimental factorial 2^5 con 2 niveles evaluando cinco factores tales como tipo de mordiente (sulfato de aluminio y sulfato de hierro), relación planta/sustrato (12 % y 25%), concentración de mordiente (1 y 5 g/L), tiempo (30 y 60 min), y temperatura (85y 98°C) y tres variables de respuesta (solidez al lavado, al frote y a la luz), el análisis estadístico mediante ANOVA evidencia que los factores relación planta/sustrato, tipo de mordiente, relación planta/sustrato, concentración de mordiente y tiempo de teñido influyen significativamente, principalmente en sus niveles altos en la solidez del color. Por otro lado, la temperatura no mostró diferencias significativas entre sus niveles, indicando que aporta resultados similares independientemente del valor aplicado. los resultados que se obtuvo están en los rangos de regular a muy bueno.

Con respecto al **objetivo específico 1**, se evaluó la solidez del color al lavado con el colorante natural de achiote (*Bixa orellana*), se observó efectos significativos en los resultados, se obtuvo valores entre 4/5 (muy bueno), se observó que la relación planta/sustrato, el tiempo de teñido y el tipo de mordiente fueron los factores determinantes en sus niveles altos, el sulfato de hierro ofreció una ligera ventaja frente al aluminio. los tratamientos con la combinación de 25 % planta/sustrato, 5 g/L de mordiente, 60 minutos y 85 °C alcanzaron valores entre 3/4 y 4/5, clasificados como bueno a muy bueno según la escala de grises evaluado según NTP.231.005, Estos resultados confirman que el achiote (*Bixa orellana*) puede generar un nivel de solidez aceptable cuando se optimizan las condiciones de aplicación.

Con respecto al **objetivo específico 2**, se evaluó la solidez del color al frote con el colorante natural de achiote (*Bixa orellana*), se obtuvo valores entre valores de a 4/5 (muy bueno). Estos resultados permiten concluir que la solidez al frote del colorante de achiote depende principalmente de la cantidad de planta/sustrato empleado, la concentración del mordiente y el control de la temperatura durante el proceso tintóreo. Se evidenció que tanto el sulfato de

aluminio como el sulfato de hierro mejoran la fijación, aunque el primero ofrece un desempeño más uniforme, mientras que el segundo depende de la combinación precisa de las variables. la mejor combinación de 25 % planta/sustrato, 5 g/L de mordiente, 60 minutos y 85 °C alcanzó valores entre 4/5, (muy bueno) en la escala de grises según la NTP.231.004. Esto demuestra que el pigmento del achiote (*Bixa orellana*) posee buena solidez al frote.

Con respecto al **objetivo específico 3**, se evaluó la solidez del color a la luz con el colorante natural de achiote (*Bixa orellana*), se evidenció que fue la más sensible, con valores de 2 a 3 (bajo a regular). siendo los más bajos dentro de las pruebas realizadas. Estos resultados permiten concluir que el colorante de achiote presenta una limitada resistencia a la radiación solar, debido a la naturaleza fotosensible de sus pigmentos carotenoides, los cuales tienden a degradarse con la exposición a la radiación ultravioleta. El análisis estadístico indicó que los factores más influyentes fueron la relación planta/sustrato, el tiempo y la temperatura, el tipo de mordiente no resultó estadísticamente no mostró diferencias significativas entre los mordientes, indicando que aporta resultados similares, si bien el sulfato de hierro mostró un ligero mejor desempeño frente al sulfato de aluminio, la combinación de 25 % planta/sustrato, 5 g/L de mordiente, 60 minutos y 85 °C, alcanzando valores de hasta 3, clasificados como (regular) en la escala de grises según NTP.321.005. Esto evidencia que, aunque la luz es el agente más crítico, bajo estas condiciones se logra un nivel aceptable de solidez. Estos resultados reflejan que el achiote (*Bixa orellana*) presenta limitaciones frente a la solidez a la luz, aunque bajo condiciones adecuadas se pueden alcanzar niveles aceptables.

5.2.RECOMENDACIONES

Se recomienda ampliar los ensayos de control de calidad de solidez, incluyendo pruebas adicionales como solidez al planchado, al sudor y al agua de mar, lo cual permitirá una caracterización más completa del comportamiento del colorante.

Se recomienda desarrollar estudios comparativos del achiote frente a otros colorantes naturales de la región andina, con el fin de establecer alternativas viables y diversificar las fuentes de tintes naturales.

Se recomienda realizar investigaciones utilizando otros tipos de mordientes (naturales) para obtener tonalidades distintas y comparar sus efectos en la fijación del colorante natural de achiote (*Bixa orellana*) en el hilado de lana de ovino y verificar su influencia en la solidez del color a diferentes condiciones de uso.

Se recomienda mejorar la solidez a la luz, debido a que las muestras teñidas con el colorante natural de achiote (*Bixa orellana*) presentaron valores bajos en esta prueba. Por ello, se sugiere aplicar postratamientos con antioxidantes o filtros UV y optimizar las condiciones de teñido.

5.3.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Águila, S. K., Torres García, J. L., & Cortes Espinosa, D. veronika. (2024). Colorantes textiles una amenaza latente: La biotecnología como parte de la solución. *Centro de Investigación En Biotecnología Aplicada. Instituto Politécnico Nacional. Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal, Km 1.5, 90700 Santa Inés Tecuexcomac, Tlax, México.*
- Aguilar, F. F., & Beltrán, C. Y. (2022). *Efecto del mordiente y tiempo en la solidez del teñido de hilo de ovino y alpaca con flores de manzanilla (Matricaria chamomilla L.)* [Universidad Nacional de san Antonio Abad del Cusco]. <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/6919>
- Albán, C. J., Espinoza, G., Rojas, R., & Díaz Santibáñez, C. (2018). El color en la memoria: Tintes vegetales usados en la tradición de las comunidades andinas y amazónicas peruanas. *Revista Ecología Aplicada*, 17(1), 85–96. <https://doi.org/10.21704/REA.V17I1.1177>
- Alcedo, C. J. A. (2019). *Factores determinantes de éxito en la exportación de carmín de cochinilla a China y Unión Europea entre 2013 al 2017* [Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <https://doi.org/10.19083/tesis/625686>
- Alvares, C. J. G., & Arroyo, F. G. (2017). Teñido de fibras naturales con colorantes naturales. *Jovenas En La Ciencia Revista de Divulgación Científica.*
- Ambade, B., Kusumlata, Kumar, A., & Gautam, S. (2024). Sustainable Solutions: Reviewing the Future of Textile Dye Contaminant Removal with Emerging Biological Treatments. *Limnological Review 2024, Vol. 24, Pages 126-149*, 24(2), 126–149. <https://doi.org/10.3390/LIMNOLREV24020007>
- Arias, R. N. A. (2018). *Tintes naturales de origen vegetal para uso en el teñido de hilo de fibra natural* [Universidad mayor de san andres]. <https://es.scribd.com/document/449536852/TES-1047>
- Arteaga, A. K. L., & Chugá, C. V. V. (2023). *Análisis de solidez al frote y sudor del color de la tintura por proceso Pad Batch con colorantes reactivos drimarene en tejido plano 100% CO* [Universidad técnica del norte]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/15091>

- Barreda, Á. F., Disederio, E., & Garnica, G. (2023). Efectos del teñido con la semilla de achiote (Bixa Orellana) en la solidez del color del hilo de alpaca. *Revista de Innovación y Transferencia Productiva - RITP, Volumen 4. Numero 2*. <https://doi.org/10.54353/ritp.v4i2.e002>
- Bonet, A. M. ángeles, Carvajal Endara, E. A., Bou Belda, E., & Chávez G, P. A. (2020). Teñido de lana por agotamiento con nanoarcillas y extractos de achiote (Bixa orellana). *AXIOMA, 1(22)*, 52–56. <https://doi.org/10.26621/xvi22.2020.06.a08.pucesi.2550.6684>
- Campos, R. C. (2017). Colorantes usados en textiles artesanales e industriales. análisis mediante espectroscopia raman de anilinas sintéticas [Universidad de Chile -Facultad de ciencias -Escuela de pregrado]. In *Universidad de Chile*. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/146562/Colorantes-usados-en-textiles-artesanales-e-industriales.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Carrasco, B. J., Sucasaca, A., Sanchez Gonzales, G., Morán Flores, G., & Barriga-Sánchez, M. (2022). Estudio preliminar de teñido de fibra de alpaca utilizando extracto acuoso de molle (*Schinus molle*) como pigmento natural. *Revista de Innovación y Transferencia Productiva, 2(1)*, e003. <https://doi.org/10.54353/ritp.v2i1.e003>
- Choque, A. R., & Hanco, A. L. E. (2018). *Influencia de las grandes industrias de tintes sintéticos, frente al uso de tintes naturales dentro del ámbito socio cultural en los artesanos de la Isla de Taquile, en el año 2017- Puno* [Universidad Nacional de San Agustín Repositorio:UNSA-Institucional]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6638>
- CITE Utcubamba Amazonas. (2017). *Manual de tintes naturales de plantas silvestres* (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo del Perú, Ed.).
- Cusi, C. W. (2022). *Optimización de parámetros para la extracción de pigmentos de la semilla de achiote (bixa orellana) por ultrasonido de potencia* [Universidad Nacional José María Arguedas Facultad De Ingeniería Escuela Profesional De Ingeniería AgroindustrialL]. <http://repositorio.unajma.edu.pe/handle/20.500.14168/667>
- Delgado, B. J. R. (2021). *Determinar los factores cuantitativos que inciden en el teñido de la fibra de vicuña*. Universidad Católica de Santa María.

- Esparza, E. J. D. (2016). *Estudio comparativo del nivel de contaminación de las aguas residuales generadas por los procesos textiles de tintura de lana, utilizando colorantes naturales y sintéticos* [Universidad Nacional SEK]. <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2441>
- García, C. A. R. (2018). *Elaboración de accesorios a partir de materiales textiles e hilos reciclados utilizando la técnica del enfieltramiento en lana* [Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7940>
- Hernández, S. R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (S. A. de C. V. McGraw-Hill/Interamericana Editores, Ed.; Sexta edición).
- Hernández, S. R., & Mendoza, T. C. Paulina. (2018). *Metodología de la investigación : las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (McGraw-Hill Education, Ed.; Primera edición). McGRAW-HILL Interamericana editores, S.A. de C. V.
- Huaraz, C. B. R., & Ramos, M. R. V. (2022). Metodología de la investigación. *Fondo Editorial UNAT*. <https://doi.org/10.56224/EDIUNAT.4>
- Hurtado, H. C. T., & Oviedo, H. M. A. (2020). *Evaluación de la sustitución de productos auxiliares en el proceso de teñido de poliamida a nivel laboratorio en protela S.A.* Fundación universidad de américa.
- Illa, C. C. P., & Tairo, H. G. (2015). *Teñido de fibra de alp.aca suri (Vicugna pacos):con carmín de cochinita (D11ctylopius coccus)* [Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/180>
- INACAL. (2019a). NTP 231.004:2014 (revisada el 2019). Textiles. Escala de grises para transferencia de color (manchado). 3a Edición. In *Instituto Nacional de Calidad*.
- INACAL. (2019b). NTP 231.005:2014 (revisada el 2019). Textiles. Escala de grises para cambio de color. 3a Edición. *Instituto Nacional de Calidad*.
- INACAL. (2019c). NTP 231.042:2009 (revisada el 2019) TEXTILES. Ensayos de solidez del color al frote. 2a Edición. *Instituto Nacional de Calidad*.
- INACAL. (2020). NTP 231.183:19986 (revisada al 2020) Textiles.Método para determinar la solidez del color a la luz solar en tejidos artesanales. 1aEdición. *Instituto Nacional de Calidad*.

- INACAL. (2022). NTP 231.008:2015 (revisada el 2022). Textiles. Ensayos de solidez del color al lavado. 2a Edición. *Instituto Nacional de Calidad*.
- INEI. (2012). IV Censo Nacional Agropecuario. In *Resultados Definitivos. IV Censo Nacional Agropecuario*.
- INIA. (2024). *Manual de manejo agronómico del achiote con fines de conservación* (1ª edición digital). Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA. <https://repositorio.inia.gob.pe/>
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, D. 132 anilina. (2020). Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. DLEP 132 Anilina 2020. *Ministerio de Trabajo y Economía Social*.
- International Wool Textile Organisation. (2022). *World Sheep Numbers & Wool Production*. www.iwto.org
- ITP. (2023). *Colorantes naturales para la industria textil a partir de residuos agroindustriales*. Instituto Tecnológico de la Producción.
- Huacani, P. F. M., Condori Rojas, N., Mamani, C. R. H., & Mamani, V. M. C. (2022). Parámetros productivos del ovino criollo. *Manglar*, 19(1), 77–84. <https://doi.org/10.17268/MANGLAR.2022.010>
- Mamani, P. E. J. (2022). *Efectos del teñido natural con cúrcuma (cúrcuma longa) en la solidez del color del hilado de alpaca para la artesanía textil, Puno 2020*. Universidad Nacional de Juliaca.
- Martínez, G., Martínez, J. A., García Hurtado, L., Cuaran, J. D., & Ocampo, Y. A. (2016). Pigmentos vegetales y compuestos naturales aplicados en productos cárnicos como colorantes y/o antioxidantes: revisión. *Inventum*, 11(21), 51–62. <https://doi.org/10.26620/UNIMINUTO.INVENTUM.11.21.2016.51-62>
- Mendoza, H. C. M. (2018). *Evaluación del tipo y cantidad de mordiente en la intensidad de color y solidez al lavado del teñido de fibra de alpaca (Vicugna pacos) con aliso (Alnus acuminata H.B.K.)* [Universidad Nacional de Huancavelica]. <https://hdl.handle.net/20.500.14597/2581>

- Ministerio de Comercio Exterior y Turismo del Perú. (2019). *Amazonas Reporte de Comercio Primer Semestre (RCR) 2019*. Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. <https://hdl.handle.net/20.500.14152/5484>
- Montgomery, D. C. (2020). *Design and analysis of experiments* (John Wiley, Ed.; 10th ed.).
- Muñoz, M. L. M., Diaz Ávila, J. D., & Albarracín Moreno, L. M. (2022). *Coloración de fibras textiles a partir de achiote*. <http://hdl.handle.net/10882/11987>
- New Jersey Department of Health. (2016). *Derecho a saber hoja informativa sobre sustancias peligrosas 1-Bromopropano*. <http://nj.gov/workplacehealthandsafety/right-to-know>
- Núñez, M. M. S., Moreno Albuja, M. del C., Moscoso Moreno, N. K., & Velasteguí López, E. (2023). Toxicidad de aguas residuales textiles en Ambato: evaluación del conocimiento de decisores. *Revista Universidad y Sociedad*, 15(2), 306–315. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202023000200306&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Ormachea, V. E., Alencastre D, R. G., Olivera M, L. V, Ormachea V, E., Alencastre D, R. G., & Olivera M, L. V. (2020). Índices zoométricos del ovino criollo en el centro experimental chuquibambilla, puno, Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 31(3). <https://doi.org/10.15381/RIVEP.V31I3.17139>
- Palacios, O. C., Guillén Serrano, M. E., & Siddons, D. C. (2021). Evaluación de la solidez del color en tejidos de lana y alpaca tinturados con biocolorantes extraídos de plantas y animales. *Revista Siembra*, 8(2), e2917. <https://doi.org/10.29166/siembra.v8i2.2917>
- Palacios, O. C., & Ullauri, N. (2020). Revalorización de métodos ancestrales de tinturado natural en las provincias de Loja y Azuay del sur de Ecuador. *Revista Siembra*, 7(1), 050–059. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i1.1914>
- Payes, A. E. B. (2017). *Obtención y caracterización fisicoquímica del extracto colorante del achiote (Bixa Orellana L.) a nivel laboratorio* [Tesis (Licenciatura), Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/6776/>
- Quenta, C. A. (2019). *Descripción del proceso de la elaboración de tintes artificiales chicheros cusco 2018* [Tesis (Licenciatura)]. Universidad Nacional de Jorge Basadre Grohmann - Tacna.

- Riba, M. M., Pacifico, S., Cayuela, D., Mijas, G., & Pizzicato, B. (2023). Avances en tintes naturales sostenibles para aplicaciones textiles. *Molecules* 2023, Vol. 28, 28(16). <https://doi.org/10.3390/MOLECULES28165954>
- Rojas, A. M. L., & Lescano, M. S. G. (2018). *Roducción y exportación de hilo de lana de ovino teñido con tintes vegetales como factor de desarrollo sostenible de las 13 asociaciones de artesanos ubicadas en el distrito de Incahuasi, provincia de Ferreñafe, región Lambayeque* [Tesis (Licenciatura), Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/4470>
- Rudroff, F., Oprea, I., Fleck, K., & Fried, R. (2022). Colorantes biogénicos en la industria textil: una alternativa prometedora y sostenible a los tintes sintéticos. *Green Chemistry*, 24(1), 13–35. <https://doi.org/10.1039/D1GC02968A>
- Silva, E. (2024). El colorido conflicto de la moda con nuestro planeta. *Centro de Estudios de Diseño y Comunicación*, 217, 301–308. <https://doi.org/10.18682/cdc.vi217.11244>
- Sucasaca Quispe, A., & Guevara Garnica, E. D. (2020). Efectos del colorante natural inflorescencia de colli (Buddleja Coriacea) en la solidez de color de teñido de fibras de alpaca. *Revista de Innovación y Transferencia Productiva*, 1(2), e003–e003. <https://doi.org/10.54353/RITP.V1I2.E003>
- 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>
- Tapia, P. S. M. (2023). *Evaluación de la fibra de alpaca (Lama pacos) teñido con colorante del tallo de tankar (Berberis boliviana L.) a distintos mordientes y parámetros*. Universidad nacional micaela bastidas de apurímac facultad de ingeniería.
- Tazina, S., Nusrat Jahan Ruma, & Abdul Basit. (2024). Assessing the financial and environmental impact of natural dyes and mordants: ROI and sustainability metrics in sonication-assisted dyeing. *Open Access Research Journal of Science and Technology*, 12(2), 124–135. <https://doi.org/10.53022/oarjst.2024.12.2.0125>

- TesTex. (2017). *¿Qué es la solidez del color de las telas teñidas, cómo probar la solidez del color al lavado - Testex?* <https://www.testextextile.com/es/solidez-del-color-tinte-de-introducción-solidez-del-color-lavado/>
- Vaca, C. M. L., Hidalgo Almeida, L. E., Vaca Cárdenas, M. E., & Núñez Mazza, K. A. (2020). Aplicación de diferentes tintes naturales para la obtención de hilo orgánico de lana de ovino. *Revista Polo Del Conocimiento*, 5(8), 1095–1113. <https://doi.org/10.23857/pc.v5i8.1646>
- Vega, P. P. I. (2023). *Extracción de pigmentos naturales y teñido textil sustentables* [Tesis]. Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajato.
- Vele, C. M. A. (2017). *Colorantes naturales textiles utilizados en la parroquia Tarqui* [Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7083>
- Xicota, E. (2016, February 4). *Ecotintes y tintes naturales en el Perú*. <https://www.esterxicota.com/>
- Zaruma, A. P. E., Proal Nájera, J. B., Chaires Hernández, I., & Salas Ayala, H. I. (2018). Los colorantes textiles industriales y tratamientos óptimos de sus efluentes de agua residual: Una breve revisión textile industrial. *Revista de La Facultad de Ciencias Químicas*, 19.
- Zúñiga, R. J. A. (2011). *Evaluación de tres niveles de sulfato de cromo en la fijación de anilina para tinturar lana de ovinos* [Tesis de grado]. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

ANEXOS

Anexo 1: Ficha de validación de instrumentos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA
INVESTIGACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres : CARRASCO BOCANGEL JOSE LUIS
 1.2. Grado Académico : INGENIERO INDUSTRIAL
 1.3. Institución que labora : CITE TEXTIL CAMELIDOS AREQUIPA
 1.4. Título de Investigación : “Efectos del colorante natural (achiote - bixa orellana) en la solidez de color en el hilado de lana de ovino, puno – 2023”
 1.5. Autor del Instrumento : Turpo Chipana Erika
 1.6. Mención : Ficha de registros
 1.7. Nombre del Instrumento: Ficha para registros de recolección de datos de solidez de color al lavado, al frote y a la luz.

II. ASPECTOS A EVALUAR

INDICADORES DE EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO	CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE PRUEBAS DE SOLIDEZ DE COLOR AL LAVADO, AL FROTE Y A LA LUZ	Deficiente (1-9)	Regular (10-12)	Bueno (12-15)	Muy bueno (15-18)	Excelente (18-20)
		1	2	3	4	5
CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado				X	
OBJETIVIDAD	Esta expresado y adecuado a (NTP 231.008: 2015 – revisada el 2022), (NTP 231.042: 2019 – revisada el 2019) y (NTP 231.183: 1986 – revisada el 2020) TEXTILES					X
ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos de la investigación y las necesidades reales				X	
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica					X
SUFICIENCIA	Se a considerado los principales aspectos metodológicos				X	
INTENCIONALIDAD	Adecuado para evaluar las variables independientes y dependientes					X
CONSISTENCIA	Basado en el aspecto teórico, técnica y/o científica					X
COHERENCIA	Entre las variables y dimensiones				X	
METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito de estudio					X
CONVENIENCIA	El diseño demuestra la relación entre los componentes de la investigación y su aplicación según la normativa textil.					X
SUB TOTAL					16	30
TOTAL		46				

Valoración Cuantitativa (Total X 0.4) :18.4.....

Valoración Cuantitativa : ... Valido

Opinión de Aplicabilidad : ... aplicable

ESCALA DE VALORACION	
Deficiente	De 1 a 9 (no valida, reformar)
Regular	De 10 a 12 (no valido, modificar)
Bueno	De 12 a 15 (valida, mejorar)
Muy bueno	De 15 a 18 (valido precisar)
Excelente	De 18 a 20 (valido, aplicable)



 JOSE LUIS CARRASCO BOCANGEL
 INGENIERO INDUSTRIAL
 CIP N° 346672
Firma del experto
DNI: 40010725

Anexo 2: Ficha de validación de instrumentos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA INVESTIGACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres : SUCASACA QUISPE ALEXANDER
- 1.2. Grado Académico : INGENIERO TEXTIL Y DE CONFECCIONES
- 1.3. Institución que labora : UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
- 1.4. Título de Investigación : “Efectos del colorante natural (achiote - bixa orellana) en la solidez de color en el hilado de lana de ovino, puno – 2023”
- 1.5. Autor del Instrumento : Turpo Chipana Erika
- 1.6. Mención : Ficha de registros
- 1.7. Nombre del Instrumento: Ficha para registros de recolección de datos de solidez de color al lavado, al frote y a la luz.

II. ASPECTOS A EVALUAR

INDICADORES DE EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO	CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE PRUEBAS DE SOLIDEZ DE COLOR AL LAVADO, AL FROTE Y A LA LUZ	Deficiente (1-9)	Regular (10-12)	Bueno (12-15)	Muy bueno (15-18)	Excelente (18-20)
		1	2	3	4	5
CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado				X	
OBJETIVIDAD	Esta expresado y adecuado a (NTP 231.008: 2015 – revisada el 2022), (NTP 231.042: 2019 – revisada el 2019) y (NTP 231.183: 1986 – revisada el 2020) TEXTILES				X	
ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos de la investigación y las necesidades reales				X	
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica					X
SUFICIENCIA	Se a considerado los principales aspectos metodológicos				X	
INTENCIONALIDAD	Adecuado para evaluar las variables independientes y dependientes					X
CONSISTENCIA	Basado en el aspecto teórico, técnica y/o científica					X
COHERENCIA	Entre las variables y dimensiones					X
METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito de estudio				X	
CONVENIENCIA	El diseño demuestra la relación entre los componentes de la investigación y su aplicación según la normativa textil.					X
SUB TOTAL					20	25
TOTAL					45	

Valoración Cuantitativa (Total X 0.4) :18.....

Valoración Cuantitativa : .Valido.....

Opinión de Aplicabilidad : .aplicable.....

ESCALA DE VALORACION	
Deficiente	De 1 a 9 (no valida, reformar)
Regular	De 10 a 12 (no valido, modificar)
Bueno	De 12 a 15 (valida, mejorar)
Muy bueno	De 15 a 18 (valido precisar)
Excelente	De 18 a 20 (valido, aplicable)



 Alexander Sucasaca Quispe
 ING. TEXTIL Y DE CONFECCIONES
CIP. 336296.....
Firma del experto
DNI: 74311692

Anexo 3: Ficha de validación de instrumentos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA
INVESTIGACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres : Mg. FARFAN FLORES JUAN AMERICO
- 1.2. Grado Académico : MAGISTER EN EDUCACIÓN, MENCIÓN EN INVESTIGACION Y DOCENCIA EN EDUCACION SUPERIOR
- 1.3. Institución que labora : UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
- 1.4. Título de Investigación : “Efectos del colorante natural (achiote - bixa orellana) en la solidez de color en el hilado de lana de ovino, puno – 2023”
- 1.5. Autor del Instrumento : Turpo Chipana Erika
- 1.6. Mención : Ficha de registros
- 1.7. Nombre del Instrumento: Ficha para registros de recolección de datos de solidez de color al lavado, al frote y a la luz.

II. ASPECTOS A EVALUAR

INDICADORES DE EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO	CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE PRUEBAS DE SOLIDEZ DE COLOR AL LAVADO, AL FROTE Y A LA LUZ	Deficiente (1-9)	Regular (10-12)	Bueno (12-15)	Muy bueno (15-18)	Excelente (18-20)
		1	2	3	4	5
CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado				X	
OBJETIVIDAD	Esta expresado y adecuado a (NTP 231.008: 2015 – revisada el 2022), (NTP 231.042: 2019 – revisada el 2019) y (NTP 231.183: 1986 – revisada el 2020) TEXTILES					X
ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos de la investigación y las necesidades reales					X
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica				X	
SUFICIENCIA	Se a considerado los principales aspectos metodológicos					X
INTENCIONALIDAD	Adecuado para evaluar las variables independientes y dependientes				X	
CONSISTENCIA	Basado en el aspecto teórico, técnica y/o científica					X
COHERENCIA	Entre las variables y dimensiones					X
METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito de estudio					X
CONVENIENCIA	El diseño demuestra la relación entre los componentes de la investigación y su aplicación según la normativa textil.					X
SUB TOTAL					12	35
TOTAL					47	

Valoración Cuantitativa (Total X 0.4) :18.8.....

Valoración Cuantitativa : ... Valido.....

Opinión de Aplicabilidad : aplicable.....

ESCALA DE VALORACION	
Deficiente	De 1 a 9 (no valida, reformar)
Regular	De 10 a 12 (no valido, modificar)
Bueno	De 12 a 15 (valida, mejorar)
Muy bueno	De 15 a 18 (valido precisar)
Excelente	De 18 a 20 (valido, aplicable)



 Firma del experto
 DNI: 28911342.

Anexo 4: Ficha de validación de instrumentos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA INVESTIGACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres : MAMANI PUMA ELIDA JHUDITH
 1.2. Grado Académico : INGENIERO TEXTIL Y DE CONFECCIONES
 1.3. Institución que labora : AGROIDEAS
 1.4. Título de Investigación : “Efectos del colorante natural (achiote - bixa orellana) en la solidez de color en el hilado de lana de ovino, puno – 2023”
 1.5. Autor del Instrumento : Turpo Chipana Erika
 1.6. Mención : Ficha de registros
 1.7. Nombre del Instrumento: Ficha para registros de recolección de datos de solidez de color al lavado, al frote y a la luz.

II. ASPECTOS A EVALUAR

INDICADORES DE EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO	CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE PRUEBAS DE SOLIDEZ DE COLOR AL LAVADO, AL FROTE Y A LA LUZ	Deficiente (1-9)	Regular (10-12)	Bueno (12-15)	Muy bueno (15-18)	Excelente (18-20)
		1	2	3	4	5
CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado				X	
OBJETIVIDAD	Esta expresado y adecuado a (NTP 231.008: 2015 – revisada el 2022), (NTP 231.042: 2019 – revisada el 2019) y (NTP 231.183: 1986 – revisada el 2020) TEXTILES					X
ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos de la investigación y las necesidades reales					X
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica					X
SUFICIENCIA	Se ha considerado los principales aspectos metodológicos				X	
INTENCIONALIDAD	Adecuado para evaluar las variables independientes y dependientes					X
CONSISTENCIA	Basado en el aspecto teórico, técnica y/o científica				X	
COHERENCIA	Entre las variables y dimensiones				X	
METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito de estudio				X	
CONVENIENCIA	El diseño demuestra la relación entre los componentes de la investigación y su aplicación según la normativa textil.					X
SUB TOTAL					20	25
TOTAL		45				

Valoración Cuantitativa (Total X 0.4) :18.....

Valoración Cuantitativa : Valido

Opinión de Aplicabilidad : Aplicable

ESCALA DE VALORACION	
Deficiente	De 1 a 9 (no valida, reformar)
Regular	De 10 a 12 (no valido, modificar)
Bueno	De 12 a 15 (valida, mejorar)
Muy bueno	De 15 a 18 (valido precisar)
Excelente	De 18 a 20 (valido, aplicable)



Elida J. Mamani Puma
 ING. TEXTIL Y DE CONFECCIONES
 CIP: 938872
Firma del experto
DNI: 73121976

Anexo 5: Constancia de CITEtextil camélidos Arequipa



The certificate is presented on a white background with a subtle wavy pattern. It features a red and gold decorative border on the left and top. At the top left, there is a logo for the Peruvian Ministry of Production. At the top right, the logo for ITP red CITE is displayed. The main text is centered and includes the recipient's name, a detailed description of the experimental work, and the date of issuance. Two digital signatures are provided at the bottom, one for the Director and one for a specialist. The CITEtextil camélidos Arequipa logo is located at the bottom right.

 **PERÚ** Ministerio de la Producción

 Instituto Tecnológico de la Producción

CONSTANCIA

El Instituto Tecnológico de la Producción, otorga la presente constancia a:

ERIKA TURPO CHIPANA

Por llevar a cabo el proceso experimental del desarrollo de su plan de investigación “EFECTOS DEL COLORANTE NATURAL (Achiote - Bixa orellana) EN LA SOLIDEZ DE COLOR EN EL HILADO DE LANA DE OVINO, PUNO - 2023”. Se llevaron a cabo ensayos de extracción de pigmentos, solidez del color al frote en seco y húmedo, solidez del color lavado y solidez del color a la luz. Los ensayos de laboratorio fueron llevados a cabo en las instalaciones del Centro de Innovación Productiva y Transferencia Tecnológica – CITE Textil Camélidos Arequipa.

 Firmado digitalmente por CHIRINOS TOVAR Guido Michel David FAU 20131309477 soft Motivo: Soy el autor del documento Fecha: 01.12.2025 16:08:11 -05:00

 Firmado digitalmente por CARRASCO BOCANGEL Jose Luis FAU 20131309477 soft Motivo: Soy el autor del documento Fecha: 01.12.2025 16:43:17 -05:00

Arequipa, 01 de diciembre del 2025

Ing. Guido Michel David Chirinos Tovar
Director
CITE Textil Camélidos Arequipa

Ing. José Luis Carrasco Bocangel
Especialista en Línea Húmeda y Teñido
CITE Textil Camélidos Arequipa

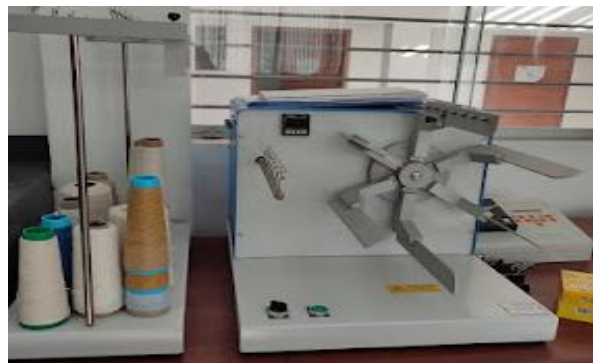
CITEtextil camélidos
Arequipa

Anexo 6: Fotografía de equipos

balanza analítica Satuarios (1000 g)



Madeira dora y analizador de títulos (ASPE)



Datacolor AHIBA IR



EUROTECH (DRY OVEN DHG-9053^a)
(programable T° y t)



Lauderometro (WATER COLOUR
FASTNESS TESTER) MODEL.AC10-
8A



crockmeter electrónico de marca SDLATLAS
M23888



escala de grises transferencia de color y cambio de color



Anexo 7: Fotografía de materiales

Tejido testigo blanco de algodón



Multifibra



Detergente



Hilado de lana de ovino



Anexo 8: Fotografías de proceso de recolección de achiote (*Bixa orellana*)

Recolección de achiote



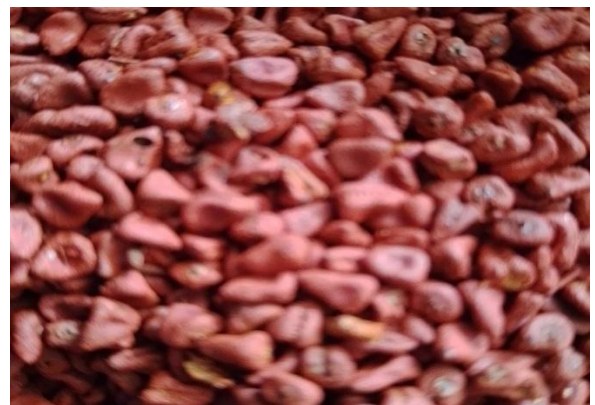
Clasificación



desencapsular



secado



Anexo 9: Fotografías del proceso de extracción de colorante

Mediar agua de acuerdo a la relación de baño 1/30



pesado



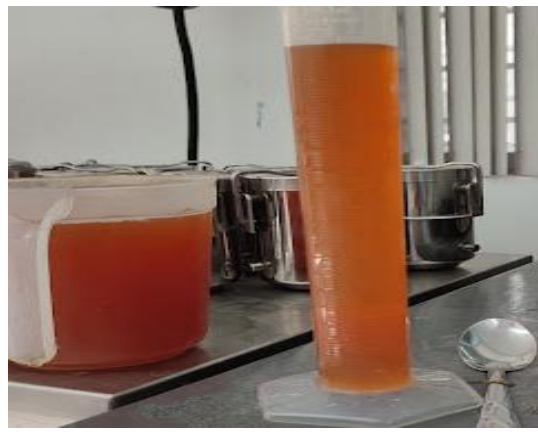
Incorporar el achiote previamente pesado

someter la solución al proceso de hervido



Filtrar la mezcla para separar el extracto de los residuos

El extracto de achiote obtenido



Anexo 10: Fotografías del proceso de teñido

Cuantificación de las muestras pesar promedio 4 gramos 20 metros



Lavado y humectación de la lana



Medición del extracto en vasos de precipitados para la etapa de teñido.



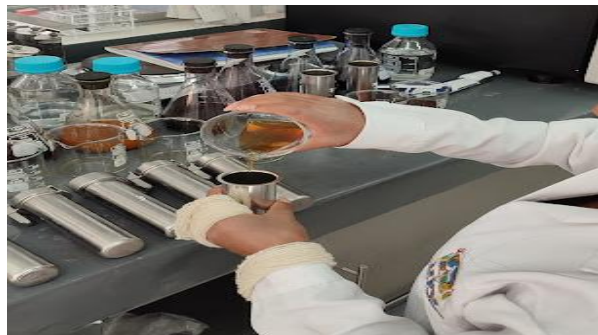
Agregar los mordientes al extracto



transferir el extracto colorante al contenedor



Se incorpora la muestra de lana al contenedor



Sumergir completamente



Ajustar el contenedor



Codificar las muestras para su adecuada identificación



Acondicionar el equipo



Colocar los contenedores en el equipo



Retirar los contenedores y enjuagar las muestras



Retirar las muestras, codificarlas



proceder al secado



Resultado



Anexo 11: Fotografías del proceso de solidez al lavado

Solidez al lavado

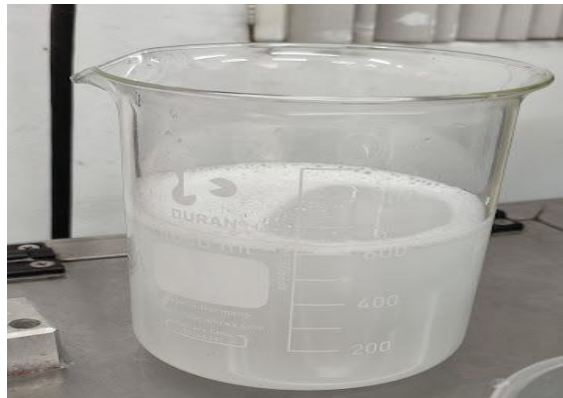
Se pesó la muestra de lana teñida y el tejido multifibra correspondiente



Se cosió la muestra de lana teñida con el tejido multifibra



Se disolvió el detergente



Incorporar las villas al contenedor



Agregar la solución con detergente



Colocar los contenedores en el equipo



Retirar las muestras del equipo al finalizar el ciclo de lavado



Descoser la multifibra de la muestra y proceder al secado



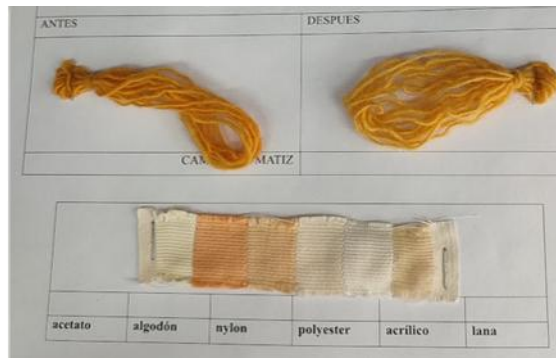
Programar el equipo de solidez al lavado con el tiempo y la temperatura establecidos en la norma



Lavar las muestras



Evaluar



Anexo 12: Fotografías del proceso de solidez al frote

Preparar la muestra



Colocar la muestra teñida en el portamuestra del equipo de frote



Colocar la muestra y Testfabric en el Crockmeter.



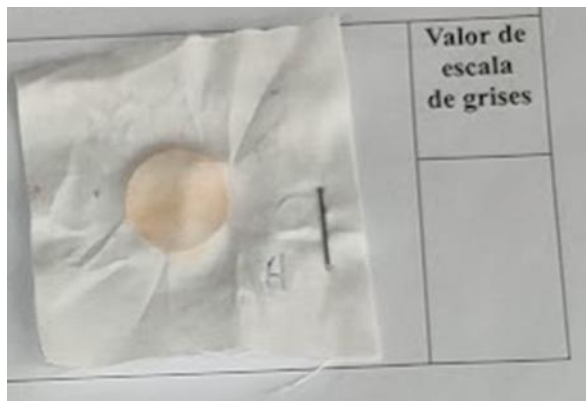
Realizar el ensayo



Retirar las muestras del equipo

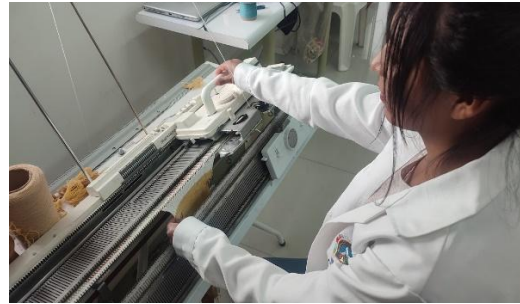


evaluar



Anexo 13: Fotografías del proceso de solidez a la luz

Tejer las muestras



cubre aproximadamente la mitad de la muestra



Anexo 14: Recetario de extracción de colorante de achiote (*Bixa orellana*)

Recetario de extracción de colorante de achiote (*Bixa orellana*)

Nombre del procedimiento: Obtención del colorante natural de semillas de achiote

1. Recolección y selección (Referencia normativa: NTP 209.200:1982 (revisada 2018))

Materia prima e insumos

- Frutos maduros de achiote.
- Agua blanda



Operaciones:

- Recolectar frutos maduros de achiote
Seleccionar semillas sanas y libres de impurezas.
- Limpiar.
- Secar a la sombra, evitando la exposición directa al sol.



1. Procedimiento de extracción de colorante

Equipos y materiales

- Recipientes de acero inoxidable.
- Colador anatómico.
- Balanza.
- Fuente de calor.
- Termómetro.



Pesado

- Pesar semillas según relación planta/sustrato:
12.5 % → 12.5 g.
25 % → 25 g.
- Relación de baño: 1/30.



Extracción (decocción sólida-líquido)

- Colocar 12.5 g o 25 g de semillas en 3 L de agua + 0.5 L adicional.
- Calentar hasta ebullición (90 °C).
- Mantener a fuego lento durante **60 minutos**.



Filtrado

- Dejar enfriar el colorante extraído hasta 30 °C.
- Filtrar con colador anatómico para separar los sólidos.



Baño tintóreo

- Conservar el líquido filtrado en recipiente limpio.
- Utilizar directamente en el teñido de lana de ovino.

Resultado

- Extracto colorante natural de achiote listo para ser aplicado en el proceso de teñido.



Anexo 15: Cálculos previos al teñido

Cálculos previos al teñido

Cálculo del título del hilado

Título del hilado

$$Nm = \frac{\text{longitud}}{\text{peso}} = \frac{20}{4.075} = 4.9079$$

El hilado de lana de ovino tiene un título de Nm 5/1

1. Pesaje

El pesado se realizó en una balanza analítica para cada muestra un promedio de 4 gramos de hilado de lana de ovino

2. Cálculo de relación de baño

Se trabajó con un promedio de peso de hilado 4.00 gramos con relación de baño es 1/30, es decir que por 1 g de hilado de lana de ovino se requiere 30 ml de volumen tintóreo

$$RB = (1/30) = (\text{peso de hilado}) \times 30$$

Remplazando:

$$RB (1/30) = (4.00) \times 30 = 120 \text{ ml}$$

Por lo tanto, para un peso de 4.00 g de hilado se requieren 120 ml de volumen tintóreo.

3. Cálculo de la cantidad de mordiente para cada tratamiento

Fórmula general:

Cantidad de mordiente = volumen tintóreo x concentración de mordiente

a). Calculo para 5 g/L

$$\text{Cantidad de mordiente} = \text{volumen tintóreo} \times 5 \text{ g/L}$$

Remplazando:

$$\text{Cantidad de mordiente} = 120 \text{ ml} \times 5 \text{ g/L} = 0.60 \text{ g}$$

b). Calculo para 1 g/L

$$\text{Cantidad de mordiente} = \text{volumen tintóreo} \times 1 \text{ g/L}$$

Remplazando:

$$\text{Cantidad de mordiente} = 120 \text{ ml} \times 1 \text{ g/L} = 0.120 \text{ g}$$

NOTA: Si se trabaja con hilados en mayor cantidad, los valores de volumen de baño tintóreo y de mordiente pueden determinarse mediante una regla de tres simple, considerando la relación inicial establecida (1:30 y 1 g/L o 5 g/L respectivamente).

Para los procesos de teñido artesanal, se recomienda tomar como referencia la **NTP 202.500:2023 “Tintes naturales y teñidos artesanales. Proceso de teñido artesanal”**.

Anexo 16: Recetario de teñido

Recetario de teñido

Nombre del procedimiento: Lavado y teñido de hilado de lana de ovino con mordientes

Referencia normativa:

Etapas: Lavado previo

Materiales

- Balanza.
- 1 g de detergente ALPACEL.
- 1000 ml de agua (temperatura ambiente).
- 4 g de hilado de lana de ovino.

Procedimiento:

- Preparar la solución: disolver 1 g de detergente ALPACEL en 1000 ml de agua.
- Pesar las madejas y calcular relación de baño.
- Introducir el hilado (60 g) en la solución hasta cubrirlo completamente, mantener sumergido durante 15 minutos y retirar y escurrir suavemente

Etapas: Teñido

Materiales e insumos:

- Hilado de lana de ovino lavado y escurrido.
- Solución tintórea (extracto vegetal).
- Mordientes: (sulfato de aluminio y sulfato de hierro)
- Agua destilada, Vaso precipitado y Probeta.

Equipos

- Datacolor AHIBA IR (equipo de teñido).

Procedimiento:

- Medir el volumen de la solución tintórea en probeta y transferir a vaso precipitado.
- Incorporar el mordiente seleccionado (sulfato de hierro o sulfato de aluminio) hasta su completa disolución.
- Colocar mezcla tintórea + mordiente + madejas en envases de acero.
- Cerrar herméticamente y programar el equipo Datacolor AHIBA IR con los parámetros de estudio.
- Al finalizar, retirar los envases y dejar enfriar.
- Enjuagar con abundante agua hasta que el líquido salga limpio.
- Secar (35°C).



Anexo 17: Recetario de solidez al lavado

Recetario de solidez al lavado

Nombre del procedimiento: Ensayo de solidez al lavado

Referencia normativa: NTP 231.008:2015, rev. 2022

Materiales e insumos

- Muestra teñida (5 cm × 15 cm) para la opción 2A: hilado de 110 m (120 yardas), doblado a 5 cm de ancho.
- Tejido testigo blanco de algodón, multifibra de 8mm (acetato, algodón, nylon, poliéster, acrílico y lana).
- Detergente estándar AATCC 1993 – WOB (sin blanqueador óptico): 0.22 g.
- Agua destilada: 150 ml.
- 50 esferas de acero.

Equipos

- Launderómetro (Water Colour Fastness Tester, Model AC10-8A)
- Estufa de secado
- Cabina de luz.
- Escala de grises para transferencia de color

Procedimiento

- Coser muestra teñida + multifibra + algodón testigo.
- Preparar baño con 150 ml de agua + 0.22 g detergente.
- Introducir muestras en el contenedor con 50 esferas.
- Precalentar 2 min y mantener 45 min a 49 °C.
- Retirar, enjuagar cada espécimen 3 veces (1 min cada una).
- Secar en estufa 15 min.
- Evaluar en cabina de luz con escala de grises.

Resultado esperado

- Transferencia de color aceptable ≥ 3 (escala de grises).



Recetario de solidez al frote

Nombre del procedimiento: Ensayo de solidez al frote

Referencia normativa: NTP 231.042:2009, rev. 2019

Materiales e insumos

- Muestra de hilado de lana de ovino (5 × 13 cm).
- Cartón prensado (para enrollar la muestra).
- Tejido testigo blanco de algodón

Equipos

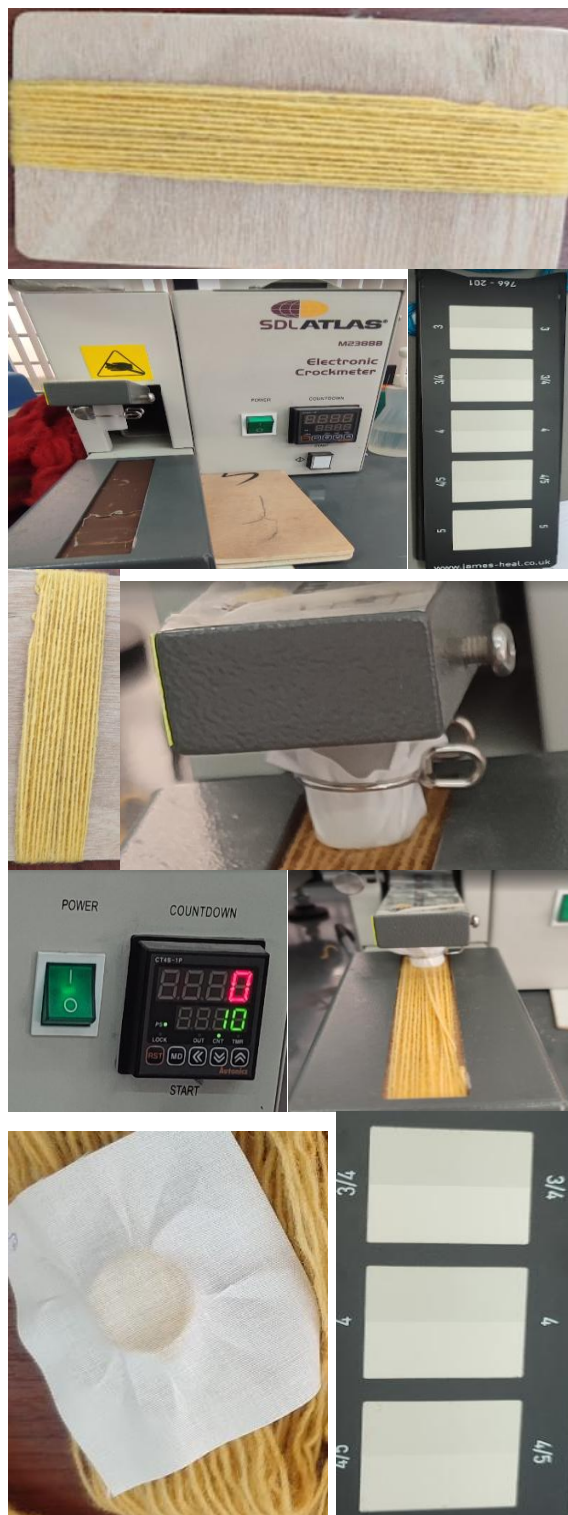
- Crockmeter M238BB modelo CM.
- Cabina de luz.
- Escala de grises para transferencia de color (NTP 231.005:2014, rev. 2019).

Preparación y procedimiento

- Enrollar el hilado de lana sobre cartón prensado en sentido longitudinal (dimensiones: 5 × 13 cm).
- Colocar el espécimen en la base del Crockmeter.
- Sujetar el tejido testigo blanco de algodón (5 × 5 cm) en el brazo deslizante del equipo.
- Programar el equipo para 10 giros completos (1 giro/segundo), equivalentes a 20 frotaciones (ida y vuelta).
- Retirar el tejido testigo blanco de algodón tras la frotación.
- Evaluar la transferencia de color en cabina de luz con escala de grises.

Resultado

- Transferencia de color aceptable ≥ 3 (escala de grises).



Anexo 19: Recetario de solidez a la luz

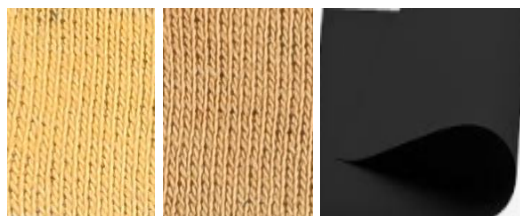
Recetario de solidez a la luz

Nombre del procedimiento: Ensayo de solidez del color a la luz solar

Referencia normativa: NTP 231.183:1986, revisada en 2020

Materiales e insumos

- Hilado teñido de lana de ovino tejido (4 × 10 cm).
- Cartulina negra (para montaje y cobertura parcial).



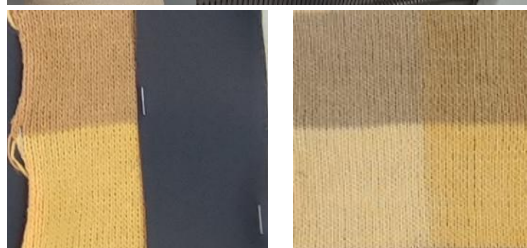
Equipos

- Máquina de tejido a punto manual.
- Cabina de luz.
- Escala de grises para cambio de color (NTP 231.005:2014, rev. 2019).



Preparación y procedimiento

- Tejer las muestras de hilado teñido en dimensiones de 4 × 10 cm.
- Fijar cada muestra sobre cartulina negra.
- Cubrir la mitad de la muestra con cartulina (referencia).
- Exponer las muestras a la luz solar 12 horas diarias, en intervalos de 4 horas, durante 3 días (10:00 – 14:00 h).
- Proteger de la lluvia durante la exposición.
- Retirar la cobertura parcial y observar el posible cambio de color.
- Evaluar el cambio de color en cabina de luz con escala de grises.



Resultado esperado

- Valores de solidez ≥ 3 en escala de grises (aceptables)



Anexo 20: Matriz de tesis

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD/ CATEGORIA	METODOLOGIA
Problema principal: ¿Cuál es el efecto del colorante natural extraído de achiote (<i>Bixa orellana</i>) en la solidez de color del hilado de lana de ovino, Puno - 2023?	Objetivo General: Evaluar los efectos colorantes natural (achiote - <i>Bixa orellana</i>) en la solidez de color al lavado en el hilado de lana de ovino, Puno – 2023	Hipótesis Principal: El colorante natural del achiote (<i>Bixa orellana</i>) tiene efecto significativamente en la solidez del color en el hilado de lana de ovino, Puno – 2023.	Variable independiente: Colorante natural de semilla (achiote – <i>Bixa orellana</i>)	Tipo de mordiente Relación planta/ sustrato (g) Concentración de mordiente (g/l) Tiempo de teñido (curva de teñido)	Sulfato de aluminio Sulfato de hierro 12.5 25 1 5 30 60	gramo gramo % % g/L g/L Minutos Minutos	Tipo y nivel de investigación: Tipo de investigación: Experimental Nivel de investigación: Investigación Explicativo Diseño de investigación: Diseño factorial 2 ⁵ Población: Está conformado por el hilado de lana de ovino - Puno Muestra: Muestreo no probabilístico
Problemas específicos: ¿Qué efecto tiene el colorante natural (achiote - <i>Bixa orellana</i>) en la solidez de color al lavado en el hilado de lana de ovino, Puno - 2023? ¿Qué efecto tiene el colorante natural (achiote - <i>Bixa orellana</i>) en la solidez de color al frote en el hilado de lana de ovino, Puno - 2023? ¿Qué efecto tiene el colorante natural (achiote - <i>Bixa orellana</i>) en la solidez de color a la luz en el hilado de lana de ovino, Puno - 2023?	Objetivos específicos: Evaluar el efecto de colorante natural (Achiote - <i>Bixa orellana</i>) en la solidez de color al lavado en el hilado de lana de ovino, Puno - 2023. Evaluar el efecto de colorante natural (Achiote - <i>Bixa orellana</i>) en la solidez de color al frote en el hilado de lana de ovino, Puno - 2023 Evaluar el efecto de colorante natural (Achiote - <i>Bixa orellana</i>) en la solidez de color a la luz en el hilado de lana de ovino, Puno - 2023.	Hipótesis específicas: El colorante natural de achiote (<i>Bixa orellana</i>) tiene efecto significativamente en la solidez del color al lavado en el hilado de lana de ovino. El colorante natural de achiote (<i>Bixa orellana</i>) tiene efecto significativamente en la solidez del color al frote en el hilado de lana de ovino. El colorante natural de achiote (<i>Bixa orellana</i>) tiene efecto significativamente en la solidez del color a la luz en el hilado de lana de ovino.	Variable dependiente: Solidez del color	Temperatura de teñido (curva de teñido) Solidez del color al lavado (NTP 231.008: 2015 – revisada el 2022), Solidez del color al frote (NTP 231.042: 2019 – revisada el 2019) Solidez del color a la luz (NTP 231.183: 1986 – revisada el 2020)	85 98 El grado de transferencia de color El grado de transferencia de color o manchado El grado de transferencia de color o manchado	°C °C 5 (Excelente) 4-5 (Muy bueno) 4 (Bueno) 3-4 (Regular - Bueno) 3 (Regular) 2-3 (Mediano) 2 (Bajo) 1-2 (Deficiente-Malo) 1 (malo)	Técnicas: Experimental observacional Ficha de tonalidades Observación: Prueba estadística específica Ficha técnica de recolección de datos Procedimiento: Teñido del hilado de lana de ovino con el colorante de achiote (<i>Bixa orellana</i>) Se evalúa la solidez de en el teñido mediante la prueba de solidez al lavado, la solidez a la luz y solidez al frote



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA