



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



**“COMPORTAMIENTO DE LA QUEÑUA (Polylepis) COMO  
COLORANTE NATURAL EN LA SOLIDEZ DEL COLOR  
DEL TEÑIDO DE LANA DE OVINO CORRIEDALE  
PARA LA ARTESANIA TEXTIL PUNO, 2024”**

**Deysi Angélica Vilca García**

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

**Asesor: Dr. Julio César Huanca Marín**



**Juliaca, 2025**



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



**“COMPORTAMIENTO DE LA QUEÑUA (Polylepis) COMO  
COLORANTE NATURAL EN LA SOLIDEZ DEL COLOR  
DEL TEÑIDO DE LANA DE OVINO CORRIEDALE  
PARA LA ARTESANIA TEXTIL PUNO, 2024”**

**Deysi Angélica Vilca García**

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

**Asesor: Dr. Julio César Huanca Marín**



**Juliaca, 2025**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS**

**INDUSTRIALES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TEXTIL Y DE**

**CONFECCIONES**



**“COMPORTAMIENTO DE LA QUEÑUA (*Polylepis*) COMO  
COLORANTE NATURAL EN LA SOLIDEZ DEL COLOR DEL TEÑIDO  
DE LANA DE OVINO CORRIEDALE PARA LA ARTESANIA TEXTIL  
PUNO, 2024”**

Nombres y Apellidos del tesista

**Deysi Angélica Vilca García**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

**INGENIERO TEXTIL Y DE CONFECCIONES**

**ASESOR:**

**Dr. Julio César Huanca Marín**

Juliaca, 2025

## FICHA CATALOGRÁFICA

*Vilca, D. (2024). Comportamiento de la queñua (polylepis) como colorante natural en la solidez del color del teñido de lana de ovino corriedale - Puno,2024". (Tesis de Ingeniería). Universidad Nacional de Juliaca.*

**AUTOR:** Deysi Angélica Vilca García

**TÍTULO:** Comportamiento de la queñua (*polylepis*) como colorante natural en la solidez del color del teñido de lana de ovino corriedale - Puno,2024". (Tesis de Ingeniería). Universidad Nacional de Juliaca

**PUBLICACIÓN:** Juliaca, 2025

**DESCRIPCIÓN:** Cantidad de páginas (144p.)

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

**CÓDIGO:** 04-000033-04/V65

**NOTA:** Incluye bibliografía.

**ASESOR:** Dr. Julio César Huanca Marín

**PALABRAS CLAVE:** Polylepis, solidez del color, lana de ovino, teñido natural.

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

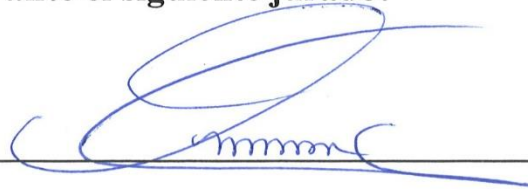
**“COMPORTAMIENTO DE LA QUEÑUA (*Polylepis*) COMO**  
**COLORANTE NATURAL EN LA SOLIDEZ DEL COLOR DEL TEÑIDO**  
**DE LANA DE OVINO CORRIEDALE - PUNO, 2024”**  
**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO TEXTIL Y DE**  
**CONFECCIONES**

**Presentada por:**

**Vilca García, Deysi Angélica**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

**Dra. Dominga Micaela Cano Ccoa**



**PRESIDENTE DE JURADO**

**M.Sc. Luz Delia Quina Quina**



**JURADO (secretario)**

**2° MIEMBRO**

**Mtra. Roxana Tacuri Robles**



**JURADO (Vocal)**

**3° MIEMBRO**



**DR. Julio Cesar Huanca Marin**

**ASESOR**

# DEYSI ANGÉLICA VILCA GARCÍA

## COMPORTAMIENTO DE LA QUEÑUA (Polylepis) COMO COLORANTE NATURAL EN LA SOLIDEZ DEL COLOR DEL TEÑI...

 Universidad Nacional de Juliaca

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:593257814

162 páginas

Fecha de entrega

20 may 2026, 11:53 a.m. GMT-5

34.155 palabras

Fecha de descarga

20 may 2026, 12:02 p.m. GMT-5

191.317 caracteres

Nombre del archivo

COMPORTAMIENTO DE LA QUEÑUA (Polylepis) COMO COLORANTE NATURAL EN LA SOLIDEZ DEL ....pdf

Tamaño del archivo

4.4 MB



Firmado digitalmente por HUANGA  
SUAQUITA JHON REYNARD  
DN: c=PE, o=UNU  
Motivo: Soy yo mismo  
Fecha: 20.05.2026 19:41:26 -05:00




# 14% 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
- 2%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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.

## **DEDICATORIA**

A Dios, porque me dio la fortaleza para continuar alcanzando mis metas y por permitirme llegar hasta este instante.

A mis progenitores, Lica Paulina García Colca y Andrés Avelino Gonzales Flores, por su amor sin condiciones, su ayuda constante y porque me inculcaron el valor de la constancia y el esfuerzo.

A mis hermanos Raúl y Hugo, por su comprensión y cariño.

Dedico este trabajo a quienes caminaron conmigo, aún en silencio. Y a la vida, por enseñarme que cada esfuerzo tiene su recompensa.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por ser mi guía en cada paso de mi vida, y por concederme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para culminar con éxito esta importante etapa profesional.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Textil y de Confecciones, que forma parte de la Facultad de Ingeniería de Procesos Industriales, a causa de mi formación profesional en la Universidad Nacional de Juliaca.

Al doctor Julio César Huanca Marín, quien asesoró esta tesis y me brindó su experiencia, guía y respaldo a lo largo de la realización del trabajo de investigación actual. Agradezco también la oportunidad de acceder a su capacidad profesional y a su conocimiento científico, fundamentales para la culminación de este estudio.

A los miembros del jurado de tesis, Dra. Dominga Micaela Cano Ccoa y M.Sc. Luz Delia Quina Quina y de manera especial a la Mtra. Roxana Tacuri Robles, por haberme brindado su tiempo, sus conocimientos y su paciencia para orientar el levantamiento de observaciones, así como por las valiosas sugerencias que contribuyeron al fortalecimiento de este trabajo de investigación.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	ix
INDICE GENERAL.....	x
INDICE DE TABLAS .....	xv
INDICE DE FIGURAS .....	xvii
INDICE DE ANEXOS.....	xix
RESUMEN.....	xx
ABSTRACT.....	xxi
INTRODUCCIÓN .....	xxii

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL 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 de la investigación .....	3
1.3. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.3.1. Objetivo general .....	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....	4
1.4.1. Hipótesis general .....	4
1.4.2. Hipótesis específicas .....	4
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.6. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN .....	5

1.6.1. Variable independiente.....	5
1.6.2. Variable dependiente.....	6

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LA LITERATURA**

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	7
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	10
2.1.3. Antecedentes locales .....	14
2.2. MARCO TEÓRICO .....	17
2.2.1. Lana de ovino .....	17
2.2.2. Parámetros de calidad de la fibra de lana de ovino .....	18
2.2.4. Colorante .....	20
2.2.5. Colorante natural .....	22
2.2.6. Colorantes vegetales.....	23
2.2.7. Queñua ( <i>Polylepis incana</i> H.B.K.).....	24
2.2.8. Características botánicas del <i>Polylepis</i> .....	26
2.2.9. Caracterización química del colorante natural de <i>polylepis incana</i> H.B.K.....	28
2.2.10. Clasificación taxonómica del género <i>Polylepis</i> .....	29
2.2.11. Usos del género <i>Polylepis</i> .....	30
2.2.12. Extracción de colorante natural.....	31
2.2.13. Teñido textil .....	32
2.2.14. Procesos de teñido.....	33
2.2.15. Etapas del proceso de teñido .....	34
2.2.16. Parámetros que influyen en el proceso de teñido.....	36
2.2.17. Mordiente .....	37

2.2.18. Sulfato de aluminio .....	38
2.2.19. Fibras textiles .....	40
2.2.20. Solidez del color al lavado .....	41
2.2.21. Solidez del color al frote .....	41
2.2.21. Solidez del color a la luz .....	42
2.2.23. Escala de grises .....	42
2.2.24. Diseño de experimentos .....	43

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO .....	45
3.2. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	45
3.2.1. Tipo de investigación .....	45
3.2.2. Nivel de investigación.....	46
3.2.3. Diseño experimental.....	46
3.3.1. Materiales de estudio.....	48
3.3.2. Materiales y equipos de laboratorio .....	48
3.3.3. Otros equipos y materiales .....	48
3.3.4. Insumos .....	48
3.3.5. Procedimiento de obtención del colorante natural .....	49
3.3.6. Extracción de colorante de Polylepis (queñua) .....	50
3.3.7. Preparación de muestras (madejado).....	51
3.3.8. Proceso de teñido de hilo de ovino.....	53
3.3.9. Evaluación de la solidez al lavado .....	56
3.3.10. Evaluación de solidez al frote .....	58
3.3.11. Evaluación de solidez a la luz .....	59

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACION .....	60
3.4.1. Población.....	60
3.4.2. Muestra.....	61
3.5.TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	61
3.5.1. Técnicas.....	61
3.5.2. Instrumentos .....	62
3.6. PROCEDIMIENTO DE DATOS ESTADÍSTICO.....	63

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

4.1. RESULTADOS .....	64
4.1.1. Efecto del teñido con colorante natural de la Queñua (Polylepis) para la solidez de color en lana de ovino.....	64
4.1.2. Prueba de supuesto de normalidad .....	66
4.1.3. Análisis de efecto medio y significancia.....	67
4.1.4. Prueba de comparaciones múltiples .....	69
4.2. Efecto del teñido con la Queñua (Polylepis) en la solidez al lavado .....	72
4.2.1. prueba de supuesto de normalidad .....	73
4.2.2. Análisis de efecto medio y significancia.....	74
4.2.3. Prueba de comparaciones múltiples .....	77
4.3. Efecto del teñido con la Queñua (Polylepis) para la solidez al frote .....	79
4.3.1. Prueba de supuesto de normalidad .....	80
4.3.2. Análisis de efecto medio y significancia.....	81
4.3.3. Prueba de comparaciones múltiples .....	82
4.4. Efecto del teñido con la queñua (polylepis) para la solidez a la luz solar.....	84

4.4.1. Prueba de supuesto de normalidad .....	85
4.4.2. Análisis de efecto medio y significancia.....	86
4.5. Contrastación de hipótesis general .....	90
4.6. Contrastación de hipótesis específica 1 .....	93
4.7. Contrastación de hipótesis específica 2.....	97
4.8. Contrastación de hipótesis específica 3.....	102
4.9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	107

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1. CONCLUSIONES.....	111
5.2. RECOMENDACIONES .....	113
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	114
ANEXOS.....	125

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Descripción Polylepis.....	26
<b>Tabla 2.</b> Características fisicoquímicas .....	26
<b>Tabla 3.</b> Diseño experimental de solidez al color .....	47
<b>Tabla 4.</b> Condiciones de ensayo de la solidez al lavado .....	57
<b>Tabla 5.</b> Resultados de la solidez de color en lana de ovino: Réplica 1.....	64
<b>Tabla 6.</b> Resultados de la solidez de color en lana de ovino: Réplica 2.....	65
<b>Tabla 7.</b> Resultados de la solidez de color en lana de ovino: Réplica 3.....	65
<b>Tabla 8.</b> Análisis de efectos y contribución porcentual en la solidez del color .....	67
<b>Tabla 9.</b> Resultados de la solidez del color según concentración del colorante.....	69
<b>Tabla 10.</b> Resultados de la solidez de color basado en el mordiente .....	70
<b>Tabla 11.</b> Resultados de la solidez de color basado en el tiempo de teñido.....	70
<b>Tabla 12.</b> Resultados de la solidez al lavado en tela multifibra réplicas R1, R2 y R3.....	72
<b>Tabla 13.</b> Análisis de varianza para los efectos del colorante natural de la Queñua (polylepis) sobre la solidez al lavado .....	74
<b>Tabla 14.</b> Resultados de las comparaciones múltiples de la solidez al lavado según la concentración de colorante.....	77
<b>Tabla 15.</b> Resultados de las comparaciones múltiples de la solidez al lavado según la cantidad de mordiente .....	77
<b>Tabla 16.</b> Resultados de las comparaciones múltiples de la solidez al lavado según el tiempo de teñido .....	78
<b>Tabla 17.</b> Resultados de la solidez al frote en lana de ovino tratada con colorante natural de Queñua (polylepis) .....	79
<b>Tabla 18.</b> Análisis de varianza para la solidez al frote del hilo teñido con colorante natural de Queñua (polylepis) .....	81

<b>Tabla 19.</b> Resultados de las comparaciones múltiples de la solidez al frote según la concentración del colorante.....	83
<b>Tabla 20.</b> Resultados de las comparaciones múltiples de la solidez al frote según la cantidad de mordiente .....	83
<b>Tabla 21.</b> Resultados de las comparaciones múltiples de la solidez al frote según el tiempo de teñido .....	83
<b>Tabla 22.</b> Resultados de la solidez a la luz solar en lana de ovino teñida con extracto natural de Queñua (polylepis) .....	84
<b>Tabla 23.</b> Análisis de los efectos principales e interacciones en la solidez a la luz solar .....	86
<b>Tabla 24.</b> Resultados de las comparaciones múltiples de la solidez a la luz solar según la concentración del colorante.....	88
<b>Tabla 25.</b> Resultados de las comparaciones múltiples de la solidez a la luz solar según la cantidad de mordiente .....	89
<b>Tabla 26.</b> Resultados de las comparaciones múltiples de la solidez a la luz solar según el tiempo de teñido .....	89
<b>Tabla 27.</b> Análisis de varianza para la solidez general del color en lana de ovino teñida con extracto de Queñua (polylepis).....	90
<b>Tabla 28.</b> Análisis de varianza para la solidez del color al lavado en la contratación de la hipótesis específica 1 .....	94
<b>Tabla 29.</b> Análisis de varianza para la solidez del color al frote en la contratación de la hipótesis específica 2.....	98
<b>Tabla 30.</b> Análisis de varianza para la solidez del color a la luz en la contratación de la hipótesis específica 3.....	102

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Flujograma del proceso de teñido .....	34
<b>Figura 2.</b> Flujograma para la obtención del colorante natural .....	50
<b>Figura 3.</b> Proceso de Obtención tintórea .....	51
<b>Figura 4.</b> Preparación de muestra previa al tejido .....	52
<b>Figura 5.</b> Madejado y pesado de muestras .....	53
<b>Figura 6.</b> Lavado de muestras .....	53
<b>Figura 7.</b> Procedimiento de teñido de hilo de ovino .....	54
<b>Figura 8.</b> Preparación de mordiente y envases de acero inoxidable .....	55
<b>Figura 9.</b> Preparación de muestras .....	55
<b>Figura 10.</b> Gráfica de probabilidad normal para los datos de solidez de color (C1).....	66
<b>Figura 11.</b> Gráfica de Pareto de efectos estandarizados de la solidez de color.....	68
<b>Figura 12.</b> Gráfica de probabilidad normal para los residuos de solidez al lavado .....	73
<b>Figura 13.</b> Diagrama de Pareto de los efectos estandarizados en la solidez al lavado.....	76
<b>Figura 14.</b> Gráfica de prueba de supuesto de normalidad de la solidez al frote.....	80
<b>Figura 15.</b> Diagrama de Pareto de los efectos estandarizados en la solidez al frote.....	82
<b>Figura 16.</b> Gráfica de probabilidad normal para los residuos de la solidez a la luz solar.....	85
<b>Figura 17.</b> Diagrama de Pareto de los efectos estandarizados en la solidez a la luz solar .....	87
<b>Figura 18.</b> Gráfica de efectos principales para la solidez general del color (C4) .....	91
<b>Figura 19</b> Gráfica de interacciones de los factores sobre la solidez general del color (C4) ...	92
<b>Figura 20.</b> Gráfica de efectos principales para la solidez del color al lavado (C4).....	96
<b>Figura 21.</b> Gráfica de interacciones de los factores de la solidez del color al lavado (C4) ....	97
<b>Figura 22.</b> Gráfica de efectos principales para la solidez del color al frote (C4).....	99
<b>Figura 23.</b> Gráfica de interacciones de los factores sobre la solidez del color al frote (C4).	101
<b>Figura 24.</b> Gráfica de interacciones de los factores sobre la solidez del color al frote (C4).	104

**Figura 25.** Análisis de varianza para la solidez del color a la luz en la contratación de la hipótesis específica 3..... 106

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Ficha de observación e instrumentación de recolección de datos .....	125
<b>Anexo 2.</b> Ficha de observación e instrumentación de recolección de datos muestra 1 .....	126
<b>Anexo 3.</b> Ficha de observación e instrumentación de recolección de datos muestra 2 .....	127
<b>Anexo 4.</b> Ficha de observación e instrumentación de recolección de datos muestra 3 .....	128
<b>Anexo 5.</b> Ficha de observación e instrumentación de recolección de datos muestra 4 .....	129
<b>Anexo 6.</b> Ficha de observación e instrumentación de recolección de datos muestra 5 .....	130
<b>Anexo 7.</b> Ficha de observación e instrumentación de recolección de datos muestra 6 .....	131
<b>Anexo 8.</b> Ficha de observación e instrumentación de recolección de datos muestra 7 .....	132
<b>Anexo 9.</b> Ficha de observación e instrumentación de recolección de datos muestra 8 .....	133
<b>Anexo 10.</b> Ficha de recolección de datos de solidez al lavado .....	134
<b>Anexo 11.</b> Ficha de recolección de datos de solidez al frote en seco .....	135
<b>Anexo 12.</b> Ficha de recolección de datos de solidez a la luz .....	136
<b>Anexo 13.</b> Matriz de consistencia .....	138
<b>Anexo 14.</b> Fotografías de materias primas e insumos utilizados .....	139
<b>Anexo 15.</b> Fotografías de equipos utilizados en el laboratorio .....	140
<b>Anexo 18.</b> Fotografías del proceso de teñido de hilos de ovino .....	141
<b>Anexo 19.</b> Fotografías del proceso de evaluación de la solidez de color .....	142
<b>Anexo 20.</b> Parámetros de diseño, (tacuri 2008) .....	143

## RESUMEN

Este estudio, realizado en la zona de Puno en 2024, tuvo como propósito establecer el impacto tintóreo del *Polylepis incana* H.B.K. (Queñua) como tinte natural en el grosor del color de la lana de oveja Corriedale. La metodología utilizada fue de tipo factorial 2<sup>3</sup>, experimental, explicativa y cuantitativa. Se delinearon 8 tratamientos, cada uno con 3 réplicas y 3 factores a considerar: el mordiente (B), la cantidad de colorante (A) y la duración del tratamiento (C). Estos factores fueron conciliados a dos niveles. Los ensayos de resistencia a la luz, al lavado y al frote se hicieron en los laboratorios de la Escuela Profesional de Ingeniería Textil y Confecciones de la Universidad Nacional de Juliaca, registrándose los datos usando fichas estructuradas. Para poner a prueba las hipótesis propuestas, se realizó un análisis estadístico con MINITAB 22, aplicando ANOVA. Los resultados mostraron valores de solidez que variaban entre 3.5 y 4 en los tres exámenes, lo que se relaciona con una estabilidad cromática aceptable. Aunque no hubo diferencias importantes en la solidez al lavado entre los tratamientos ( $p > 0.05$ ), se hallaron efectos notables en la solidez al frote y, sobre todo, en la solidez a la luz, donde resaltó el impacto del mordiente y de las interacciones entre los factores. En términos generales, el colorante natural de *Polylepis* mostró un rendimiento tintóreo factible desde el punto de vista técnico para su uso en fibras de lana, lo que lo convierte en una opción ecológica y sostenible para la industria regional del textil.

**Palabras clave:** *Polylepis*, solidez del color, lana de ovino, teñido natural.

## ABSTRACT

This study, carried out in the Puno area in 2024, had the purpose of establishing the dyeing impact of *Polylepis incana* H.B.K. (Queñua) as a natural dye on the color thickness of Corriedale sheep wool. The methodology used was factorial type 23, experimental, explanatory and quantitative. 8 treatments were outlined, each with 3 replicas and 3 factors to be considered: the mordant (B), the amount of dye (A) and the duration of the treatment (C). These factors were reconciled at two levels. The tests of resistance to light, washing and rubbing were carried out in the laboratories of the Professional School of Textile and Clothing Engineering of the National University of Juliaca, the data were recorded using structured data sheets. To test the proposed hypotheses, a statistical analysis was performed with MINITAB 22, applying ANOVA. The results showed solidity values that varied between 3.5 and 4 in the three tests, which is related to an acceptable chromatic stability. Although there were no significant differences in wash fastness between treatments ( $p > 0.05$ ), notable effects were found on rub fastness and, above all, on light fastness, where the impact of the mordant and the interactions between the factors stood out. Generally speaking, *Polylepis*' natural dye showed technically feasible dyeing performance for use on wool fibers, making it an environmentally friendly and sustainable option for the regional textile industry.

**Keywords:** *Polylepis*, color fastness, sheep wool, natural dyeing.

## INTRODUCCIÓN

La búsqueda de alternativas sostenibles en la industria textil ha impulsado el uso de recursos naturales para reemplazar productos sintéticos altamente contaminantes (Mamani et al., 2021). En este contexto, De la queñua (*Polylepis incana* H.B.K.) considerada como una especie arbórea nativa de los Andes, ha despertado interés por su capacidad tintórea natural siendo una fuente accesible, renovable y culturalmente valorada en comunidades altoandinas (Zapata & Lazo, 2020). Por su parte, la lana de Ovino Corriedale constituye una materia prima textil de alto valor, debido a sus características como suavidad, resistencia y adaptabilidad a procesos de teñido natural (Huamán et al., 2022), convirtiéndola en un sustrato ideal para evaluar colorantes ecológicos.

Por otro lado, el interés por integrar elementos naturales y ecológicos en la cadena de valor textil ha sido reforzado por el auge de la moda sostenible y la creciente demanda de productos con bajo impacto ambiental (Valderrama & Quispe, 2023). En este escenario, el uso del *Polylepis* no solo aporta valor desde una perspectiva funcional y estética, sino también desde un enfoque ambiental. al proponer el aprovechamiento responsable de una especie nativa y fomentar el desarrollo de economías locales.

En esta línea, La finalidad de esta investigación fue determinar el impacto tintóreo de la queñua (*Polylepis*) como un colorante natural en la solidez del matiz del teñido de lana de Ovino Corriedale, examinando la efectividad del proceso desde un enfoque técnico y estadístico. A este respecto, se empleó un diseño factorial experimental y una metodología cuantitativa de carácter explicativo. La investigación se ha estructurado en cinco capítulos: el primero aborda la formulación del problema; el segundo, un análisis de la literatura; el tercero, los métodos y materiales usados; el cuarto, los hallazgos y discusión; y por último, el quinto expone las conclusiones y recomendaciones significativas del estudio.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La industria textil es considerada a nivel global como una de las más contaminantes, ya que produce efluentes cargados de diversos compuestos nocivos que incluyen elevadas concentraciones de surfactantes, fosfatos, cloruros, alta demanda química y bioquímica de oxígeno, dureza cálcica y colorantes sintéticos (Carrillo & Flores, 2024).

Específicamente, los procesos de tratamiento y teñido de textiles generan grandes volúmenes de aguas residuales que liberan aproximadamente 280 000 toneladas métricas de colorantes sintéticos en los cuerpos de agua naturales (Bernal & Acevedo, 2024). Como resultado, estas actividades aportan cerca del 20 % de la contaminación hídrica de origen industrial (Ramírez, 2023). Así mismo, se ha reportado que entre el 10 % y el 50 % de los colorantes utilizados en procesos textiles no llegan a fijarse en las fibras, siendo finalmente vertidos en los efluentes industriales (Carrillo & Flores, 2024).

En el Perú, la industria textil es un sector tradicional y exportador, pero también una importante fuente de contaminación hídrica debido al vertimiento de efluentes con colorantes sintéticos y compuestos tóxicos. El MINAM (2023) señala que más del 35 % de las aguas residuales industriales no reciben tratamiento adecuado, generando impactos en ecosistemas y comunidades. En regiones como Arequipa, Cusco y Puno, donde predominan actividades textiles artesanales y semiindustriales, los procesos de teñido y lavado de fibras naturales aportan significativamente a la degradación de las fuentes hídricas (PRODUCE, 2024)

En la región altiplánica de Puno, las comunidades artesanales mantienen una fuerte tradición en el uso de fibras naturales y técnicas ancestrales de teñido con tintes vegetales. Sin embargo, la incorporación de métodos estandarizados de extracción y fijación de colorantes aún es limitada. Las condiciones climáticas extremas como alta radiación solar, humedad y fricción constante afectan la durabilidad del color, lo que reduce la competitividad de los productos textiles en mercados nacionales e internacionales.

Frente a esta situación, Diversas iniciativas nacionales e internacionales impulsan la sustitución de colorantes sintéticos por pigmentos naturales, en concordancia con los ODS 12 y 13 sobre producción responsable y reducción del impacto ambiental. En el Perú, el uso de tintes naturales aún es limitado y se desarrolla principalmente en proyectos artesanales de comunidades altoandinas, donde se emplean especies como la cochinilla, la tara, el molle y, más recientemente, especies de *Polylepis*, destacadas por su contenido de compuestos fenólicos y taninos que funcionan como colorantes y mordientes naturales (Huamán et al., 2022)

En este contexto, la aplicación de colorantes naturales de plantas del género *Polylepis*, ha despertado un interés comercial en regiones altoandinas debido a su potencial para ofrecer productos más sostenibles y culturalmente relevantes. Sin embargo, estos colorantes naturales enfrentan problemas significativos en cuanto a su fijación y resistencia al lavado, al frote y a la luz, aspectos clave para garantizar la durabilidad del color en las piezas textiles.

sin embargo, A pesar del potencial del *Polylepis incana* H.B.K, los estudios sobre su uso tintóreo en el Perú son limitados, especialmente en fibras animales como la lana de ovino Corriedale, donde aún no se ha evaluado adecuadamente su solidez al lavado, al frote y a la luz solar. Esta falta de información dificulta el desarrollo de una alternativa sostenible que reduzca la dependencia de tintes sintéticos, fortalezca la producción artesanal y proteja los ecosistemas altoandinos donde crece esta especie.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1. Problema general**

- ¿Cuál es el efecto tintóreo de la queñua (*polylepis*) como colorante natural en la solidez del color del teñido de lana de Ovino corriedale, Puno, 2024?

### **1.2.2. Problemas específicos de la investigación**

- ¿Cuál es el efecto tintóreo de la queñua (*polylepis*) como colorante natural en la solidez del color al lavado de lana de Ovino Corriedale?
- ¿Cuál es el efecto tintóreo de la queñua (*polylepis*) como colorante natural en la solidez del color al frote de lana de Ovino Corriedale?
- ¿Cuál es el efecto tintóreo de la queñua (*polylepis*) como colorante natural en la solidez del color a la luz de lana de Ovino Corriedale?

## **1.3. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1. Objetivo general**

- Determinar el efecto tintóreo de la queñua (*polylepis*) como colorante natural en la solidez del color del teñido de lana de Ovino Corriedale, Puno, 2024.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Analizar el efecto tintóreo de la queñua (*polylepis*) como colorante natural en la solidez del color al lavado de lana de Ovino Corriedale.
- Analizar el efecto tintóreo de la queñua (*polylepis*) como colorante natural en la solidez del color al frote de lana de Ovino Corriedale.

- Analizar el efecto tintóreo del de la queñua (*polylepis*) como colorante natural en la solidez del color a la luz de lana de Ovino Corriedale.

## **1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1. Hipótesis general**

- El colorante natural de la queñua (*polylepis*) tiene efectos significativos en la solidez del color del teñido de lana de Ovino Corriedale, Puno, 2024.

### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- El colorante natural de la queñua (*polylepis*) tiene efectos significativos en la solidez del color al lavado del teñido de lana de Ovino Corriedale, Puno, 2024.
- El colorante natural de la queñua (*polylepis*) tiene efectos significativos en la solidez del color al frote del teñido de lana de Ovino Corriedale, Puno, 2024.
- El colorante natural de la queñua (*polylepis*) tiene efectos significativos en la solidez del color a la luz del teñido de lana de Ovino Corriedale, Puno, 2024

## **1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación sobre el uso del *Polylepis incana* H.B.K. como colorante natural en el teñido de lana de ovino Corriedale es crucial para abordar varios problemas interrelacionados que afectan tanto a la industria textil artesanal como a las comunidades altoandinas. En este sentido, se justifica en el afán de desarrollar alternativas sostenibles a los colorantes sintéticos, cuyos impactos ambientales y baja biodegradabilidad representan un desafío para la industria textil. El uso de especies nativas como el *Polylepis incana* H.B.K. ofrece una fuente renovable de pigmentos naturales con potencial para reducir la contaminación y valorizar recursos forestales

locales. Evaluar su efecto tintóreo en la lana de ovino Corriedale permitirá generar conocimiento técnico sobre la solidez del color, promoviendo el aprovechamiento sostenible de la biodiversidad de Puno y fortaleciendo la producción textil ecológica en la región.

Ambientalmente, la sustitución de colorantes sintéticos por *Polylepis incana* H.B.K. contribuye a la reducción de la huella de carbono y la generación de residuos tóxicos, lo que es fundamental en la transición hacia una industria textil más sostenible. Socialmente, esta investigación beneficia a las comunidades altoandinas al preservar sus tradiciones culturales y optimizar la calidad de sus productos, lo que a la vez robustece su posición en el mercado. Tecnológicamente, la investigación impulsa la innovación en el sector textil artesanal, promoviendo la adopción de tecnologías sostenibles que pueden establecer nuevos estándares en la industria.

## **1.6. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.6.1. Variable independiente**

#### **a) Teñido con colorante natural de las cortezas de la queñua (*Polylepis*)**

El colorante natural corresponde a cualquier sustancia pigmentante obtenida a partir de fuentes de origen vegetal, animal o mineral (Sánchez, 2020). El *Polylepis*, también llamado queñua, es un tipo de arbustos y árboles nativos de los Andes de Sudamérica. Se distingue por su capacidad para resistir condiciones extremas en términos de altitud y temperatura (Mendoza & Cano, 2011). Las hojas y las cortezas de queñua son los materiales más usados en el proceso de teñido. De igual manera, es posible lograr diferentes matices utilizando varios métodos de extracción y Mordentado (Arias, 2018).

## **1.6.2. Variable dependiente**

### **a) Solidez de color**

Se suele determinar la intensidad del color contrastando el color antes y después de la prueba. También es importante conocer cómo los colorantes afectan a la materia blanca cuando la prenda teñida entra en contacto con ella durante el uso o procesamiento (Obando, 2013). La solidez del color es una propiedad fundamental que determina la durabilidad y calidad del teñido en materiales textiles, evaluándose mediante diferentes condiciones de exposición.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LA LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

La siguiente es una amplia gama de estudios realizados sobre el tema de los colorantes naturales.

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Gong et al. (2020), empleó hojas de *Cinnamomum camphora* (alcanfor) como principio natural de colorante para teñir fibras de lana. El estudio contrastó la influencia de varios mordientes naturales, como corteza de Arjum, cáscara de granada, clorofila en extracto y ácido cítrico, con mordientes metálicos como el sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ), el sulfato de hierro ( $\text{FeSO}_4$ ), el dicromato sódico ( $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) y el cloruro estañoso ( $\text{SnCl}_2$ ). Mediante la evaluación colorimétrica en el espacio CIE y ensayos de solidez siguiendo normas ISO, se determinó que la concentración de mordiente influía significativamente en la intensidad y estabilidad del color. Los resultados evidenciaron que, aunque los mordientes metálicos presentan toxicidad, ofrecen una mayor eficiencia tintórea en comparación con los naturales.

Palacios et al. (2021) Realizaron una investigación en la que se estudió la resistencia del color en tejidos de alpaca y lana tintados con colores extraídos de plantas autóctonas de la provincia ecuatoriana de Azuay, ubicada al sur del país. Las tinturas vegetales de plantas tintóreas, como *Baccharis latifolia* (chilca), *Brachyotum confertum*, *Juglans neotropica* (nogal andino) y *Lomatia hirsuta* (radal), fueron empleadas para crear la metodología. También se utilizó cochinilla (*Dactylopius coccus*), todo ello a través de métodos tradicionales de teñido en hilos para crear muestras textiles. Se evaluó la resistencia del color en condiciones de luz artificial, lavado neutro y alcalino, así como frote seco y húmedo. Para ello, se midió la variación

cromática ( $\Delta E$ ) con un colorímetro antes y después de los ensayos. Los resultados revelaron una mayor variación de color tras el lavado con jabón alcalino (máximo  $\Delta E=32$ ), mientras que en el resto de las pruebas la diferencia fue mínima ( $\Delta E \approx 1,4$ ). Según la escala de grises, la mayoría obtuvo una evaluación satisfactoria, patentizando que los tintes de garau, chilca, nogal, killuyuyo y cochinilla presentan buena estabilidad frente a la mayoría de los factores evaluados. Jahangiri et al. (2018) hicieron un estudio dirigido a evaluar el proceso de teñido natural de hilados de lana utilizando extractos de raíz de *Rubia tinctorum*. Para esto, utilizaron cinco biomordientes: eucalipto, granada, *Quercus castaneifolia*, *Rhus coriaria* y *Terminalia chebula*. También usaron el alumbre ( $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ ) como mordiente de referencia. La investigación abarcó las fases de extracción del tinte, pre-mordentado, mordentado directo, coloración y análisis colorimétrico posterior. Las respuestas demostraron que los biomordientes actuaron como fijadores de color altamente efectivos y ecológicos, proporcionando tonalidades estables y uniformes. Asimismo, se concluyó que el método de pre-mordentado generó colores más intensos y con más solidez al lavado en cotejo con el mordentado directo, evidenciando su superioridad en términos de rendimiento tintóreo.

Figueroa et al. (2021) hicieron una exploración en el cual se analizó estadísticamente los hallazgos de las evaluaciones de resistencia en hilos naturales de lana y algodón que fueron coloreados con extracto hidrosoluble de grana cochinilla. La metodología empleada fue el análisis estadístico de los tratamientos utilizados en las pruebas de solidez del color sobre fibras naturales de lana y algodón, mediante un programa informático de estadísticas. En lo que respecta a los hallazgos, en algodón, los formas con bicarbonato y alumbre no revelaron diferencias notables en cuanto a solidez frente a la luz, fricción y lavado; sin embargo, sí las presentaron en términos de pH y temperatura. En lana, aunque las diferentes concentraciones (50, 75 y 100 %) no mostraron variaciones en cuanto a resistencia frente al pH ácido y la temperatura, sí se observaron diferencias en otras pruebas de solidez.

Stanciuc (2020) en el estudio analizó el teñido mordentado de fibras naturales con un tinte extraído de las hojas de nogal (*Juglans Neotropica*). Se empleó lana de oveja sin tratamiento previo, hilada artesanalmente y de color blanco crema natural, junto con hojas frescas de nogal como fuente de tinte. El proceso incluyó lavado previo de la lana, preparación de soluciones de Mordentado según el peso de la fibra, extracción del colorante por ebullición, Mordentado, teñido, lavado y secado del material teñido. Los resultados evidenciaron que es posible el Mordentado y teñido de fibras naturales de estructuras proteínicas como la lana, con extracto natural de las hojas de nogal frescas en condiciones óptimas, obteniendo una temperatura de Mordentado de 100°C, tiempo de 30 minutos y empleando sales mordientes. En cuanto al proceso de teñido, se determinó un tiempo de 60 minutos, una temperatura de 100°C y una concentración de colorante de 1%.

Yusuf et al. (2017) exploraron la cabida de teñido de un colorante extraído de *Rubia cordifolia* (rubia roja), como antraquinona para optimizar el proceso con efecto de mordientes metálicos y mejorar las propiedades colorimétricas y de solidez, la metodología implicó un lavado en solución acuosa de la lana en suma a mordientes cloruro de aluminio ( $\text{AlCl}_3$ ) y cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) al 5%, se tomó un 50% de tintura con extracto de *R. cordifolia* para determinar la solidez al frote se empleó el estándar indio IS 766:1988. Los resultados demostraron la optimización del asunto ya que a mayor pH disminuye la intensidad de color como el ensayo de pH 10 tuvo una intensidad de 1.2 K/S, a mayor tiempo 70 segundos la ímpeto de color fue mayor 8.7 y a mayor terciana la intensidad de color fue mayor 8.1; el efecto de los mordientes sobre las propiedades colorimétricas mejoraron la capacidad de teñido ya que la intensidad de color mayor se obtuvo con  $\text{AlCl}_3$  al 5% con 17.79 K/S,  $\text{CaCl}_2$  al 5% con 14.14 K/S y la prueba de control sin mordiente fue 11.02 K/S, los ensayos de solidez al frote húmedo demostraron mayores índices de solidez en las muestras de lana con mordientes de  $\text{AlCl}_3$  fue 4/5 y  $\text{CaCl}_2$  fue 3/4 en comparación a los ensayos sin mordiente con un valor de 3, en conclusión se concluye

que la condición óptima de teñido con *R. cordifolia* fue pH 2, tiempo 45 minutos, 90°C y los mordientes mejoraron la solidez al frote, al lavado y a la luz.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Aguilar & Beltrán (2022) Analizaron el impacto de un mordiente y del tiempo en la resistencia de hilo de alpaca y ovino que había sido teñido con tinte obtenido de flores de manzanilla. La metodología incluyó la extracción del colorante biológico por medio de filtrado, y se utilizó 200 g del tinte a 83°C durante una hora para el proceso de teñido del hilo. El mordiente utilizado se experimentó en proporciones de 20, 30 y 40% durante periodos de tiempo de 20, 40 y 60 minutos. Los resultados mostraron que la solidez de la fricción del hilo de oveja fue ideal a una temperatura de 83 °C y una concentración del 20% en un periodo de 40 minutos, con un cambio colorimétrico de 0.24, mientras que la solidez al frote del hilo de alpaca resultó ser óptima a una concentración del 20% en un período de 60 minutos a la misma temperatura con un valor colorimétrico de 0.4. Se remata que el mordiente alumbre utilizado para teñir el hilo tanto de alpaca como ovino tuvo un impacto importante en su resistencia al frote, lavado y luz, siendo esta última concentración del 30% para el hilo de alpaca y del 20% para el hilo de ovino, demostrado su estabilidad en el color.

Quispe et al. (2025), En su estudio, el fin fue reconocer los tipos textiles y colorimétricas de fibras de alpaca Huacaya teñidas con extracto natural de *Polylepis incana* H.B.K., fomentando una opción ecológica frente a los tintes sintéticos en la industria textil. Para determinar cómo diferentes mordientes y concentraciones de tinte afectan las propiedades de color y solidez de las fibras, se utilizó un diseño experimental aleatorio con arreglo factorial. Los resultados evidenciaron variaciones significativas en los parámetros cromáticos y una buena fijación del color, esencialmente en las muestras tratadas con zumo de limón y cloruro de sodio. Se concluye que el uso del *Polylepis incana* H.B.K., como tinte natural constituye una opción

sostenible, reduciendo el impacto ambiental y fortaleciendo la producción textil tradicional peruana.

Carrasco Bocangel et al. (2022) analizó la manera de teñido de la fibra de alpaca con tinturas naturales del molle en estado seco y verde, con el fin de determinar la resistencia del color al frote y lavado usando mordientes, la metodología implicó el tratamiento con mordientes de sulfato (cobre, aluminio, hierro, amonio), ácido cítrico y bitartrato de potasio. Los resultados demostraron que la estabilidad del color incrementada de acuerdo al tiempo, la tintura del molle en verde en relación al tinte no presentó una diferencia significativa en relación a la tonalidad amarilla, la tintura de molle en seco indicó una variación en tonalidades, las propiedades de solidez al frote seco y húmedo de la fibra de alpaca obtuvo valores de 4 y 4/5 que se categoriza de acuerdo a la NTP 231.042:2009 como bueno y muy bueno respectivamente, debido a su interacción molecular de las fibras con el tinte se obtuvo la fijación del color empleando el mordiente de ácido cítrico.

Tacuri (2008), en su estudio, tuvo como propósito principal evaluar la estabilidad de fijación del colorante natural obtenido de la queñua (*Polylepis incana H.B.K.*) en comparación con el colorante sintético Lanaset Brown, aplicados sobre hilos de fibra de alpaca. La investigación analizó la solidez del color mediante ensayos de frote en seco y húmedo, lavado, sudor y exposición a la luz, realizados en los laboratorios de Química Suiza S.A., donde también se obtuvo el colorante químico. El tinte natural fue recolectado en la ciudad de Lampa, Puno, y procesado en los laboratorios de una universidad. Para determinar la estabilidad de fijación, se consideraron variables como pH, temperatura y tiempo, empleando un diseño central compuesto rotacional de segundo orden y el software estadístico Statgraphics Plus 5.1.

Calsin & Chavez (2021) aplicó alcohol etoxilado para optimizar el proceso de tintura y mejorar la curva de teñido de la fibra de alpaca empleando colorantes de complejo metálico, la

metodología empleó un espectrofotómetro para medir la variable de respuesta, se preparó el material aplicando 2% de ácido, con 1% de colorante. Los resultados demostraron una adsorción de colorante rojo lanaset máxima de 510 nm, para amarillo lanaset 440 nm y para azul lanaset 590 nm, las lecturas de solidez al frote seco fueron mayores en los colorantes rojo, amarillo y azul a una temperatura de 90°C en 30 minutos con un valor de 4/5 para todos, a diferencia del frote en húmedo para el colorante rojo 2/3, colorante amarillo 3/4 y colorante azul 3/4, de los cuales se concluye que las fibras teñidas cumplen con los patrones de calidad formando un valor agregado por el hallazgo de la curva de color del estudio que implica la adición de auxiliares con una gradiente de 20 minutos, fijación y agotamiento de 30 minutos para el enfriamiento.

Morales & Pérez (2022), en su estudio consideraron las propiedades tintóreas del *Polylepis* en el teñido de fibra de ovino, se diseñaron procesos de obtención del colorante, asimismo, Mordentado de fibra, teñido y colorimetría. Metodológicamente, el estudio fue cuantitativo, explicativo de diseño experimental, se utilizó como técnica la observación, el análisis documental y sistemas de medición. Se consideró como población queñuales ubicados en la provincia de Sucre anexo de Chaupihuasi para la obtención de una muestra no probabilística. Como resultado, se observó que el *Polylepis* tiene una capacidad tintórea apropiada para teñir fibras de alpaca, demostrando buena fijación al material textil con y sin mordientes. Se alcanzaron las condiciones óptimas del proceso con una relación de baño de 1:25, un pH inicial de 5.5, una temperatura de 90 °C y un período de teñido de 60 minutos. Los resultados de los ensayos de solidez fueron alentadores: 4-5 puntos en el lavado, 3-4 en el roce seco, 2-4 en el roce húmedo y 4 puntos cuando fue expuesto a la luz. Además, las coordenadas cromáticas de las muestras se ubicaron en los espacios positivos del espacio CIE (\*L, \*a, \*b, \*c y \*h). Cuando se utilizó el mordentado directo con concentraciones de 40 % y 60 %, se observó que la tonalidad cambió en comparación con el teñido sin mordiente; específicamente, se emplearon

como mordientes cloruro de sodio (mordiente alcalino) y zumo de limón (mordiente ácido): el primero generó matices marrón-amarillentos claros, mientras que el segundo produjo tonalidades marrón-rojizas oscuras.

Delgado (2021) evaluó los factores que influyen en el diseño de la curva de teñido de fibra de vicuña y su influencia en la calidad y estandarización del producto, la metodología empleó 25 kg de fibra con una relación de baño 1/20 adicionando agentes auxiliares albejal 1%, sulfato sódico 5% y ácido acético 3%. Los resultados demostraron que en la prueba 1 de condiciones operaciones 97°C en 90 minutos se logró una solidez a la luz de acuerdo a la norma AATCC de 4, la prueba 2 a condiciones de operación 95°C en 94 minutos se obtuvo un valor de solidez a la luz de 4.5, para la prueba de solidez al frote en seco para la fibra de vicuña fue el primer ensayo de 92°C en 90 minutos de 4/5, el segundo ensayo de 98°C en 60 minutos de obtuvo 3/4; el ensayo de solidez al frote húmedo para el primer ensayo de 92°C en 90 minutos se obtuvo un índice de 4 y el segundo ensayo de 98°C en 60 minutos se obtuvo un índice de 3, finalmente se determinó que los parámetros que afectan en el teñido de la fibra de vicuña empleando colorantes reactivos son la temperatura optima de 92°C por un tiempo de 88 minutos, a pH 3.5 logrando una mejor solidez.

Sucasaca & Guevara (2022) Examinaron el modo de teñido de fibra de alpaca con un colorante obtenido del col morada para conseguir una buena diversidad de tonalidades y solidez del color. Por ello, se extrajo el pigmento a partir de la base vegetal y se utilizaron mordientes como sulfato de hierro y ácido cítrico, aluminio y alumbre, la metodología implicó un pretratamiento para mejorar la capacidad de humectación de la fibra y un tratamiento de mordiente con 21% y 12% de alumbre y bitartrato de potasio respectivamente en un tiempo de 60 minutos. Los resultados demostraron 16 experimentos con tonalidad azul, de las cuales se evaluó la solidez del color, el efecto del mordiente modifica el pH, y el tiempo es modificador de pH, del cual se

concluye que en el proceso el mordiente modifica el pH y tiempo, las pruebas de solidez de color a la luz tuvieron valores de 3 a 4.5 logrando buenos resultados por su categorización aceptable y muy bueno, finalmente se concluye que las fibras teñidas en adición a diferentes mordientes lograron resultados aceptables en la mejora de solidez del color a la luz e intensidad de color, ya que es un tratamiento de fijación.

### **2.1.3. Antecedentes locales**

Tito (2024), Su investigación tenía como objetivo examinar el impacto del teñido con extracto natural de hojas de eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill.) en la solidez del color en hilos de lana ovina, teniendo en cuenta las pruebas de frotamiento, exposición a la luz y lavado. Se empleó una metodología cuantitativa explicativa de tipo factorial  $2^3$ , la cual tenía un diseño experimental que contemplaba tres factores (la concentración del tinte, el volumen de mordiente y el tiempo de exposición), cada uno con dos niveles. El experimento se realizó en ocho tratamientos, todos ellos con tres repeticiones. Las pruebas de solidez y teñido fueron ejecutadas en los laboratorios de una universidad. Se utilizó ANOVA con el programa Minitab 18. Los resultados revelaron un efecto significativo ( $p=0.000$ ), alcanzando una solidez de color 4 en la escala de grises. Se definieron los valores ideales como: 3 g de mordiente, 300 ml de tinte y un tiempo de teñido de 60 minutos, obteniendo resultados positivos.

Soncco (2024) realizó una investigación que, en Juliaca, tuvo como meta analizar el efecto del teñido con extracto natural de las hojas de molle (*Schinus molle*) sobre la solidez del color del hilo de lana ovina. La técnica empleada se realizó en hilo ovino, con tres repeticiones de ocho tratamientos. Esto da como resultado un total de 24 tratamientos para las pruebas de teñido y la valoración de la firmeza del color al ser lavado, frotado y expuesto a luz. Se evaluaron tres elementos: la cantidad de tinte (100-150 ml), la concentración del mordiente (1-2 g) y el tiempo de teñido (de 45 a 60 minutos), cuidando siempre una temperatura de 75 °C. Los aciertos

revelaron que, al usar extracto natural de hojas de molle en hilo merino ovino, se obtuvo un efecto significativo ( $p=0.000$ ), con solidez a la luz de 3, al lavado de nivel 4 y al frote seco de 3.5. Para finalizar, el tinte natural reveló resistencia frente al lavado y al roce, no ante la luz.

Luque (2024) El propósito del estudio fue explorar la caracterización fitoquímica del extracto de ayapira (*Picramnia sellowii*) y su uso como colorante natural en análisis de estabilidad cromática hechos con hilos de fibra de alpaca. Para lograrlo, se utilizaron muestras de hilos que fueron tratadas con 16 tratamientos diferentes, además de 4 puntos centrales y 2 repeticiones. Cuatro factores experimentales fueron tomados en cuenta en la investigación: el tipo y la concentración del mordiente, el tiempo que se utilizó para teñir y la proporción entre el sustrato y la planta. Los hallazgos de las pruebas de solidez mostraron que el mordiente tuvo un impacto más significativo que la cadencia entre la planta y el sustrato o que la firmeza del teñido. El tratamiento T4 obtuvo el promedio más elevado en la prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95 % (3.9). En cambio, los tratamientos T2, T6 y T8 tuvieron valores oportunas a 3.5, 3.7 y 3.6, respectivamente. Según la escala de grises de la NTP, estos valores fueron categorizados como buenos. En última instancia, se determinó que el teñido con hojas de ayapira logró una resistencia del color apropiada ante la luz, el lavado y el frote en hilos hechos con fibra de alpaca.

Sucasaca (2022), Su estudio se propuso examinar cómo el pigmento extraído de la inflorescencia de colli (*Buddleja coriácea*) afecta la ímpetu del color al teñir las fibras de alpaca. Se creó un diseño experimental explicativo y cuantitativo que incorporaba 2 repeticiones y 8 tratamientos, lo que resultó en 16 ensayos en total. Se hicieron las pruebas en los laboratorios de la Universidad Nacional de Juliaca, utilizando fichas técnicas para recoger datos. El proceso de teñido fue analizado considerando los efectos de la concentración del mordiente, el tiempo y la temperatura. Se observó un impacto importante del pigmento en la solidez del color

( $p = 0.006$ ), resaltando los elementos tiempo ( $p = 0.008$ ), temperatura ( $p = 0.001$ ) y su interacción con el mordiente, que explicaron el 80.5 % de la variabilidad. Se decretó que las situaciones ideales eran: 3,5 g/l de crémor tártaro y 75 minutos de teñido a ebullición, lo cual produjo matices amarillos con propiedades sólidas adecuadas.

De la Cruz (2022), en su estudio, su intención fue valorar el efecto del extracto de Imillay (*Hypseocraris bilobata*) en el teñido de lana de ovino (*Ovis aries*), considerando la concentración del colorante, el uso de cáustica, así como el tiempo y la temperatura del proceso. Para ello, se recolectó la raíz de la planta y se preparó el baño tintóreo utilizando diferentes concentraciones (30 g y 60 g), además de madejas de lana tratadas con alumbre como mordiente. Las pruebas colorimétricas revelaron valores moderados de solidez a la luz (3–4) y al lavado, tanto en cambio como en transferencia de color. Aunque no se hallaron efectos estadísticamente significativos ( $p > 0.05$ ), los resultados fueron satisfactorios, recomendándose explorar variables adicionales como el pH y otras fibras como la alpaca.

Huamani (2024), en su estudio, tuvo como objetivo aplicar colorantes de cochinilla junto con mordientes metálicos alumbre, collpa y sal de limón para mejorar el aspecto cromático y las propiedades de la fibra. La metodología consistió en preparar baños de tinte con volúmenes de 250 ml, donde se incorporaron diferentes concentraciones de cochinilla (2, 4, 6 y 10 g) a 85 °C durante 10 minutos; luego se aplicó el posmordentado, añadiendo 0.4 g del mordiente elegido, manteniendo la misma temperatura durante 5 minutos. Posteriormente, las fibras teñidas fueron sometidas a análisis mediante colorímetro bajo la escala CIELab, espectroscopia FT-IR y pruebas de solidez al lavado y al frote. Las réplicas mostraron que el tratamiento con 6 g de cochinilla y collpa provocó un color más oscuro y uniforme, mientras que el uso de 10 g con sal de limón permitió mejorar la suavidad y la finura de la fibra. Asimismo, las pruebas químicas confirmaron mayor intensidad en los espectros de cochinilla sin mordiente, y la evaluación de

solidez evidenció un mejor desempeño con la combinación de 4 g de tinte y collpa. En conclusión, el empleo de mordientes metálicos influyó positivamente en la fijación del color y en la calidad final de las fibras, aportando evidencia de que el teñido natural puede ser una alternativa viable y sostenible.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Lana de ovino**

En la industria textil, esta es una de las materias primas más relevantes, particularmente en la elaboración de prendas de vestir y productos artesanales. Esta fibra natural se obtiene de las ovejas (ovinos) a través del esquilado, un proceso que se realiza generalmente una vez al año. La lana es valorada por sus propiedades únicas, como su capacidad para mantener el calor, su suavidad, y su elasticidad, lo que la hace ideal para la confección de ropa de abrigo, mantas, y otros textiles. Además, la lana es biodegradable y renovable (Quintana et al., 2012).

Una de las características distintivas de la fibra de ovino es su estructura escamosa, que le permite atrapar aire y proporcionar un excelente aislamiento térmico. Esta propiedad es especialmente beneficiosa en climas fríos, ya que las prendas de lana ayudan a conservar el calor corporal. Además, la lana tiene una gran capacidad de absorción de humedad, lo que contribuye a mantener la piel seca al absorber el sudor sin perder sus propiedades térmicas. (Suárez et al., 2020).

En el contexto de la producción artesanal, la fibra de ovino es fundamental para muchas comunidades rurales, especialmente en regiones como los Andes. Estos productos no solo tienen un valor económico significativo, sino que también representan un patrimonio cultural y una unión con las tradiciones ancestrales. En los últimos años, ha habido un renovado interés en explorar el uso de colorantes naturales, como el *Polylepis incana* H.B.K., en el teñido de lana de ovino, buscando alternativas sostenibles que respeten el medio ambiente y fomenten el desarrollo económico local (Cardona et al., 2021).

### **a) Lana corriedale**

Es una fibra de oveja de alta calidad, reconocida por su vellón suave, voluminoso y de buena longitud. Posee una lana de grosor medio (24-27 micras), más suave que las lanas rústicas, lo que la hace ideal para prendas de abrigo como suéteres y bufandas. Destaca por su durabilidad, elasticidad y facilidad de tejido, siendo muy apreciada por artesanos. (Pérez, 2016).

### **b) Finura (Diámetro de Fibra - DF)**

La finura de la lana se refiere a su grosor promedio, medido en micras, y es el principal factor que determina su uso textil. Se clasifica como una lana de finura media o cruza fina, más gruesa que la Merino, pero más fina que las lanas largas, con un diámetro que oscila entre 24 y 27 micras (Huauya&gutierrez,2025)

### **c) Longitud de Mecha (LM)**

La longitud de la lana corresponde al crecimiento alcanzado durante un período, generalmente de un año, y es fundamental para el proceso de hilado. La lana Corriedale presenta una longitud considerable que facilita el hilado tanto a máquina como a mano, con un rango aproximado de 100 a 150 mm en 12 meses, aunque puede variar entre 75 y 125 mm según el manejo. (Huauya&gutierrez,2025)

### **d) Ondulación o Rizo (*Crimp*)**

La lana Corriedale presenta ondulaciones uniformes y definidas que le brindan elasticidad y volumen, con aproximadamente 5 a 8 ondulaciones por cada 25 mm de fibra (Huauya&gutierrez,2025)

## **2.2.2. Parámetros de calidad de la fibra de lana de ovino**

### **a) Diámetro de la lana**

El diámetro de la lana determina su uso en la industria textil, ya que influye en la suavidad y comodidad de las prendas. Depende de factores como la alimentación, salud, raza y clima. Según las Normas Técnicas Peruanas, la lana de 28 a 31 micras se considera intermedia,

combinando suavidad y resistencia (Pantoja et al., 2022). La lana con un diámetro de 28 a 31 micras se ubica en un nivel intermedio, combinando adecuadamente suavidad y resistencia. (Palacios et al., 2021).

#### **b) Longitud de la mecha**

La longitud de la fibra influye en el proceso textil, ya que las fibras largas permiten obtener hilos más finos y resistentes, mientras que las cortas son adecuadas para el cardado. La longitud ideal para el esquilado de lana ovina es de 8 a 15 cm, asegurando un buen rendimiento textil (Páres & Perezgrovas, 2009).

#### **c) Humedad**

La lana Corriedale posee una gran capacidad higroscópica, pudiendo absorber hasta el 50% de su peso en agua sin escurrir. Esta propiedad favorece el confort, ya que ayuda a regular la temperatura corporal y a repeler el polvo y la suciedad. Esta capacidad higroscópica es fundamental para el confort, ya que puede absorber el sudor y el vapor de agua, contribuyendo a mantener una temperatura corporal estable (Pantoja et al., 2022).

#### **d) Factor de confort**

El confort de la lana Corriedale se debe a su finura de 24 a 27 micras, tacto suave y buen equilibrio entre aislamiento térmico y transpirabilidad, brindando comodidad y calidez en las prendas. (Pantoja et al., 2022).

### **2.2.3. Proceso de teñido de la fibra de ovino**

El teñido de la lana de ovino implica varias fases, comenzando con la adsorción de las moléculas de colorante en la superficie de las fibras. Este proceso es seguido por la reacción química entre las moléculas de tinte y los grupos funcionales en la lana, lo que asegura la fijación del color. Finalmente, se eliminan los colorantes no adheridos para evitar que se desprendan durante el uso. La uniformidad y solidez del teñido dependen de varios factores, incluidos el tipo de tinte, la temperatura, el pH del baño de tinte, y el tiempo de exposición (Fischer, 2011).

### **a) Solidez del color**

Es un indicador de la durabilidad del colorante en la fibra de ovino. Se evalúa a través de pruebas que simulan condiciones de uso, como el lavado, la exposición a la luz y el frotamiento. La escala de solidez del color, según las normas AATCC, clasifica la resistencia del color desde "muy mala" hasta "excelente" (Palacios et al., 2021).

### **b) Ensayo de solidez del color**

La solidez del color al frote en húmedo evalúa la resistencia de un tejido teñido a la decoloración y a la transferencia de color cuando se frota con un paño blanco con una humedad estándar del 95–105 %. Su medición se basa en el grado de tinción que adquiere dicho paño y se clasifica en solidez al frote en seco y en húmedo. La prueba consiste en frotar un paño blanco sobre la muestra bajo condiciones controladas (Palacios-Ochoa et al., 2021). Según la norma AATCC, la evaluación de la solidez del color se realiza mediante la Escala de Solidez del Color, una tabla que establece los criterios de calificación de la resistencia del colorante frente a distintos agentes, como el lavado, la luz, el frotamiento y el sudor, cada uno con su propia escala de valoración (Hernández et al., 2020).

**Escala de grises:** La escala de grises es un método utilizado para evaluar la solidez del color en textiles, tanto en el cambio de color como en la transferencia o sangrado. Está conformada por pares de muestras de color gris y se clasifica en grados del 1 al 5, incluyendo valores intermedios, donde el grado 1 representa la menor solidez y el grado 5 la mayor (Cavenago y Córdova, 2014).

### **2.2.4. Colorante**

Los colorantes son sustancias químicas capaces de absorber selectivamente radiación en el espectro visible, lo que les permite exhibir propiedades cromáticas aplicables a diversos sustratos textiles (Zollinger, 2001; Shore, 1995). Químicamente, se reflexionan moléculas orgánicas que contienen grupos cromóforos, responsables de la absorción de luz, y grupos

auxocromos, que modifican e intensifican el color y contribuyen a la afinidad con las fibras (Bechtold & Pham, 2023; Zollinger, 2001).

La clasificación química de los colorantes se fundamenta principalmente en la naturaleza de sus grupos cromóforos, destacándose los sistemas azoicos, antraquinónicos, indigoides, polimetínicos y ftalocianínicos como las familias más representativas en la industria textil contemporánea (Shore, 1995; Zollinger, 2001). Por consiguiente, cada tipo cromofórico exhibe características distintivas en términos de intensidad colorística, estabilidad fotoquímica y afinidad con diferentes tipos de fibras textiles. (Bechtold & Pham, 2023; Zollinger, 2001).

El comportamiento tintóreo de los colorantes está determinado por factores termodinámicos y cinéticos que regulan los procesos de difusión, adsorción y fijación dentro de la fibra (Shore, 1995; Bechtold & Pham, 2023). En términos termodinámicos, la afinidad tintórea depende de la diferencia de potencial químico entre el colorante en solución y el adsorbido, lo cual define el equilibrio y el agotamiento del baño. Desde el enfoque cinético, la velocidad de migración del colorante hacia los sitios de fijación está influenciada por variables como la temperatura, el pH, la concentración iónica y los auxiliares químicos utilizados (Shore, 1995; Zollinger, 2001).

La química de los colorantes textiles ha experimentado una evolución significativa desde los primeros tintes naturales hasta los sofisticados colorantes sintéticos contemporáneos, impulsada por la necesidad de obtener colores más vibrantes, estables y reproducibles (Zollinger, 2001; Bechtold & Pham, 2023). No obstante, las crecientes preocupaciones ambientales y de sostenibilidad han renovado el interés científico hacia los colorantes de origen natural. (Shore, 1995; Bechtold & Pham, 2023). Consecuentemente, El pH del baño de tintura constituye un factor crítico, pues altera el estado de ionización tanto del colorante como de la fibra, afectando así la afinidad tintórea y la distribución final del color (Shore, 1995; Zollinger, 2001).

### **2.2.5. Colorante natural**

Son sustancias cromógenas provenientes de fuentes biológicas renovables principalmente vegetales, aunque también de microorganismos, minerales y animales y destacan por su origen biosintético y su compatibilidad ambiental (Bechtold & Mussak, 2010; Samanta et al., 2011). Han sido utilizados durante milenios como base de las tradiciones tintóreas antes del surgimiento de los colorantes sintéticos en el siglo XIX. Actualmente, su revalorización responde a criterios de sostenibilidad, biocompatibilidad y a la creciente demanda de productos textiles ecológicos (Garzón, 2008; Bechtold & Mussak, 2010)

Los colorantes naturales están formados por una amplia variedad de metabolitos secundarios como flavonoides, antocianinas, taninos, quinonas, carotenoides, clorofilas y otros compuestos fenólicos, cada uno con propiedades cromáticas y comportamiento tintóreo particulares (Samanta et al., 2011; Bechtold & Mussak, 2010). La diversidad estructural de estas moléculas determina tanto la gama de colores obtenibles como su estabilidad, afinidad por las fibras y unidades de fijación. Entre ellos, los flavonoides recalcan por incluir antocianinas que producen tonos rojos y azules, flavonas y flavonoles que generan amarillos, y taninos condensados responsables de tonalidades marrones y negras (Garzón, 2008; Samanta et al., 2011)

El comportamiento tintóreo de los colorantes naturales depende en gran medida del uso de mordientes metálicos, ya que por sí solos presentan baja afinidad hacia las fibras textiles (Bechtold & Mussak, 2010; Samanta et al., 2011). El mordentado permite la formación de complejos de coordinación entre los iones metálicos como aluminio, hierro, cobre o cromo y los grupos funcionales del colorante, los cuales se enlazan a su vez con los sitios reactivos de la fibra, mejorando así la fijación y la solidez del color. (Samanta et al., 2011; Bechtold & Mussak, 2010).

### **2.2.6. Colorantes vegetales**

Los colorantes vegetales constituyen la fracción mayoritaria y más diversificada dentro de los colorantes naturales, representando metabolitos secundarios especializados biosintéticamente producidos por las plantas como respuesta adaptativa a presiones ambientales y funciones fisiológicas específicas, incluyendo protección contra radiación ultravioleta, atracción de polinizadores, defensa contra herbívoros y regulación de procesos de crecimiento (Samanta et al., 2011; Garzón, 2008). Estos pigmentos fitoquímicos se distribuyen diferencialmente en diversos órganos vegetales como hojas, flores, frutos, cortezas, raíces y maderas, concentrándose frecuentemente en tejidos especializados donde ejercen sus funciones biológicas primarias. En este sentido, la diversidad estructural y funcional de los colorantes vegetales refleja la complejidad de los sistemas biosintéticos vegetales y sus estrategias evolutivas de supervivencia (Bechtold & Mussak, 2010; Samanta et al., 2011).

La clasificación bioquímica de los colorantes vegetales se fundamenta en las rutas biosintéticas de origen y las familias estructurales resultantes, destacándose los flavonoides como el grupo más extenso y químicamente diverso (Garzón, 2008; Bechtold & Mussak, 2010). Las antocianinas, pertenecientes a la subfamilia de flavonoides, son responsables de la gama cromática que abarca desde rojos intensos hasta azules profundos, manifestando estructuras glicosiladas de antocianidinas básicas como pelargonidina, cianidina, delphinidina, peonidina, petunidina y malvidina. Por consiguiente, la variabilidad en los patrones de glicosilación, acilación y metilación de estas antocianidinas genera una diversidad cromática excepcional que puede modularse adicionalmente mediante factores ambientales como pH, temperatura y copigmentación (Garzón, 2008; Samanta et al., 2011).

Los taninos hidrolizables, derivados del ácido gálico y del ácido elágico, proporcionan coloraciones amarillo-marrones y exhiben capacidad mordiente inherente debido a su afinidad

por iones metálicos. Además, los taninos condensados o proantocianidinas se caracterizan por estructuras poliméricas complejas de unidades flavonoides que generan coloraciones marrones intensas y negras, manifestando excelente afinidad hacia fibras proteicas mediante interacciones hidrofóbicas y enlaces por puentes de hidrógeno (Garzón, 2008; Bechtold & Mussak, 2010).

La aplicación textil de colorantes vegetales requiere consideraciones específicas relacionadas con la preparación del sustrato fibrilar, la formulación del baño de tintura, los procedimientos de mordentado y las condiciones de proceso que optimicen la fijación y desarrollen las propiedades de solidez requeridas (Bechtold & Mussak, 2010; Samanta et al., 2011). En consecuencia, el desarrollo de protocolos de tintura científicamente fundamentados para colorantes vegetales específicos constituye un área de investigación activa que combina conocimientos de química orgánica, fisicoquímica de superficies, ciencia de materiales y tecnología textil. La caracterización espectrofotométrica y colorimétrica de los efectos cromáticos obtenidos permite establecer correlaciones cuantitativas entre la composición química de los extractos vegetales y las propiedades tintóreas resultantes (Garzón, 2008; Bechtold & Mussak, 2010).

### **2.2.7. Queñua (*Polylepis incana* H.B.K.)**

El género *Polylepis incana* H.B.K. incluye unas veintiséis especies de arbustos y arbolitos pequeños, que se llaman también queñua o quewiña, una palabra derivada del término quechua "qiwiña". Estas especies son miembros de la tribu Sanguisorbeae y de la familia Rosaceae. La distribución natural de *Polylepis* se extiende a través de la Cordillera Andina, desde el norte de Venezuela, cruzando Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia, hasta alcanzar el noroeste argentino y el norte chileno. Esta amplia presencia geográfica refleja su notable capacidad de adaptación a los ecosistemas altoandinos, donde cumple un rol ecológico esencial en la conservación de

suelos, regulación hídrica y preservación de la biodiversidad propia de las zonas de alta montaña (Castro & Flores, 2015).

Este árbol, que también recibe los nombres de queñua, quenua o kewiña, se distingue por resistir climas extremos, poseer un tronco con cortezas superpuestas y crecer lentamente. Los bosques altoandinos son su hábitat. El Ministerio del Ambiente (2021) informa que hay 28 especies del género *Polylepis* que están repartidas a lo largo de las cordilleras; al menos 14 de ellas se encuentran en Perú (Chanove & Cárdenas, 2025).

Además, citan que las áreas principales para las variedades de *polylepis* en Perú son Ayacucho, Arequipa, Puno, Ancash, Cusco y Junín. Exceptuando el 6% de las especies que crecen a partir de los 1800 metros sobre el nivel del mar, el 94% de ellas se desarrolla desde los 3000 metros en adelante. Los bosques de *polylepis* son áreas húmedas, y su relevancia para los habitantes andinos radica en su habilidad para estabilizar el agua, reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, proteger la tierra, ser bellos desde el punto de vista paisajístico, albergar fauna y flora, servir como soporte para viviendas e usarse como medicina tradicional. (Mendoza, 2020).

Los colorantes naturales provienen de fuentes vegetales, animales o minerales (Sánchez, 2020). La queñua, perteneciente al género *Polylepis*, es una especie nativa de los Andes caracterizada por su resistencia a condiciones extremas (Mendoza & Cano, 2011). En el teñido textil se emplean principalmente sus hojas y corteza, permitiendo obtener diversas tonalidades según el método de extracción y el mordentado utilizado (Arias, 2018).

**Tabla 1.***Descripción Polylepis*

Nombre científico	Familia botánica	Nombre común	Descripción
Polylepis	Rosaceae	Queñua, quenual, ingual, kewiña.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altura: 4-15 m</li> <li>• Tallo: Torcido, con cortezas, color marrón rojizo</li> <li>• Hojas: Juntas en los extremos de las ramas, verdes y pequeñas de hasta 4 cm.</li> <li>• Flores: Racimo simple, hermafroditas, pequeñas de hasta 5 cm</li> </ul>

*Nota:* Programa Nacional de Alimentación Escolar Wali Warma (20<22).

**Tabla 2.***Características fisicoquímicas*

Escala	Factor de prueba	Calificación
1	Muy mala	Deficiente
2	Mala	Pobre
3	Regular	Aceptable
4	Buena	Buena
5	Muy buena	Excelente

*Nota:* Programa Nacional de Alimentación Escolar Wali Warma (2022).

**2.2.8. Características botánicas del Polylepis**

Las características botánicas del género *Polylepis* reflejan adaptaciones morfológicas y fisiológicas específicas a las condiciones ambientales extremas de los ecosistemas altoandinos,

manifestando una notable plasticidad fenotípica que ha permitido su exitosa colonización de hábitats de alta montaña (Kessler et al., 2014; Mendoza & Cano, 2012).

Morfológicamente, las especies de *Polylepis* se caracterizan por presentar un porte arbóreo o arbustivo de entre 2 y 15 metros de altura (ocasionalmente hasta 20 metros), con troncos frecuentemente retorcidos y una ramificación irregular que actúan como adaptaciones estructurales frente a las condiciones adversas de viento y los fuertes gradientes térmicos de las zonas altoandinas. La característica más distintiva del género es su corteza formada por múltiples láminas papiráceas de tonalidad rojiza a castaña que se exfolian de manera continua, rasgo que dio origen al nombre genérico derivado del griego *poly* (muchas) y *lepis* (cortezas). Esta corteza laminada constituye una adaptación térmica clave para la protección frente a las bajas temperaturas y la elevada radiación ultravioleta típica de los ecosistemas de gran altitud (Cuyckens & Renison, 2018; Kessler et al., 2014).

El sistema foliar de *Polylepis* presenta hojas compuestas pinnadas con folíolos pequeños, coriáceos y densamente pubescentes, características que representan adaptaciones xeromórficas para la conservación hídrica y la protección contra la desecación causada por los vientos intensos y la baja humedad relativa de los ambientes de altura (Mendoza & Cano, 2012; Toivonen et al., 2014). Los folíolos, que constituyen el carácter taxonómico más importante para la diferenciación específica, varían considerablemente en tamaño (generalmente 0.5-2.0 cm de longitud), forma (desde ovados hasta lineares), grosor y densidad de la pubescencia. La superficie foliar está cubierta por tricomas glandulares y eglandulares que secretan compuestos resinosos ricos en metabolitos secundarios, principalmente taninos, flavonoides y compuestos fenólicos, que cumplen funciones de protección contra la radiación UV, herbívoros y patógenos, y que potencialmente constituyen la base química de las propiedades colorantes de estas especies (Kessler et al., 2014; Toivonen et al., 2014).

### **2.2.9. Caracterización química del colorante natural de *Polylepis incana* H.B.K.**

Los análisis espectroscópicos permiten identificar los compuestos presentes en los colorantes naturales utilizados en procesos de teñido. Según Tacuri Robles (2008), los espectros FTIR muestran las absorciones características de grupos funcionales como O–H, C=O, C–O y enlaces aromáticos, los cuales revelan la presencia de compuestos fenólicos propios de colorantes vegetales. De esta manera, los espectros de RMN permiten observar los desplazamientos químicos (ppm) asociados a hidrógenos de estructuras aromáticas y alifáticas, confirmando la composición molecular del extracto pigmentario. (Canales & Huarasa, 2020).

La caracterización química del extracto de *Polylepis incana* H.B.K., mediante espectroscopía RMN<sup>1</sup>H, FTIR y UV–Vis demostró la presencia predominante de compuestos fenólicos, tales como flavonoides y taninos. El espectro RMN<sup>1</sup>H mostró señales aromáticas entre 5–8 ppm, atribuibles a protones de anillos aromáticos característicos de polifenoles. El análisis FTIR evidenció una banda ancha alrededor de 3400 cm<sup>-1</sup> correspondiente a grupos hidroxilo (O–H), así como señales entre 1600–1500 cm<sup>-1</sup> asociadas a vibraciones del anillo aromático. Por su parte, el espectro UV–Vis presentó un máximo de absorción cercano a 277 nm y una absorción creciente hacia la región de 350–450 nm, lo cual es consistente con cromóforos fenólicos conjugados responsables de la coloración. Tacuri, 2008) anexos.

El género *Polylepis incana* H.B.K., conocido comúnmente como queñua, comprende especies de arbustos y árboles pertenecientes a la familia Rosaceae que se extienden por toda la cordillera de los Andes, desde Argentina hasta Venezuela. Estas especies destacan por su adaptación a zonas de gran altitud y clima extremo. Además, Rosino Chirinos realizó investigaciones sobre la procedencia de tintes utilizados en tejidos del antiguo Perú, aportando al estudio de los colorantes naturales andinos (Ayros, 2022).

### 2.2.10. Clasificación taxonómica del género *Polylepis*

El *Polylepis* pertenece al reino Plantae, división Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, orden Rosales, familia Rosaceae,. El género se caracteriza por sus árboles y arbustos de los Andes, que a menudo presentan corteza rojiza y descascarada, y son importantes ecosistemas de alta montaña. (Mendoza & Cano, 2012; Segovia-Salcedo et al., 2018). La clasificación taxonómica del género *Polylepis* ha experimentado revisiones sistemáticas significativas debido a la complejidad morfológica del grupo y los avances en metodologías de análisis filogenético molecular, situándose actualmente dentro del sistema de clasificación siguiente. (Mendoza & Cano, 2012; Segovia-Salcedo et al., 2018):

División: Magnoliophyta (Angiospermas)

Clase: Magnoliopsida (Dicotiledóneas)

Orden: Rosales

Familia: Rosaceae

Género: *Polylepis* Ruiz & Pav.

Especie: *Polylepis incana* H.B.K

(Mendoza & Cano, 2012).

La familia Rosaceae, que contiene cerca de 100 géneros y 3000 especies repartidas por todo el mundo, se segmenta en 15 tribus y cuatro subfamilias. La tribu Sanguisorbeae es de un interés biogeográfico especial, ya que está presente en todos los continentes, pero con mayor diversidad en el hemisferio sur (Mendoza, 2011; Cuyckens & Renison, 2018). Dentro de Sanguisorbeae, el género *Polylepis* mantiene relaciones filogenéticas estrechas con *Acaena*, *Margyricarpus* y *Tetraglochin*, géneros que comparten características morfológicas como corteza exfoliante, inflorescencias axilares y adaptaciones a ambientes montanos, sugiriendo un origen evolutivo

común mediante procesos de especiación altoandina durante el Pleistoceno (Segovia-Salcedo et al., 2018; Kerr, 2003).

La diversidad específica del género *Polylepis* ha sido objeto de debate taxonómico, con estimaciones que oscilan entre 28 y 45 especies según diferentes tratamientos sistemáticos, reflejando la complejidad de la delimitación específica causada por alta plasticidad morfológica, hibridación interespecífica, poliploidía y diferenciación evolutiva relativamente reciente (Segovia-Salcedo et al., 2018; Boza et al., 2019). Los estudios filogenéticos más recientes basados en marcadores moleculares han permitido identificar grupos evolutivos principales dentro del género, incluyendo el complejo "sericea", grupo "reticulata" y complejo "incana", (Kerr, 2003; Schmidt-Lebuhn et al., 2006). En el Perú, se reconocen actualmente 14 especies de *Polylepis*, de las cuales tres son endémicas del territorio nacional (*P. canoi*, *P. flavipila*, *P. rodolfo-vasquezii*), distribuidas principalmente en los departamentos de Cusco, Arequipa, Puno, Ayacucho, Ancash y Junín, representando aproximadamente el 50% de la diversidad específica conocida del género a nivel continental (Mendoza & Cano, 2012; Mendoza, 2011).

#### **2.2.11. Usos del género *Polylepis***

El *Polylepis*, conocido generalmente como queñua, es un género de árboles nativos de los Andes que posee múltiples usos ecológicos y sociales. Se utiliza principalmente para la reforestación de zonas altoandinas debido a su resistencia al frío y su capacidad para conservar agua y proteger suelos contra la erosión (Ramos et al., 2013). Además, su madera es valorada como fuente de combustible y, en algunas comunidades, se emplea en la construcción rústica. También tiene jerarquía cultural y medicinal, ya que algunas especies son usadas en infusiones para tratar afecciones respiratorias (Cuyckens & Renison, 2018).

### **2.2.12. Extracción de colorante natural**

La extracción de colorantes naturales compone un proceso fisicoquímico complejo que involucra la separación selectiva de metabolitos secundarios bioactivos desde matrices vegetales complejas mediante técnicas específicas que permiten la obtención de principios cromógenos con pureza y concentración adecuadas para aplicaciones tintóreas (Samanta et al., 2011; Bechtold & Mussak, 2010). Este procedimiento fundamental determina tanto la calidad como la eficiencia de los colorantes naturales obtenidos, requiriendo un conocimiento profundo de la naturaleza química de los compuestos target y las propiedades fisicoquímicas de la matriz vegetal de origen. En este sentido, la extracción representa la etapa crítica que condiciona las propiedades tintóreas finales del colorante, incluyendo intensidad cromática, estabilidad química y afinidad hacia diferentes tipos de fibras textiles (Garzón, 2008; Samanta et al., 2011).

Los métodos de extracción de colorantes naturales se clasifican fundamentalmente en técnicas convencionales y no convencionales, cada una caracterizada por mecanismos de transferencia de masa definidos y parámetros operacionales diferenciados (Bechtold & Mussak, 2010; Samanta et al., 2011). Las técnicas convencionales incluyen maceración, decocción, infusión y extracción por reflujo, basadas en el contacto directo entre fornal y material vegetal durante períodos prolongados con o sin aplicación de calor. Por otra parte, las técnicas no convencionales perciben extracción asistida por ultrasonido, extracción con fluidos supercríticos, extracción asistida por microondas y métodos enzimáticos, caracterizados por mayor eficiencia extractiva, menor consumo energético y tiempos de procesamiento reducidos (Samanta et al., 2011; Bechtold & Mussak, 2010).

### 2.2.13. Teñido textil

El teñido textil constituye un proceso fisicoquímico complejo mediante el cual las moléculas de colorante se transfieren desde una solución acuosa hacia el interior de las fibras textiles, estableciendo interacciones específicas que resultan en la coloración intacto del sustrato fibrilar (Shore, 1995; Lewis, 1992). Este fenómeno involucra múltiples etapas secuenciales incluyendo difusión externa del colorante desde la solución hacia la superficie fibrilar, adsorción en la interfase fibra-solución, penetración a través del arreglo poroso de la fibra y fijación mediante diversos mecanismos de enlace físico o químico. (Bechtold & Pham, 2023; Shore, 1995).

La termodinámica del teñido se basa en el equilibrio entre el colorante en el baño y en la fibra, regulado por la afinidad tintórea, que determina cuánto colorante puede fijarse. Esta afinidad depende del potencial químico del colorante en cada fase y aumenta con ajustes como el pH adecuado o modificaciones de la fibra, lo que mejora el agotamiento y la eficiencia del proceso (Lewis, 1992; Shore, 1995; Bechtold & Pham, 2023)

La fijación de colorantes en fibras textiles depende del tipo de fibra y del colorante, y se basa en interacciones intermoleculares específicas. En fibras proteicas, los colorantes ácidos y básicos se unen mediante interacciones iónicas con grupos funcionales cargados, mientras que los colorantes mordientes forman complejos de coordinación a través de iones metálicos. (Lewis, 1992; Shore, 1995; Bechtold & Pham, 2023).

La cinética del teñido está determinada por las velocidades de transferencia de masa del colorante hacia la fibra, influenciadas por gradientes de concentración, estructura fibrilar y condiciones operativas como temperatura, agitación y pH. (Lewis, 1992; Shore, 1995; Bechtold & Pham, 2023).

La calidad del teñido se evalúa mediante parámetros objetivos que consideran intensidad colorística, uniformidad, reproducibilidad y solidez del color. La colorimetría en el sistema CIELAB permite cuantificar el color y compararlo con estándares establecidos. (Lewis, 1992; Shore, 1995; Bechtold & Pham, 2023).

#### **2.2.14. Procesos de teñido**

Los procesos de teñido textil se clasifican según diversos criterios incluyendo el estado físico del sustrato a teñir, el método de aplicación del colorante, las condiciones operacionales empleadas y el tipo de maquinaria utilizada, abarcando desde técnicas artesanales tradicionales hasta procesos industriales automatizados de alta eficiencia (Shore, 1995; Bechtold & Pham, 2023). Esta diversidad de procesos responde a la necesidad de adaptar las condiciones de teñido a las características específicas de diferentes combinaciones fibra-colorante, requerimientos de calidad del producto final y consideraciones económicas y ambientales del proceso productivo. (Lewis, 1992; Shore, 1995).

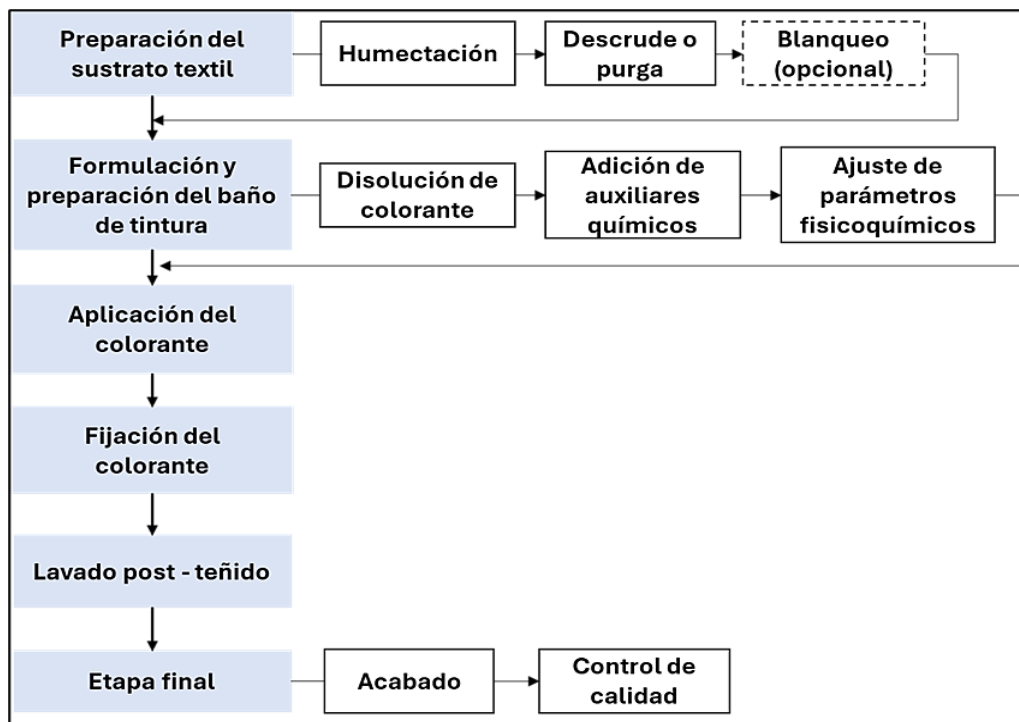
El teñido por agotamiento representa el proceso más ampliamente utilizado en la industria textil, caracterizado por la inmersión completa del sustrato textil en un baño de tintura donde el colorante se transfiere gradualmente desde la solución hacia las fibras hasta alcanzar el equilibrio de distribución (Bechtold & Pham, 2023; Shore, 1995). Este proceso se realiza típicamente en sistemas discontinuos (batch) donde lotes específicos de material textil se procesan secuencialmente en autoclaves, jets o maquinaria similar bajo condiciones controladas de temperatura, tiempo y agitación. (Lewis, 1992; Bechtold & Pham, 2023).

Los procesos de teñido semi continuo integran características de los métodos discontinuo y continuo, permitiendo aprovechar sus ventajas técnicas y operativas. Un ejemplo destacado es el proceso *cold pad-batch*, que consiste en la impregnación continua del tejido con colorante y

álcali, seguida de un reposo controlado para la fijación. (Bechtold & Pham, 2023; Shore, 1995; Lewis, 1992).

### 2.2.15. Etapas del proceso de teñido

Las etapas del proceso de teñido textil comprenden una secuencia ordenada de operaciones unitarias diseñadas para lograr la transferencia eficiente y fijación permanente de colorantes desde un medio líquido hacia el interior de las fibras textiles, cada una caracterizada por objetivos específicos, parámetros operacionales calificadores y mecanismos fisicoquímicos distintivos (Lewis, 1992; Shore, 1995). Esta secuencia debe diseñarse considerando las propiedades del material textil, el tipo de colorante, la calidad, según la información recopilada por diversos autores (Shore, 1995; Lewis, 1992; Bechtold & Pham, 2023) el esquema general del proceso de teñido se describe en la Figura 1.



**Figura 1.**

*flujograma del proceso de teñido*

La etapa de preparación del sustrato textil constituye el fundamento del proceso de teñido, involucrando la eliminación de impurezas, el acondicionamiento de la estructura fibrilar y la aplicación de tratamientos previos que faciliten la penetración y fijación posterior del colorante (Shore, 1995; Lewis, 1992). La humectación representa el primer paso crítico, particularmente importante para fibras hidrofóbicas o materiales con tratamientos de acabado que reduzcan la mojabilidad superficial. El descrude o purga elimina aceites, ceras, restos de auxiliares de hilatura y otras impurezas orgánicas que podrían interferir con la uniformidad del teñido o la afinidad del colorante. Además, el blanqueo opcional remueve pigmentos naturales y proporciona una base neutra que permita el desarrollo óptimo del color deseado (Bechtold & Pham, 2023; Shore, 1995).

La preparación del baño de tintura comprende la disolución adecuada del colorante, la incorporación de auxiliares químicos y el ajuste de los parámetros fisicoquímicos del medio para asegurar condiciones óptimas de teñido. La disolución suele realizarse mediante soluciones madre y filtración para evitar partículas insolubles. Los auxiliares —como niveladores, electrolitos, tampones y humectantes— regulan la uniformidad, el agotamiento y la penetración del colorante. Además, el control del pH es esencial para favorecer la afinidad colorante-fibra y activar los mecanismos de fijación correspondientes (Lewis, 1992; Shore, 1995; Bechtold & Pham, 2023).

La etapa de aplicación del colorante comprende la inmersión del sustrato textil en el baño de tintura preparado bajo condiciones controladas de temperatura, tiempo y agitación que promuevan la transferencia uniforme del colorante hacia las fibras (Bechtold & Pham, 2023; Shore, 1995). La etapa de fijación del colorante involucra tratamientos específicos diseñados para promover la formación de enlaces permanentes entre las moléculas de colorante y los sitios reactivos de las fibras (Shore, 1995; Lewis, 1992).

La etapa de lavado post-teñido busca eliminar el colorante no fijado, los residuos de auxiliares y los subproductos de reacción que puedan afectar la calidad del material (Lewis, 1992; Bechtold & Pham, 2023). Luego, el acabado y el control de calidad incluyen tratamientos para optimizar propiedades del producto y la evaluación de parámetros como intensidad, uniformidad, solidez y características físicas (Bechtold & Pham, 2023; Shore, 1995). El control de calidad comprende mediciones colorimétricas, pruebas de solidez y evaluaciones de uniformidad para asegurar que el teñido cumpla con las especificaciones y detectar posibles fallas (Lewis, 1992; Bechtold & Pham, 2023).

#### **2.2.16. Parámetros que influyen en el proceso de teñido**

Los parámetros que influyen en el proceso de teñido textil constituyen variables físicas, químicas y operacionales que determinan directamente la eficiencia de transferencia del colorante, la uniformidad de la coloración obtenida, la solidez del color resultante y la calidad global del producto final (Shore, 1995; Bechtold & Pham, 2023). Estos parámetros interactúan de manera compleja y sinérgica, requiriendo un enfoque sistemático para su optimización que considere no solamente los efectos individuales sino también las interacciones entre variables y sus impactos combinados sobre el resultado del proceso. (Lewis, 1992; Shore, 1995).

La temperatura es un parámetro determinante en el teñido debido a su influencia sobre la solubilidad del colorante, la difusión en la fibra, la cinética de fijación y la estabilidad química del sistema. Su incremento acelera la difusión del colorante de acuerdo con la ecuación de Arrhenius, favoreciendo la penetración y reduciendo los tiempos de equilibrio. No obstante, temperaturas demasiado altas pueden degradar colorantes termolábiles como antocianinas y alterar las propiedades de las fibras. Por ello, la selección de la temperatura óptima implica equilibrar la aceleración cinética con la conservación de la estabilidad química de los materiales involucrados (Bechtold & Pham, 2023; Lewis, 1992; Shore, 1995).

El pH del medio de teñido influye fundamentalmente los mecanismos de interacción colorante-fibra, la estabilidad química de los colorantes y el estado de ionización de los grupos funcionales tanto en colorantes como en fibras (Lewis, 1992; Shore, 1995).

El tiempo de contacto entre el colorante y la fibra es un factor clave en la penetración, fijación y uniformidad del teñido. Tiempos cortos generan teñidos superficiales con baja solidez y distribución irregular del color, mientras que tiempos excesivos pueden inducir reacciones secundarias o degradación de componentes sensibles. (Bechtold & Pham, 2023; Lewis, 1992; Shore, 1995).

El volumen de colorante en el baño de tintura determina directamente la intensidad colorística alcanzable y afecta la cinética de transferencia del colorante hacia las fibras (Bechtold & Pham, 2023; Lewis, 1992).

La relación de baño, definida como la relación volumétrica entre el baño de tintura y el peso del material textil, influye múltiples aspectos del proceso incluyendo uniformidad de teñido, eficiencia de utilización de colorante, consumo de agua y energía (Lewis, 1992; Shore, 1995).

La intensidad óptima depende de la reología del baño, la geometría del equipo y la resistencia mecánica del sustrato. Además, el uso de auxiliares como electrolitos, niveladores, humectantes y estabilizantes altera significativamente el comportamiento del sistema, por lo que su optimización debe considerarse de manera integral con los demás parámetros del proceso (Lewis, 1992; Shore, 1995; Bechtold & Pham, 2023).

### **2.2.17. Mordiente**

Los mordientes son auxiliares esenciales para el teñido, especialmente con colorantes naturales, porque permiten formar enlaces químicos estables entre el colorante y la fibra, mejorando la

afinidad tintórea, la intensidad y la solidez del color (Bechtold & Mussak, 2010; Samanta et al., 2011). El término proviene del francés *mordre* (“morder”), aludiendo a su capacidad para unirse firmemente tanto al colorante como a la fibra mediante la formación de complejos ternarios estables fibra-mordiente-colorante. Tiene que ser crucial en el teñido natural, ya que muchos colorantes vegetales poseen baja afinidad directa por las fibras (Lewis, 1992; Bechtold & Mussak, 2010)

Los métodos de aplicación de mordientes incluyen pre-mordentado, mordentado simultáneo y post-mordentado, cada uno caracterizado por secuencias específicas de tratamiento y efectos diferenciados sobre las propiedades del teñido final (Lewis, 1992; Samanta et al., 2011). El pre-mordentado involucra el tratamiento previo de las fibras con la solución de mordiente antes de la aplicación del colorante, permitiendo la saturación completa de los sitios de coordinación disponibles y garantizando uniformidad en la distribución del mordiente. El mordentado simultáneo combina colorante y mordiente en un solo baño de tratamiento, ofreciendo ventajas operacionales, pero requiriendo control cuidadoso para evitar precipitación prematura o formación de complejos en solución. El post-mordentado aplica el mordiente después del teñido para modificar la tonalidad obtenida o mejorar la solidez del color (Bechtold & Mussak, 2010; Lewis, 1992).

#### **2.2.18. Sulfato de aluminio**

[Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>] es uno de los mordientes metálicos más usados en el sector textil, porque se puede usar como agente quelante eficiente y tiene una seguridad medioambiental relativamente alta en comparación con otros mordientes metálicos. Además, posee la capacidad de crear complejos estables con diversos colorantes naturales (Samanta et al., 2011; Bechtold & Mussak, 2010). Esta sal inorgánica, que se distingue por su solubilidad significativa en agua y su habilidad para liberar iones Al<sup>3+</sup> en una solución acuosa, funciona como centro de coordinación

y hace posible la creación de enlaces químicos estables entre fibras textiles y colorantes naturales a través de procesos de quelación molecular. En este sentido, el sulfato de aluminio representa una alternativa técnica y ambientalmente superior a mordientes tradicionales basados en metales pesados como cromo, cobre o hierro (Lewis, 1992; Samanta et al., 2011).

Las propiedades fisicoquímicas del sulfato de aluminio determinan directamente su efectividad como mordiente y sus características de manipulación en procesos industriales (Bechtold & Mussak, 2010; Samanta et al., 2011). Este compuesto se presenta típicamente como cristales blancos higroscópicos con fórmula  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  en su forma hidratada comercial, exhibiendo alta solubilidad en agua (aproximadamente 370 g/L a 20°C) que facilita la preparación de soluciones concentradas para aplicaciones de mordentado. La disociación en solución acuosa libera iones  $\text{Al}^{3+}$  que constituyen los centros activos de coordinación, mientras que los iones sulfato proporcionan balance de carga y pueden participar en interacciones iónicas secundarias. Por consiguiente, el comportamiento químico del sulfato de aluminio en solución se caracteriza por tendencias hacia hidrólisis en condiciones alcalinas y formación de especies poliméricas de aluminio que afectan la disponibilidad de sitios de coordinación activos (Lewis, 1992; Bechtold & Mussak, 2010).

Las ventajas del sulfato de aluminio como mordiente incluyen su alta eficiencia quelante, especialmente con colorantes fenólicos naturales, su capacidad para producir colores brillantes y luminosos, su relativa estabilidad química y su menor toxicidad comparada con mordientes basados en metales pesados (Samanta et al., 2011; Bechtold & Mussak, 2010).

Las limitaciones del sulfato de aluminio incluyen su tendencia a hidrolizarse en medios alcalinos, su capacidad de generar rigidez en las fibras cuando se emplea en exceso y su menor eficacia con algunos colorantes naturales en comparación con otros mordientes metálicos (Bechtold & Mussak, 2010; Samanta et al., 2011).

### **2.2.19. Fibras textiles**

La etapa de lavado post-teñido elimina el colorante no fijado, los residuos de auxiliares y los subproductos de reacción que puedan afectar la calidad final (Lewis, 1992; Bechtold & Pham, 2023). Posteriormente, el acabado y el control de calidad consideran tratamientos para optimizar propiedades y la evaluación de intensidad, uniformidad, solidez y aspectos físicos del material (Bechtold & Pham, 2023; Shore, 1995). El control de calidad incluye mediciones colorimétricas, pruebas de solidez y análisis de uniformidad para verificar el cumplimiento de las especificaciones y detectar irregularidades (Lewis, 1992; Bechtold & Pham, 2023).

Las fibras vegetales están compuestas principalmente por celulosa y abarcan materiales como algodón, lino, cáñamo y ramio, caracterizados por su naturaleza hidrofílica, biocompatible y biodegradable (Simpson & Crawshaw, 2002; Bechtold & Pham, 2023).

Las fibras naturales de origen animal están constituidas principalmente por proteínas estructurales, siendo la lana (queratina) y la seda (fibroína) las más importantes comercialmente, caracterizadas por su naturaleza anfótera, excelente afinidad tintórea y propiedades de confort excepcionales (Simpson & Crawshaw, 2002; Lewis, 1992). La queratina de la lana presenta una estructura compleja con regiones cristalinas  $\alpha$ -helicoidales embebidas en una matriz amorfa rica en azufre, proporcionando sitios de interacción diversos para colorantes incluyendo grupos amino, carboxilo, hidroxilo fenólico e imidazólico. Esta diversidad de grupos funcionales confiere a la lana afinidad total prácticamente todos los tipos de colorantes, incluyendo ácidos, básicos, reactivos, mordientes y naturales. Además, el carácter anfótero de las proteínas permite el control del comportamiento tintóreo mediante ajuste del pH del medio (Bechtold & Pham, 2023; Simpson & Crawshaw, 2002).

El comportamiento tintóreo de las fibras depende de factores estructurales como cristalinidad, orientación molecular, porosidad y accesibilidad, así como de propiedades químicas como la naturaleza de los grupos funcionales, la hidrofilia, la carga superficial y la estabilidad química (Simpson & Crawshaw, 2002; Bechtold & Pham, 2023).

#### **2.2.20. Solidez del color al lavado**

La Asociación Estadounidense de Coloristas y Químicos Textiles fue la fuente referencial para llevar a cabo la evaluación, utilizando el método AATCC 61 y siguiendo las pautas definidas en la Norma Técnica Peruana NTP 231.008:2015, persiguen como objetivo simular el desgaste cromático que sufre un tejido luego de varios lavados con jabón o detergente en una solución de agua blanda. Esta evaluación se enfoca en la resistencia del color al lavado manual con jabón en tejidos artesanales, bajo condiciones particulares según la clase de producto (Palacios et al., 2021). La cantidad de esferas metálicas empleadas, la relación entre el baño y la materia, el tiempo y la temperatura del lavado son algunos de los factores que se tienen en cuenta. Las directrices de las normativas, tanto nacionales como internacionales, rigen la acción mecánica (Larco et al., 2022).

Una vez finalizado el proceso, la muestra es enjuagada, secada y analizada mediante la escala de grises, valorando tanto la alteración del color original como la transferencia hacia otras muestras (Cachay et al., 2024). La elección del tipo de lavado industrial o convencional depende principalmente del tipo de fibra. Por ejemplo, materiales delicados como la alpaca requieren ciclos suaves, mientras que prendas de algodón o ropa de trabajo toleran procesos más intensos (Huamani, 2024).

#### **2.2.21. Solidez del color al frote**

La Norma Técnica Peruana NTP 231.042:2009 (actualizada en 2019) y el método internacional AATCC Test Method 8 establecen el procedimiento para estudiar la solidez del color al frote,

determinando la cantidad de pigmento que se transfiere desde un tejido coloreado hacia otra superficie por fricción (Ayala, 2023). Este método aplica a cualquier tipo de textil, independientemente de la fibra o del proceso de coloración. Una baja resistencia al frote puede causar manchas en prendas claras o sin teñir, especialmente durante el uso o el lavado; por ejemplo, cuando un tinte mal fijado se transfiere a otras telas, como ocurre con pijamas que manchan las sábanas (Zavala et al., 2018). Por ello, la estabilidad del color al frote es un parámetro crítico en la industria textil.

#### **2.2.21. Solidez del color a la luz**

La Asociación Estadounidense de Químicos y Coloristas Textiles, a través del AATCC Test Method 16, y la Norma Técnica Peruana NTP 231.183:1986 (actualizada en el año 2020), definen los métodos para medir la resistencia del color a la luz en telas artesanales. Esta propiedad se refiere a la habilidad de un textil para mantener su color original después de estar expuesto a fuentes luminosas, ya sea solar o artificial. La prueba se realiza colocando una muestra del tejido junto a un patrón de referencia, exponiéndolos de manera simultánea bajo condiciones controladas de iluminación (Aguilar & Beltrán, 2022).

#### **2.2.23. Escala de grises**

La escala que está constituida por pares de muestras de gris, donde cada uno simboliza un contraste o una secuencia cromática diferente según los grados numéricos de estabilidad del color. Según Guzmán et al. (2011), la transferencia de color (sangrado o manchado), el cambio de color y la escala de grises son fenómenos que ocurren. Las escalas de grises son hojas utilizadas para examinar la estabilidad del color en los tejidos. La clasificación cuenta con 9 niveles, que oscilan entre el 1 y el 5, incluyendo valores intermedios; el nivel 1 es el más bajo en términos de solidez, mientras que el nivel 5 es el más alto. De acuerdo con la Norma Técnica Peruana NTP 231.005:2014 (actualizada en 2019), el cambio de color se puede analizar por medio de una escala de grises. Esta escala facilita la comparación entre el tono inicial y el que

se obtiene después del tratamiento, lo que permite evaluar las alteraciones del material teñido tras procesos como frote, exposición a la luz o lavado.

**Escala de tonos de gris para modificar el color:** Para examinar cómo cambia el color de un material teñido después de haber sido tratado (lavado, frote o luz), cada nivel consta de dos áreas distintas: el tono inicial se puede ver en gris neutro del lado izquierdo, y el cambio que ocurre tras el tratamiento se muestra también en gris neutro, pero del lado derecho. Esta evaluación se fundamenta en los criterios fijados por la Norma Técnica Peruana NTP 231.005:2014, que fue actualizada más tarde, en el año 2019.

**Escala de tonos grises para la transferencia de color (manchado):** Esta prueba, fundamentada en la Norma Técnica Peruana NTP 231.004:2014 (actualizada en 2019), evalúa el traspaso de color del material tintado a un tejido blanco de control tras ser sometido a diversos tratamientos (lavado, frote y luz). Cada grado tiene dos zonas definidas: la zona blanca de la izquierda, que simboliza el color original del testigo; y la zona de la derecha, gris neutro, que indica el color que el testigo obtuvo tras el tratamiento.

#### **2.2.24. Diseño de experimentos**

Dentro del ámbito industrial, es habitual realizar ensayos experimentales con el propósito de obtener información sobre el comportamiento de un sistema o proceso específico (Hernández et al., 2014). Un experimento es un conjunto de pruebas donde se modifican deliberadamente variables de entrada para analizar su efecto sobre las variables de salida, permitiendo comprender relaciones causales y optimizar procesos. (Ponce et al., 2021).

##### **a) Diseño estadístico de experimentos**

De acuerdo con Hernández et al. (2014), El diseño estadístico de experimentos permite planificar, ejecutar y analizar pruebas de forma estructurada para obtener resultados confiables y optimizar procesos. Su finalidad es lograr procesos estables frente a variaciones externas

mediante el uso de herramientas estadísticas. Incluye conceptos como factor, tratamiento, unidad experimental, efecto, interacción y réplica. (Salazar & Zapata, 2009).

### **b) Diseño factorial**

Negrón et al. (2017) El diseño factorial  $2^k$  es uno de los más utilizados en experimentación, donde  $k$  representa el número de factores estudiados. Cada factor tiene dos niveles y el total de combinaciones experimentales se determina mediante la expresión  $2^k, 2^k, 2^k$ . Este diseño permite analizar de forma eficiente los efectos individuales y las interacciones entre los factores. (Ávila et al., 2020).

### **c) ANOVA**

La técnica estadística conocida como análisis de varianza (ANOVA) sirve para determinar y evaluar las causas de variación en una población. Su propósito es dividir la variabilidad total en los efectos de los factores, las interacciones y el error experimental. Esto permite establecer si las discrepancias detectadas son significativas desde el punto de vista estadístico. (Hernández et al., 2014; Boza et al., 2022).

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

Los laboratorios de la Escuela Profesional de Ingeniería Textil y Confecciones, que pertenece a la Universidad Nacional de Juliaca, fueron el escenario en el cual se llevó a cabo la etapa experimental del estudio aquí presentado. El proceso de tintorería se llevó a cabo en este espacio, comenzando con la preparación de los colorantes, los auxiliares textiles y la materia prima. La institución está situada a 3824 metros sobre el nivel del mar, en el distrito de San Miguel, que pertenece a la provincia de San Román y al departamento de Puno. Tiene coordenadas geográficas: latitud sur 15°29'36" S y latitud oeste 70°8'8" O. La lana de oveja corriedale fue usada para representar el hilado, colorante extraído de las cortezas de *Polylepis incana* H.B.K. equipos para el procedimiento y control de calidad.

- Hilado de ovino corriedale
- Colorante natural extraído de las cortezas de *Polylepis incana* H.B.K.,.
- Mordiente sulfato de aluminio, Tela multifibra (Perú químicos)
- Humectante/ detergente Invadina Lun, marca Química Suiza.
- Máquina de teñido.
- Escala de grises al cambio y transferencia de color.

#### 3.2. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

##### 3.2.1. Tipo de investigación

Es de carácter cuantitativo. Se aclara que este método se fundamenta en mediciones numéricas y utiliza la recopilación de todos los datos, empleando la estadística de manera continua para verificar la hipótesis y responder a las interrogantes del trabajo de indagación sobre el teñido

con colorante natural de las cortezas de *Polylepis incana* H.B.K., así como acerca de la solidez del color en lana ovina corriedale, Juliaca 2022 (Hernández et al., 2014). La indagación es de tipo experimental y consiste en someter un objeto o un grupo de personas a ciertas condiciones que estimulan o a tratamientos (variable independiente) para, después, examinar las respuestas o los resultados generados (variables dependientes).

### **3.2.2. Nivel de investigación**

La exploración se encuentra en un nivel explicativo: va más allá de la creación de conceptos o la descripción de relaciones entre ellos, ya que su objetivo es determinar las causas de los fenómenos y eventos sociales o físicos. Que tiene como objetivo el explicar por qué sucede un fenómeno, en qué circunstancias se produce o por qué existe una relación entre dos o más variables (Hernández et al., 2014).

### **3.2.3. Diseño experimental**

El diseño factorial  $2^3$  examina el efecto de tres elementos en dos grados de cada uno. Además, abarca ocho clases distintas de tratamiento ( $2^3 = 8$ ). Los componentes a analizar son A, B y C; al mismo tiempo, los totales observados en cada uno de los 8 tratamientos (A, B, AB, C, AC, BC y ABC) están dispuestos en función de su secuencia estándar (Boza et al., 2022). El mordiente, el tiempo y la cantidad de colorante fueron los tres componentes que se consideraron en la investigación. Cada uno tiene dos niveles, dando lugar a un total de ocho procedimientos con tres repeticiones. Esto significa que se llevó a cabo una investigación con tres variables controlables sobre el teñido con colorante natural de la corteza de queñua (*Polylepis incana* H.B.K.) en función de la firmeza del color, siendo esta última la variable dependiente.

**Tabla 3.***Diseño experimental de solidez al color*

Nro.	Combinación	A	B	C
		volumen de colorante (ml)	mordiente (gr)	tiempo (min)
1	-1	200	1	45
2	A	300	1	45
3	B	200	1.5	45
4	AB	300	1.5	45
5	C	200	1	60
6	AC	300	1	60
7	BC	200	1.5	60
8	ABC	300	1.5	60

*Nota:* elaboración propia.

La diversificación del volumen de extracto (200 ml y 300 ml) influye directamente en la disponibilidad de pigmento para lana. Al trabajar con relaciones de baño 20:1 y 30:1 utilizando extracto obtenido, se evaluó el potencial máximo de teñido y la fijación del *Polylepis* en condiciones de alta concentración de taninos. Esto permitió identificar el volumen óptimo de extracto necesario para lograr una buena saturación del color sin generar desperdicio de material vegetal, optimizando la eficiencia del teñido natural.

Con relación a la cantidad de mordiente de sulfato de aluminio, se dosificó en oficio del peso de fibra seca, manteniéndose constante en 10 gr por muestra. Los compuestos fenólicos y taninos del *Polylepis* requieren la formación de complejos organometálicos con los iones metálicos del mordiente para mejorar la afinidad química con la fibra y la solidez del color. Se seleccionaron niveles de 10% y 15%, según antecedentes de la literatura sobre teñido natural andino.

### **3.3. MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS**

#### **3.3.1. Materiales de estudio**

- Hilo de ovino corriedale
- Las cortezas de la queñua (*Polylepis incana H.B.K.*)

#### **3.3.2. Materiales y equipos de laboratorio**

Los instrumentos y materiales que se emplean en el laboratorio son: balanza analítica, frasco de 1000 ml, tubos de ensayo, estufa a gas (con dos quemadores), pH-metro, probeta de 250 ml, pipeta, piseta, pinzas, Gotero, mortero, escalas de grises, luna de reloj (o luneta), varilla para agitación y ollas hechas con acero inoxidable. Además, existen equipos para realizar pruebas de solidez al roce o al frote (Abrasímetro Crockmeter), al lavado (Gyrowash) y para teñir muestras (Rotacolor).

#### **3.3.3. Otros equipos y materiales**

Los instrumentos y elementos que se emplean son los siguientes: cernidor de metal, cronómetro, etiquetas autoadhesivas, cartulina de color negro, cinta para embalar, cinta masking, tijeras metálicas, marcador indeleble, cuaderno para apuntar cosas, cinta métrica, bolígrafos, guantes desechables y mascarillas quirúrgicas.

#### **3.3.4. Insumos**

Los materiales empleados en la investigación son: sulfato de aluminio mordiente, colorante natural extraído de las cortezas de queñua *Polylepis incana H.B.K.*, agua blanda, detergente Invadina Da e hilo de oveja.

### **3.3.5. Procedimiento de obtención del colorante natural**

#### **a) Recolección de materia prima**

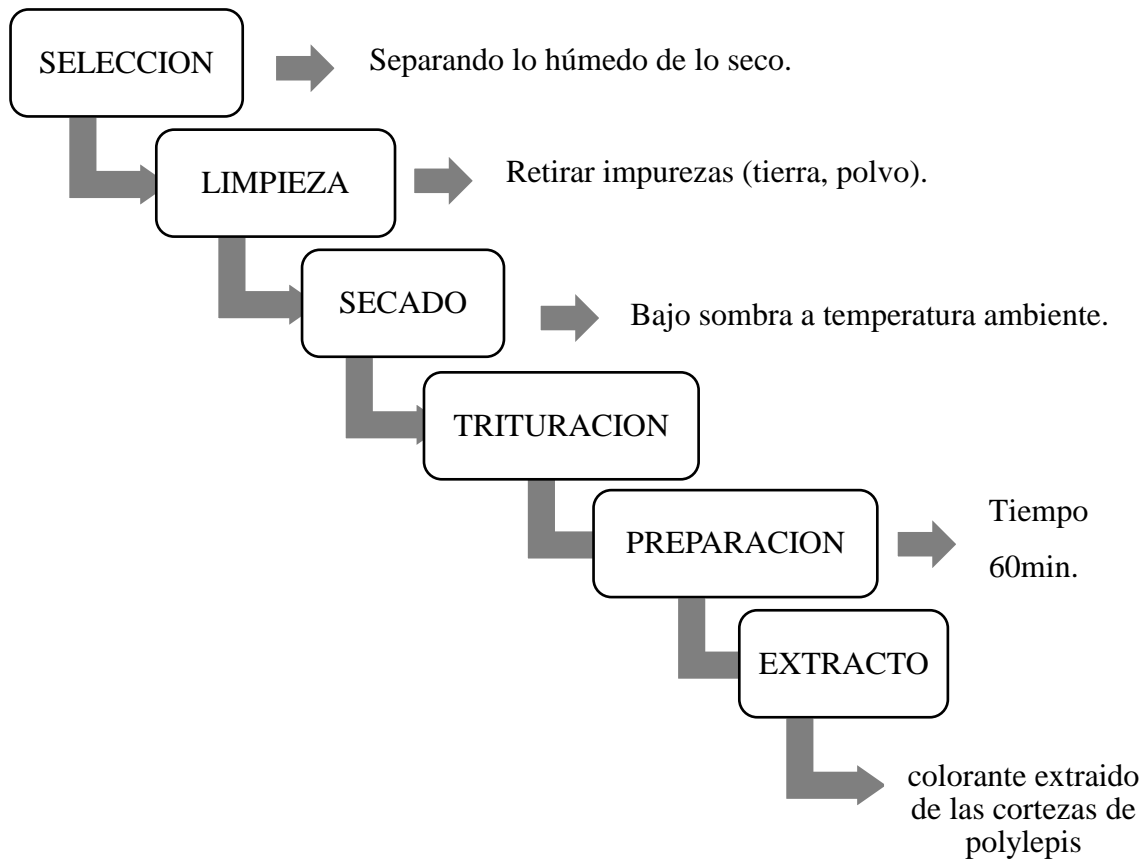
La planta utilizada en este estudio corresponde al género *Polylepis incana* H.B.K., nativa de los Andes peruanos, reconocida por su alto contenido de compuestos fenólicos y taninos con permisible como colorante natural. La recolección se realizó en parcialidad de Lokelaya, distrito Cabana, ubicado en las coordenadas 15°17'54"S 70°21'18"O con una altitud de 3.901 m s. n. m. de la provincia de san Román en la región de Puno. Íntegro a que no se realizó una identificación taxonómica formal, la planta fue descrita como *Polylepis incana* H.B.K., considerando el parecido morfológico de sus hojas y la cercanía a zonas donde esta especie ha sido previamente estudiada. Además, se utilizó literatura experta sobre sus propiedades tintóreas para fines de comparación y discusión. (Arias et al., 2022; Cuyckens & Renison, 2018).

La corteza de *Polylepis incana* H.B.K. fue selecta separando el material húmedo del seco y subsiguientemente lavada con agua para eliminar impurezas como tierra y polvo. Luego, se secó a temperatura ambiente y bajo sombra para conservar sus propiedades tintóreas. Finalmente, la corteza fue triturada con ayuda de un mortero para facilitar la extracción de los compuestos colorantes.

La extracción del colorante natural se realizó utilizando corteza de *Polylepis incana* H.B.K. en una olla de acero inoxidable con agua destilada. Se emplearon 3.5 kg de corteza en 14 litros de agua, fundamento una relación de baño 1:4. La mezcla se mantuvo en ebullición durante una hora a fuego lento para preparar el baño tintóreo.

Posteriormente, el extracto se dejó enfriar y fue filtrado primero con un colador y luego con una tela de algodón, evitando el ingreso de partículas finas al baño tintóreo. Finalmente, se

obtuvieron 12 litros de colorante con un pH de 4, condición ácida que favorece la fijación del teñido en hilo de ovino.

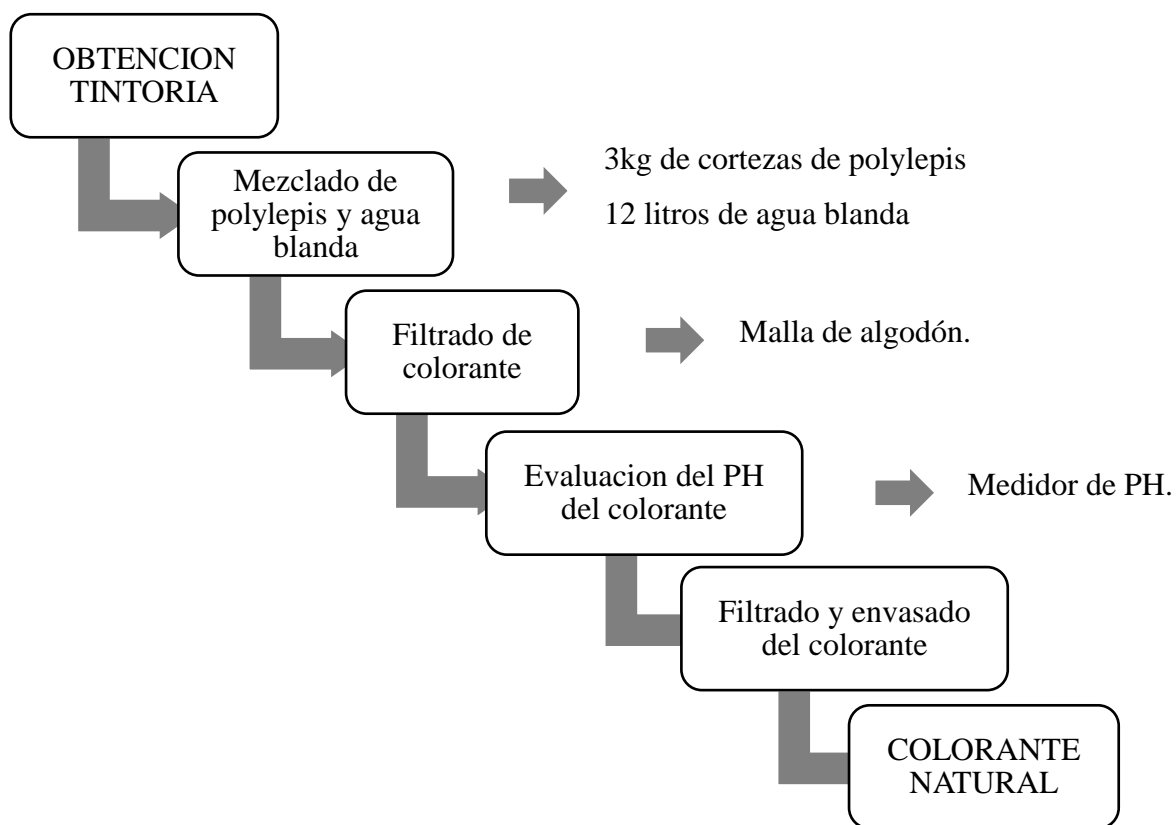


**Figura 2.**

*Flujograma para la obtención del colorante natural*

### **3.3.6. Extracción de colorante de Polylepis (queñua)**

Para ejecutar este procedimiento se recolecto 3 kilos de las cortezas del polylepis (queñua), se realizó la sistematización de producto tintóreo, para luego en el laboratorio desplegar las pruebas. En un recipiente de acero inoxidable de 12 litros, se colocó 3 kilos de las cortezas de polylepis (queñua) y 12 litros de agua blanda, hervir por 60 minutos se obtuvo 10 litros de colorante.



**Figura 3.**

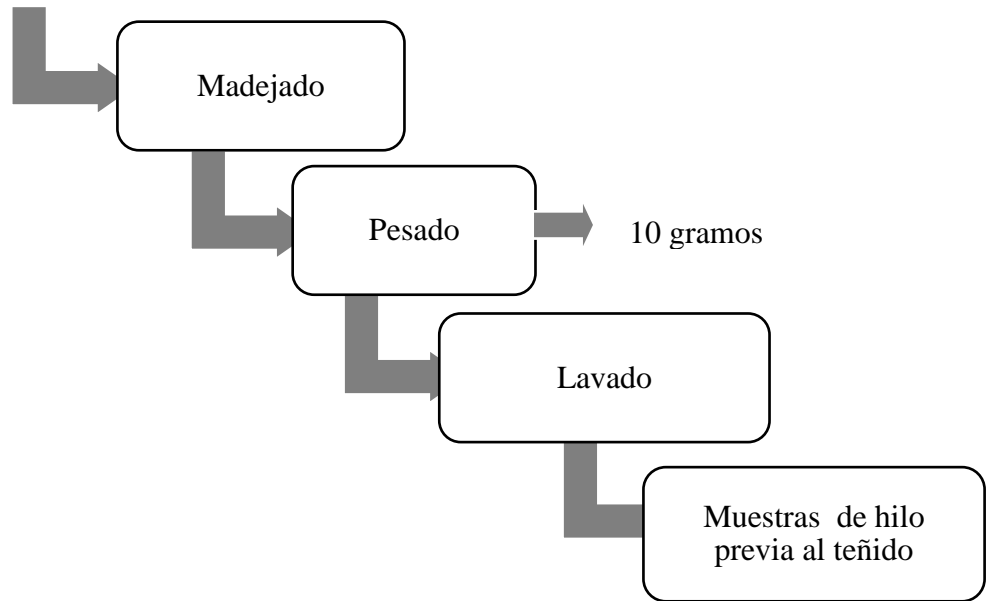
*Proceso de Obtención tintórea*

### 3.3.7. Preparación de muestras (madejado)

Se contó con 1 kg de lana de ovino, de los cuales se utilizaron 80 g para el estudio. Se elaboraron madejas de 10 g equivalentes a 110 vueltas en la máquina. De convenio con el diseño experimental, se trabajó con 8 tratamientos y 3 réplicas, obteniéndose un total de 24 madejas. Las madejas fueron elaboradas utilizando un aspe de precisión y cada muestra fue pesada individualmente.

Las madejas de hilo de ovino fueron lavadas antes con detergente neutro Invadina DA en agua tibia, a razón de 1 g por cada 1000 ml durante un cuarto de hora, con la finalidad de mejorar la fijación del colorante en la fibra.

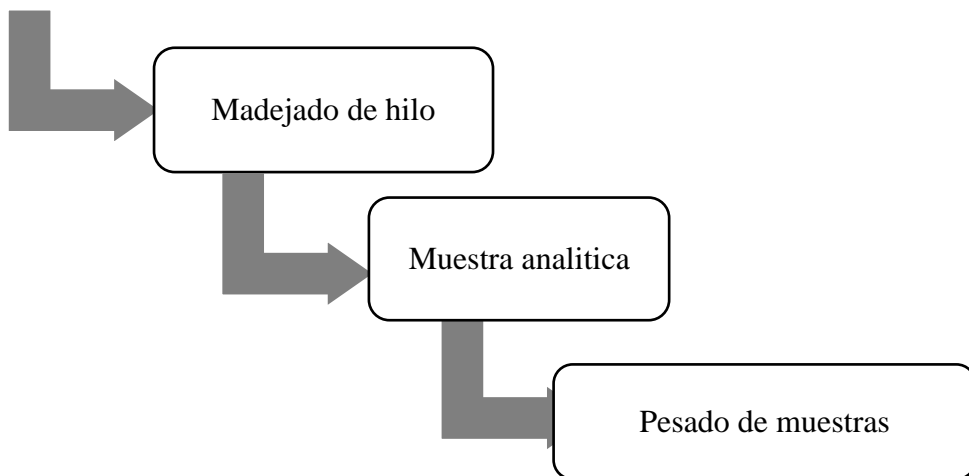
HILO DE OVINO  
CORRIEDALE



**Figura 4.**

*Preparación de muestra previa al tejido*

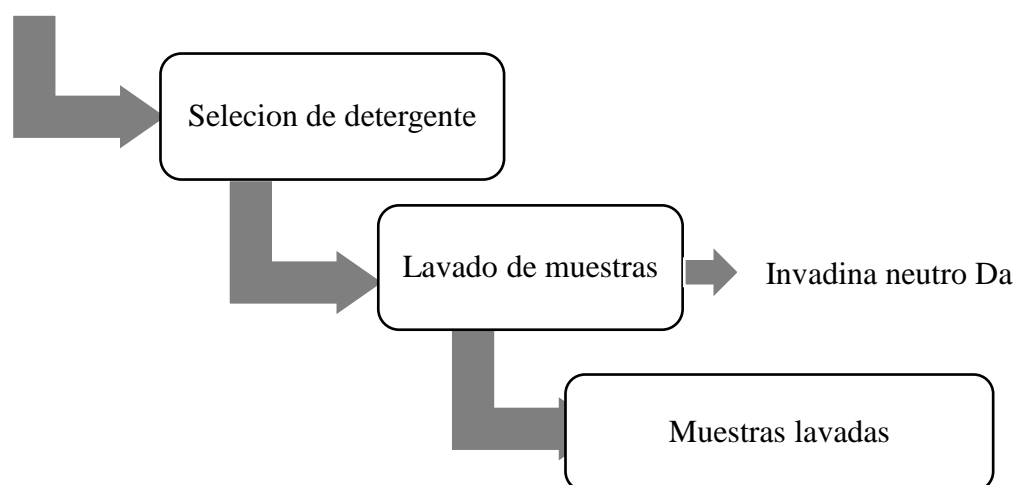
Madejado y pesado de  
muestras



**Figura 5.**

*Madejado y pesado de muestras*

## Lavado de muestras



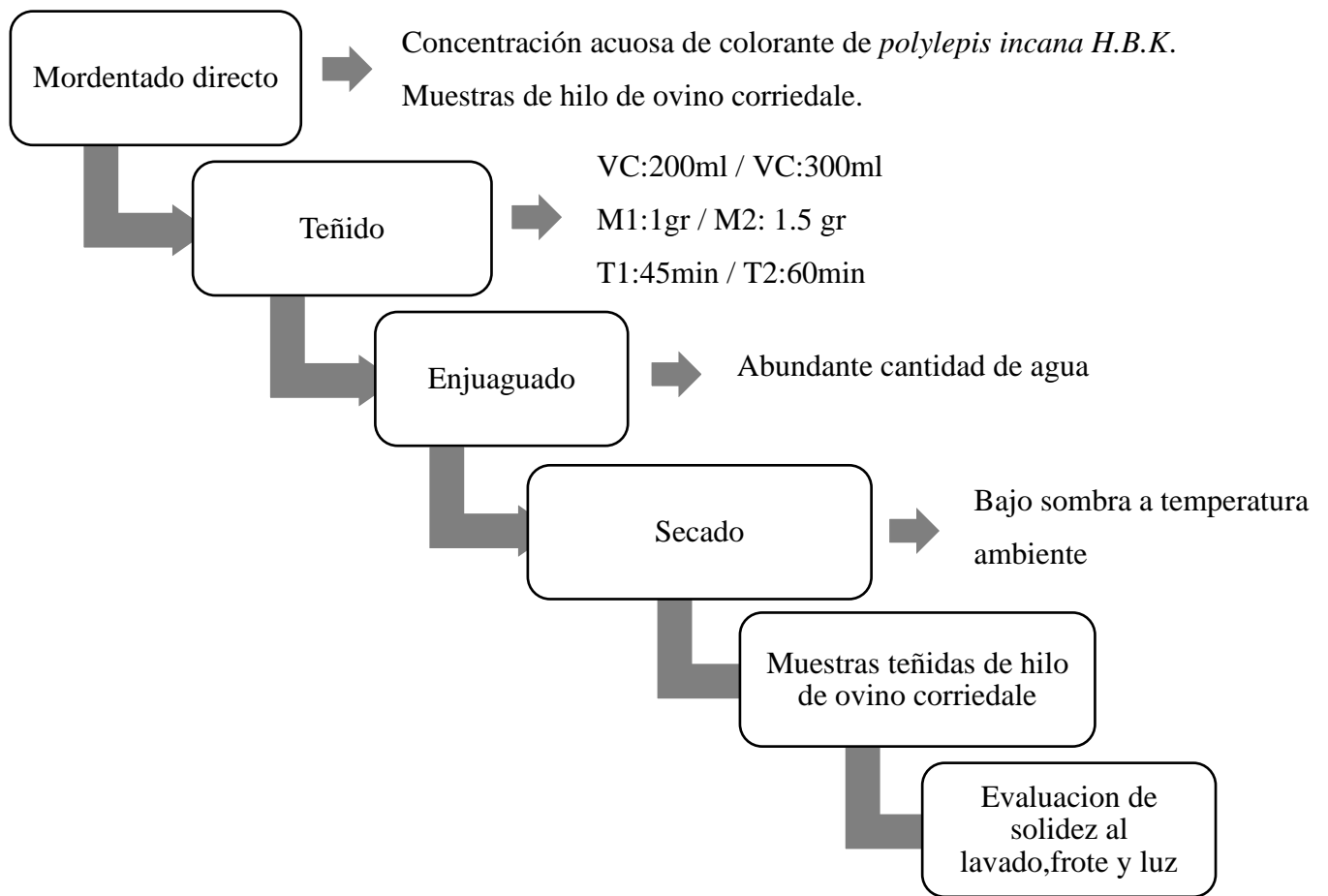
**Figura 6.**

*Lavado de muestras*

### 3.3.8. Proceso de teñido de hilo de ovino

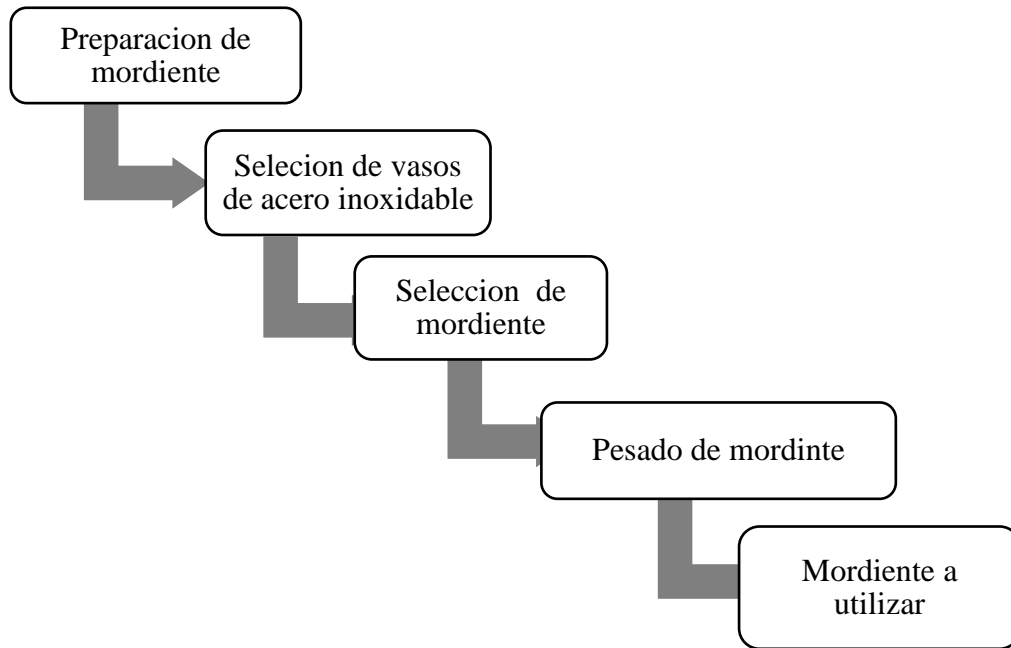
#### a) proceso de teñido

El teñido del hilo de ovino con colorante natural de *Polylepis incana H.B.K.* se realizó en un equipo Rotacolor utilizando vasos de acero inoxidable. Al baño tintóreo se añadió sulfato de aluminio como mordiente y posteriormente el hilo de ovino. El proceso se efectuó a 80 °C durante tiempos de 45 y 60 minutos, según los tratamientos concretos, El enjuagado con agua blanca se llevó a cabo después, con el ecuanime de quitar el tinte no fijado en el hilo ovino. Se llevó a cabo el secado bajo sombra y a temperatura ambiente para evaluar la dureza del color posteriormente.



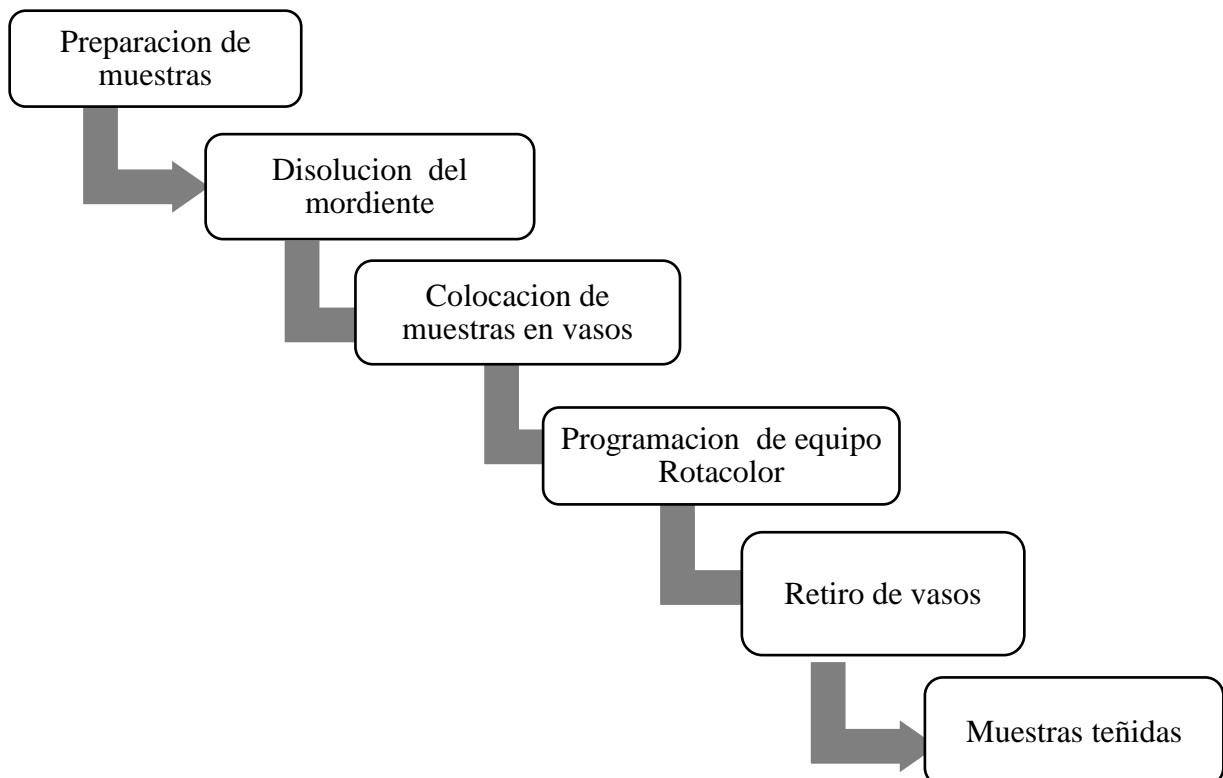
**Figura 7.**

*Procedimiento de teñido de hilo de ovino*



**Figura 8.**

*Preparación de mordiente y envases de acero inoxidable*



**Figura 9.**

*Preparación de muestras*

### **3.3.9. Evaluación de la solidez al lavado**

El ensayo determina una técnica de ensayo para la firmeza al color de las telas que han sido creadas para resistir lavados frecuentes. Esta prueba fue establecida de acuerdo con la Norma Técnica Peruana NTP 231.008:2015 (que se actualizó en 2022). A menudo, la intensidad del color se determina al diferenciar el color previo y posterior a la prueba. Además, es importante saber cómo los colorantes afectan a la materia blanca cuando la prenda teñida entra en contacto con ella durante el uso o el procesamiento (Obando, 2013).

Resistencia al lavado: NTP 231.008:2015 (actualizada en 2022), Norma Técnica Peruana. Método de ensayo que establece los juicios del examen para la obstinación al color de las telas textiles que están diseñadas para resistir lavados repetidos. Este proceso analiza la resistencia del color contra el lavado que se realiza en casa y en las fábricas.

#### **a) Principio del método**

El espécimen para ensayar es obediente a lavados con detergente, blanqueador, acción abrasiva, temperatura y tiempo adecuados; El cambio de color que se causa es análogo a lo que ocurre cuando se emplean lavadoras domésticas o cuando se hacen cinco lavados a mano. La modificación de color se da con rapidez. la acción abrasiva es consecuencia de los efectos que se producen por la fricción entre el tejido y el contenedor, el escaso volumen en relación con el tejido y el impacto entre las esferas y este.

#### **b) Especimen de ensayo**

La opción 1A requiere una muestra con unas dimensiones de 5 cm por 10 cm. Las dimensiones de las alternativas 1B, 2A, 3A, 4A y 5A son de 5 cm por 15 cm.

La tela multifibra se utiliza para medir el nivel de transferencia de color (manchado) de las alternativas 1A y 2A. En cuanto a la opción 3A, el tejido de algodón blanqueado es una alternativa (no se requiere la tela multifibra). Las alternativas 1B, 4A y 5A no establecen el

nivel de transferencia de color (manchado). Las muestras se colocan en tubos, conservando el nivel de baño, la cantidad de detergente y billas, así como la duración.

**Tabla 4.**

*Condiciones de ensayo de la solidez al lavado*

<b>opción</b>	<b>1A</b>	<b>1B</b>	<b>2A</b>	<b>3A</b>	<b>4A</b>	<b>5A</b>
Temperatura °C ( $\pm 2^\circ\text{C}$ )	40	31	49	71	71	49
Volumen total (ml)	200	150	150	50	50	150
% Detergente sólido del volumen total	0.37	0.37	0.15	0.15	0.15	0.15
% Detergente líquido del volumen total	0.56	0.56	0.23	0.23	0.23	0.23
% de Cloro del volumen total	-	-	-	-	0.015	0.027
N° de Esferas de acero	10	-	50	100	100	50
N° de Esferas de caucho	-	10	-	-	-	-
Tiempo (min)	45	20	45	45	45	45

Fuente: INACAL (2022)

La opción 1A fue la elegida para el trabajo de investigación, que se llevó a cabo con un volumen de baño de 200 mililitros y una concentración del detergente líquido del 0,56 %. El número de esferas disponibles fue 10, el tiempo transcurrido fue de 45 minutos, la temperatura alcanzada fue de 40 °C y se determinó que las dimensiones de la muestra eran de 5 x 10 cm.

Luego, se recortó la tela multifibra en fragmentos de 5 x 10 cm, con bandas de un ancho de 15 mm. Después, se centró a lo largo de uno de los lados de 5 x 10 cm del espécimen en contacto con el lado del material, y luego se grapó y cosió.

El siguiente paso es enjuagar tres veces durante un minuto en un contenedor con agua destilada o desionizada a 40 grados centígrados, más menos 3 grados centígrados. Durante ese tiempo, se agita y se exprime asiduamente con la mano y luego se deja secar a temperatura ambiente.

Se utilizó la escala de grises para concertar el traspaso de color (manchado) del tejido blanco de algodón o las fibras de la multifaria con el original, en cumplimiento de la Norma Técnica Peruana NTP 231.004:2014, que fue revisada en 2019.

### **3.3.10. Evaluación de solidez al frote**

Esta prueba mide la cantidad de color que se transfiere, a través del roce, desde la superficie de materiales textiles teñidos hacia otras superficies. Esta prueba se basa en la Norma Técnica Peruana NTP 231.042:2009, que fue actualizada en 2019.

#### **a) Principios**

Para determinar la transferencia de color bajo condiciones controladas, se friega una muestra con un tejido blanco que actúa como testigo. El color que se transfiere al testigo blanco es analizado por medio de una comparación con la escala de grises para la transferencia de color (sangrado-manchado). Para el ensayo se utilizan dos ejemplares, uno para una prueba en seco y otro para una prueba en húmedo. Se realizó la prueba en seco para el trabajo de investigación. La tela testigo (hecha de fibra de algodón) fue recortada en cuadrados de 5 x 5 cm (equivalentes a 2 pulgadas). Hilados, se hizo una pieza de tejido de como mínimo 5 cm x 13 cm (2 pulgadas x 5 pulgadas), o bien enrollando el hilado en una forma apropiada y muy apretado, con el hilo en dirección longitudinal; o estirado. Primero se coloca el espécimen en el equipo. Después, la tela de referencia se fija en el dedo del equipo. Se reduce esto y se realizan 10 ciclos de frotamiento a una velocidad de un ciclo por segundo, moviendo el dedo cubierto hacia adelante y hacia atrás 20 veces. Una vez que se ha hecho, es necesario quitar el testigo blanco. En el caso de que existan fibras sueltas que puedan obstaculizar la evaluación, también se llevaron a cabo la limpieza de materiales peludos, cepillados o lijados. La Norma Técnica Peruana NTP 231.004:2014 (actualizada en el 2019) permite evaluar el nivel de manchado del testigo con la escala de grises para la transferencia de color (manchado).

### **3.3.11. Evaluación de solidez a la luz**

Esta prueba, que se basa en la Norma Técnica Peruana 231.183:1986 (revisada el 2020), evalúa la solidez del color a la luz solar en tejidos artesanales. Consistencia bajo la luz: NTP 231.183:1986, Norma Técnica Peruana (actualizada en el año 2020). Método para evaluar la firmeza del color de las telas artesanales bajo la luz solar. Esta prueba evalúa la resistencia del colorante natural de queñua ante la exposición prolongada a radiación ultravioleta y luz visible, factor crítico en la durabilidad del teñido en condiciones de uso normal.

#### **a) Principio**

Se trata de exponer la tela artesanal a la luz del sol durante tres días, 12 horas en total, cuatro horas cada día y bajo condiciones específicas, asegurándose de protegerla de la lluvia. La solidez se evalúa comparando la alteración de color de la muestra ensayada con la escala gris para determinar las variaciones cromáticas. Se llevaron a cabo muestras de tejidos artesanales de 4 cm x 10 cm para los procedimientos. Además, puede ser hilo enrollado que cubre por completo una tarjeta de cartón de igual tamaño. La muestra fue colocada sobre una superficie plana. A lo largo de los tres días de exposición, y en cada uno de ellos, se adoptaron los pasos detallados a continuación: el centro de la muestra fue cubierta con tapas de cartón o cartulina. Asimismo, lo expuso al sol por cuatro horas durante las de mayor intensidad solar. Es imprescindible prevenir la aparición de gases u otros elementos que tengan el potencial de alterar el resultado, así como además las sombras proyectadas por los objetos próximos sobre las muestras expuestas. La tapa también fue retirada y se revisó si había algún cambio en el color de la muestra. La Norma Técnica Peruana NTP 231.005:2014, actualizada en 2019, establece que la escala gris se usa para determinar el grado de cambio de color.

### **3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACION**

#### **3.4.1. Población**

De acuerdo con Hernández y Mendoza (2018), citando a Chaudhuri (2018) y Lepkowski (2008b), la población es el grupo completo de todas las instancias que satisfacen un conjunto de especificaciones, en función del interés que se tiene por el estudio. Para llevar a cabo la investigación, la población se compone de todo el hilo de ovino y el tinte natural extraído de las cortezas de queñua (*Polylepis incana* H.B.K.)

En este estudio la muestra se consignó como *Polylepis incana* H.B.K. Esta clasificación se adopta por la similitud morfológica de sus hojas con dicha especie y por la cercanía a zonas donde *P. incana* ha sido previamente identificada mediante estudios botánicos. Para la interpretación de resultados se utilizaron referencias científicas que describen las propiedades tintóreas de esta especie en la región andina utilizó material vegetal de queñua *Polylepis incana* H.B.K. recolectado en el distrito de Cabana.

##### **a) Hilo de ovino corriedale**

El hilado de ovino corriedale fue adquirido de la asociación de artesanas del distrito de Atuncolla.

- **Título de hilado:**1/11
- **Composición :**100% ovino de color blanco.

**Criterios de inclusión:** Color de material de hilado de ovino corriedale. Título de hilado de ovino corriedale.

**Criterios de selección de exclusión:** No serán parte del experimento, los hilados que no tengan la composición de 100% ovino, los hilos irregulares

## **b) Colorante de las cortezas de *polylepis***

El colorante natural extraído de las cortezas de *polylepis*, deben de tener las siguientes características.

**Criterios de selección:** La materia prima debe ser recolectada de árboles de queñua del género *Polylepis incana* H.B.K. de 3 metros del sector lokelaya, ubicado en Cabana – San Román – Puno – Perú. Solo se debe seleccionar las cortezas con una coloración rojizas y marones.

**Criterios de exclusión:** Materia prima de color distinto.,No deben contener sustancias extrañas la materia prima mezclada con otros componentes del árbol de queñua (*polylepis*)

### **3.4.2. Muestra**

De acuerdo con Hernández y Mendoza (2018), se trata de una muestra no probabilística por conveniencia, ya que los datos fueron recolectados en un periodo determinado debido a la accesibilidad a las unidades de análisis según lo conveniente para el investigador.

De acuerdo con el diseño factorial  $2^3$ , que es el diseño experimental en este caso, la investigación utiliza una muestra no probabilística. Para establecer los factores de volumen del colorante, el mordiente y la duración de la tintura con colorante natural proveniente de las cortezas de *Polylepis incana* H.B.K., se consideraron los niveles de la variable independiente. Se utilizó el diseño factorial  $2^3$  para establecer la intensidad del color en hilo ovino. Este diseño comprende 3 factores con 2 niveles cada uno, lo que produce un total de 8 tratamientos con 3 réplicas y 24 unidades experimentales. Por lo tanto, la muestra de estudio está constituida por 24 muestras de hilo ovino, y los datos fueron procesados en el software Minitab siguiendo un procedimiento aleatorio.

## **3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

### **3.5.1. Técnicas**

El método experimental observacional fue el que se empleó en la investigación. Este último implica una manipulación deliberada de una o varias variables independientes dentro de un

entorno controlado por el investigador (Hernández y Mendoza, 2018). En consecuencia, se experimentó con el teñido de hilo ovino utilizando tintura natural de las cáscaras de *Polylepis incana* H.B.K. También se ajustaron los parámetros del proceso de teñido para obtener un color con buena solidez.

**Examen de laboratorio:** Este método de recolección de datos, de acuerdo con Hernández (2014), se basa en el registro sistemático válido y fiable del comportamiento y situaciones que el investigador puede observar, dado que la información se encuentra bajo circunstancias más o menos paramétricas. Es una poderosa técnica de investigación científica que se utiliza en esta investigación, la cual nos posibilitará obtener información acerca del proceso de teñido de lana ovina con colorante natural extraído de las cortezas de *Polylepis incana* H.B.K., así como los resultados relacionados con la solidez al frote, lavado y luz.

### **3.5.2. Instrumentos**

#### **a) Ficha de datos y registro**

Respecto al diseño de la exploración, se llevó a cabo el registro de datos mediante la creación y diseño de fichas específicas para cada experimento, considerando los datos requeridos para el estudio debido a que no hay un modelo estándar preestablecido (Arias et al., 2022). En este estudio se analizaron los efectos de teñir con un colorante natural que proviene de la corteza del queñua, *Polylepis incana* H.B.K. en relación a la firmeza del color. Con este fin, se usó la escala de grises para analizar el nivel de transferencia de color, el manchado del tejido testigo y la alteración de color. Los resultados de estas evaluaciones se documentaron en formularios creados específicamente para este objetivo, que incluyen:

**Ficha de llenado de información:** Para el registro metódico del volumen de colorante, concentraciones de mordiente, tiempos de teñido y resultados obtenidos en cada réplica experimental.

**Informe de análisis:** Prueba de solidez durante el lavado: Informe técnico que documenta los hallazgos de las pruebas de solidez al lavado efectuadas en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Textil y de Confecciones, conforme a la norma técnica peruana NTP 231.008:2015.

**Informe de análisis - Test de resistencia al roce:** Documento técnico en el que se registran los resultados logrados en las pruebas de resistencia al frote efectuadas en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Textil y Confecciones, conforme a lo establecido en la Norma Técnica Peruana NTP 231.008:2015.

**Informe de análisis - Examen de fortaleza iluminada:** Reporte técnico donde se presentan los resultados obtenidos en las pruebas de solidez a la luz perfeccionadas en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Textil y Confecciones, de acuerdo con los criterios establecidos en la Norma Técnica Peruana NTP 231.183:1986.

### **3.6. PROCEDIMIENTO DE DATOS ESTADÍSTICO**

Se utilizó el software MINITAB 22 para realizar el análisis de los datos recopilados, empleando técnicas de estadística inferencial y descriptiva. La estadística descriptiva posibilitó la obtención de frecuencias, porcentajes y medidas de tendencia central, lo que ayudó a entender en un principio las tendencias y patrones de las variables estudiadas. Se llevaron a cabo pruebas concretas para los resultados por objetivo en la estadística inferencial:

Se usó el diseño factorial  $2^3$ , lo que resultó en 8 tratamientos, y se hicieron 3 réplicas de cada uno, dando un total de 24 unidades experimentales. Además, se realizó la prueba de comparación múltiple de Bonferroni con un nivel significativo del 5%.

Se utilizó la prueba de Bonferroni, con un nivel de significancia del 5%, y el diseño completamente al azar (DCA), con tres réplicas.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 4.1. RESULTADOS

##### 4.1.1. Efecto del teñido con colorante natural de la Queñua (*Polylepis*) para la solidez de color en lana de ovino.

Tabla 5.

*Resultados de la solidez de color en lana de ovino: Réplica 1*

SOLIDEZ DE COLOR -REPLICA 1							
N°	FACTORES			Resultados de la solidez de color (Escala de grises)			
	A	B	C	solidez al lavado	solidez al frote	solidez a la luz	promedio
	volumen del colorante (ml)	Mordiente (gr)	Tiempo (min)				
1	200	1	45	4.0	3.5	4.0	3.8
2	300	1	45	3.8	3.5	3.8	3.7
3	200	1.5	45	4.0	4.0	4.0	4.0
4	300	1.5	45	4.0	4.0	4.0	4.0
5	200	1	60	4.0	3.0	4.0	3.7
6	300	1	60	3.8	3.0	4.0	3.6
7	200	1.5	60	4.0	3.5	4.0	3.8
8	300	1.5	60	4.0	3.5	4.0	3.8

**Tabla 6.***Resultados de la solidez de color en lana de ovino: Réplica 2*

<b>SOLIDEZ DE COLOR -REPLICA 2</b>							
N°	FACTORES			Resultados de la solidez de color			
	A	B	C	(Escala de grises)			
	volumen del colorante (ml)	Mordiente (gr)	Tiempo (min)	solidez al lavado	solidez al frote	solidez a la luz	promedio
1	200	1	45	4.0	3.5	3.9	3.8
2	300	1	45	3.8	3.5	3.8	3.7
3	200	1.5	45	4.0	4.0	4.0	4.0
4	300	1.5	45	4.0	4.0	4.0	4.0
5	200	1	60	4.0	3.0	4.0	3.7
6	300	1	60	4.0	3.0	4.0	3.7
7	200	1.5	60	4.0	3.5	4.0	3.8
8	300	1.5	60	4.0	3.5	4.0	3.8

**Tabla 7.***Resultados de la solidez de color en lana de ovino: Réplica 3*

<b>SOLIDEZ DE COLOR - REPLICA 3</b>							
N°	FACTORES			Resultados de la solidez de color			
	A	B	C	(Escala de grises)			
	volumen del colorante (ml)	Mordiente (gr)	Tiempo (min)	solidez al lavado	solidez al frote	solidez a la luz	promedio
1	200	1	45	4.0	3.5	3.9	3.8
2	300	1	45	4.0	3.5	3.8	3.8
3	200	1.5	45	4.0	4.0	4.0	4.0
4	300	1.5	45	4.0	4.0	4.0	4.0
5	200	1	60	4.0	3.0	4.0	3.7
6	300	1	60	4.0	3.0	4.0	3.7
7	200	1.5	60	4.0	3.5	4.0	3.8
8	300	1.5	60	4.0	3.5	4.0	3.8

#### 4.1.2. Prueba de supuesto de normalidad

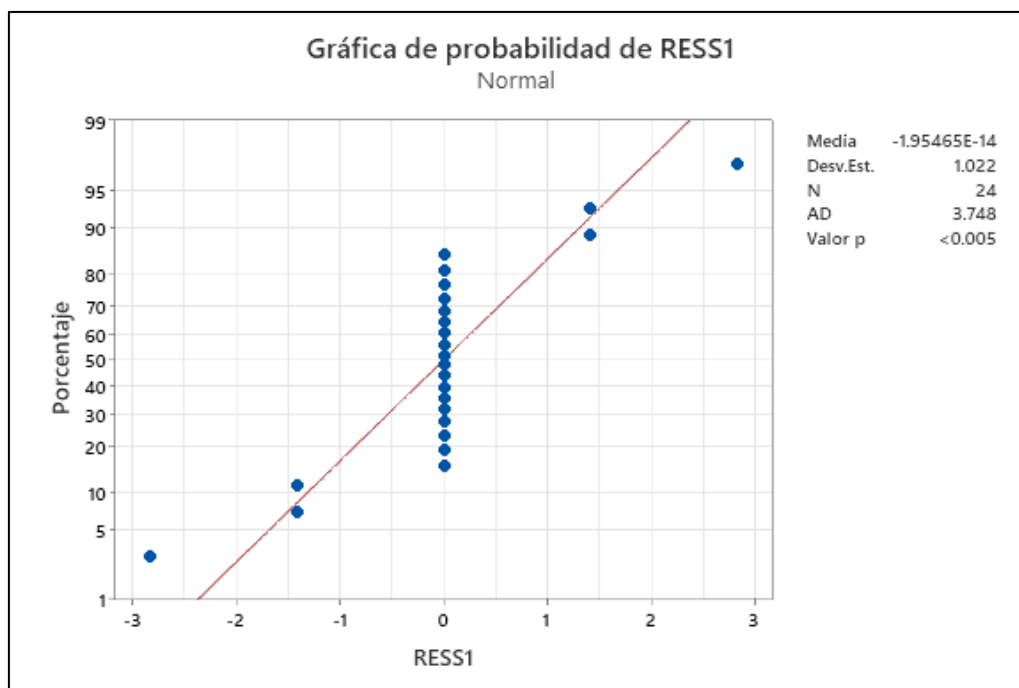
Prueba de hipótesis

Ho: Los datos presentan una distribución normal.

H1: Los datos no presentan una distribución normal.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

#### Prueba estadística



**Figura 10.**

*Gráfica de probabilidad normal para los datos de solidez de color (C1)*

AD: 3.748

P\_VALOR= <0.005

#### **Decisión:**

Si P\_valor es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula y se descarta la hipótesis alterna.

Se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la nula si el P\_valor es menor a 0.05.

Entonces como AD= 3.748 y P\_valor = <0.005 se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.

**Conclusión:** Cuando se utilizó la prueba de Anderson-Darling para analizar la normalidad de los datos de solidez del color, el resultado fue un estadístico  $AD = 3.748$  y un  $p$ -valor  $< 0.005$ , con una significancia del 5%. Los resultados indican que los datos no se distribuyen de manera normal, lo que implica que el supuesto de normalidad no se cumple.

#### 4.1.3. Análisis de efecto medio y significancia

**Tabla 8.**

*Análisis de efectos y contribución porcentual en la solidez del color*

<b>Solidez del color</b>		
<b>Fuente</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>% Contribución</b>
A (Volumen de colorante)	0.00375	1.08%
B (Mordiente)	0.18375	53.07%
C (Tiempo)	0.120417	34.77%
A×B	0.00375	1.08%
A×C	0.000417	0.12%
B×C	0.020417	5.90%
A×B×C	0.000417	0.12%
Error	0.013333	3.85%
<b>Total</b>	<b>0.34625</b>	<b>100%</b>

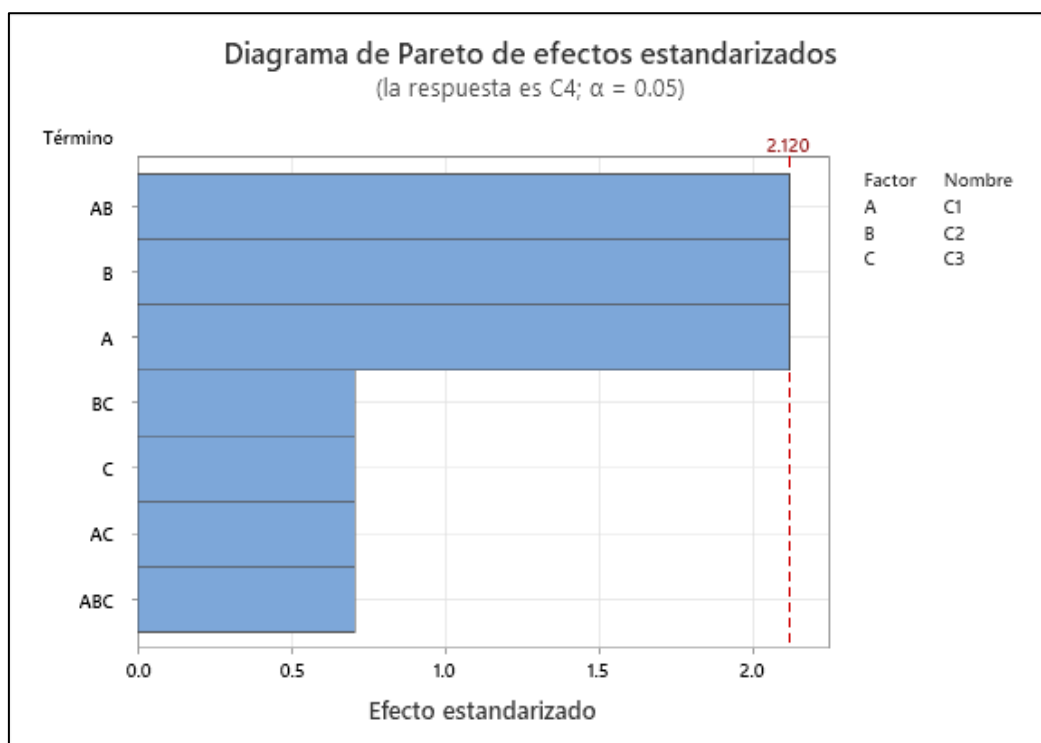
En la Tabla 8 se presentan los efectos y la contribución porcentual de cada factor y sus interacciones sobre la solidez del color.

Los resultados muestran que el factor B (mordiente) es el que ejerce mayor influencia sobre la variable respuesta, con una contribución del 53.07 %, seguido del tiempo de teñido (C), que aporta un 34.77 %. Ambos factores son claramente los que más afectan la solidez del color.

El factor A (volumen de colorante) presenta una contribución baja, de 1.08 %, similar a la interacción A×B, con también 1.08 %. Las interacciones A×C y A×B×C aportan únicamente 0.12 % cada una, mientras que la interacción B×C muestra un efecto moderado, con 5.90 %.

El error experimental representa un 3.85 % de la variación total, valor pequeño que indica un buen ajuste del modelo.

En conjunto, los factores A, B, C y sus interacciones explican el 96.15 % de la variación total de la solidez del color, lo que confirma que el modelo factorial describe adecuadamente el comportamiento del proceso. Entre todos los factores, el mordiente (B) es el que domina el proceso, seguido del tiempo de teñido (C), mientras que el volumen y las interacciones contribuyen de manera mínima.



**Figura 11.**

*Gráfica de Pareto de efectos estandarizados de la solidez de color*

Los factores que tienen un impacto significativo en la solidez del color, según el diagrama de Pareto de efectos estandarizados, son la interacción AB (volumen del colorante × mordiente), seguida del factor B (mordiente) y del factor A (volumen del colorante), ya que sus valores

superan el límite de significancia ( $t = 2.120$ ;  $\alpha = 0.05$ ). Esto indica que la solidez del color depende principalmente de la combinación entre el volumen del extracto de *Polylepis* y el mordiente, así como del efecto individual de este último. En contraste, el factor C (tiempo) y las interacciones BC, AC y ABC no superan el umbral crítico, por lo que no ejercen un efecto estadísticamente significativo sobre la respuesta, evidenciando que su influencia en la solidez del color es menor o no determinante dentro del diseño factorial evaluado.

#### 4.1.4. Prueba de comparaciones múltiples

Se llevó a cabo una prueba de Tukey con un intervalo de confianza del 95%, esto para determinar

las diferencias estadísticas de los tratamientos, para identificar comparaciones múltiples.

#### Tabla 9.

*Resultados de la solidez de color basado en la concentración de colorante*

Volumen de colorante (ml)	N	Media	Agrupación
300	12	3.825	A
200	12	3.800	A

La Tabla 9 revela las respuestas de las comparaciones múltiples para el volumen de colorante, donde los niveles de 200 ml y 300 ml presentan medias muy similares (3.800 y 3.825, respectivamente) y pertenecen al mismo grupo estadístico (A). Esto indica que no existe una diferencia significativa entre ambos niveles, por lo que el incremento en el volumen del colorante no genera una mejora estadísticamente significativa en la solidez de color del tejido teñido. Aunque el valor medio de 300 ml es ligeramente mayor, la ausencia de diferencia estadística sugiere que la solidez obtenida es comparable en ambos tratamientos.

**Tabla 10.***Resultados de la solidez de color basado en el mordiente*

<b>Mordiente (gr)</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
1.5	12	3.900	A
1.0	12	3.725	B

En la Tabla 10 se observa que el factor mordiente sí presenta un efecto revelador sobre la solidez del color, ya que los niveles de 1.0 gr y 1.5 gr pertenecen a grupos estadísticos diferentes (B y A, respectivamente). El nivel de 1.5 gr alcanza una media superior (3.900) en comparación con 1.0 gr (3.725), lo que demuestra que un mayor contenido de mordiente mejora la fijación del colorante natural al tejido. Estos resultados indican que el incremento en la cantidad de mordiente favorece la formación de enlaces más estables entre el extracto colorante y la fibra, aumentando la resistencia del material a los procesos de lavado y exposición.

**Tabla 11.***Resultados de la solidez de color basado en el tiempo de teñido*

<b>Tiempo (min)</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
45	12	3.883	A
60	12	3.741	B

La Tabla 11 evidencia que el factor tiempo genera diferencias significativas en la solidez del color, ya que los tratamientos de 45 y 60 minutos pertenecen a grupos estadísticos distintos. El tiempo de 45 minutos presenta la media más alta (3.883), mientras que 60 minutos obtiene un valor menor (3.741), indicando que un tiempo prolongado reduce la solidez del color. Esto sugiere que una exposición excesiva durante el proceso de teñido puede afectar la retención del colorante en la fibra, ya sea por descomposición del extracto, saturación del tejido o debilitamiento de los enlaces de fijación.

**Conclusión:** En conjunto, los resultados del análisis de comparaciones múltiples indican que los factores mordiente y tiempo de teñido practican una influencia significativa sobre la solidez del color, mientras que el volumen del colorante no presenta diferencias estadísticas entre sus niveles. El uso de 1.5 gr de mordiente y un tiempo de 45 minutos producen los valores más altos de solidez, evidenciando una mejor fijación del extracto de *Polylepis* en las fibras del tejido. Por el contrario, tiempos prolongados de teñido y una menor cantidad de mordiente reducen la resistencia del color frente al lavado y la exposición. Aunque el nivel de 300 ml de colorante muestra una media ligeramente superior a 200 ml, ambos generan resultados equivalentes desde el punto de vista estadístico. De este modo, las condiciones óptimas para maximizar la solidez del color corresponden a 1.5 gr de mordiente, 45 minutos de teñido y 300 ml de colorante, garantizando una mayor estabilidad y duración del color en el tejido tratado.

#### 4.2. Efecto del teñido con la Queñua (*Polylepis*) en la solidez al lavado.

Se presenta los resultados de la solidez al lavado en tela multifibra para 3 réplicas.

**Tabla 12.**

*Resultados de la solidez al lavado en tela multifibra réplicas R1, R2 y R3*

<b>PRUEBA DE SOLIDEZ AL LAVADO (en tela multifibra)</b>					
replica	Nº muestras	volumen del colorante	concentración de mordiente	tiempo	resultado final
R1	1	200ml	1gr	45min	4.00
R1	2	300ml	1gr	45min	3.80
R1	3	200ml	1.5gr	45min	4.00
R1	4	300ml	1.5gr	45min	4.00
R1	5	200ml	1gr	60min	4.00
R1	6	300ml	1gr	60min	3.80
R1	7	200ml	1.5gr	60min	4.00
R1	8	300ml	1.5gr	60min	4.00
R2	1	200ml	1gr	45min	4.00
R2	2	300ml	1gr	45min	3.80
R2	3	200ml	1.5gr	45min	4.00
R2	4	300ml	1.5gr	45min	4.00
R2	5	200ml	1gr	60min	4.00
R2	6	300ml	1gr	60min	4.00
R2	7	200ml	1.5gr	60min	4.00
R2	8	300ml	1.5gr	60min	4.00
R3	1	200ml	1gr	45min	4.00
R3	2	300ml	1gr	45min	4.00
R3	3	200ml	1.5gr	45min	4.00
R3	4	300ml	1.5gr	45min	4.00
R3	5	200ml	1gr	60min	4.00
R3	6	300ml	1gr	60min	4.00
R3	7	200ml	1.5gr	60min	4.00
R3	8	300ml	1.5gr	60min	4.00

#### 4.2.1. prueba de supuesto de normalidad

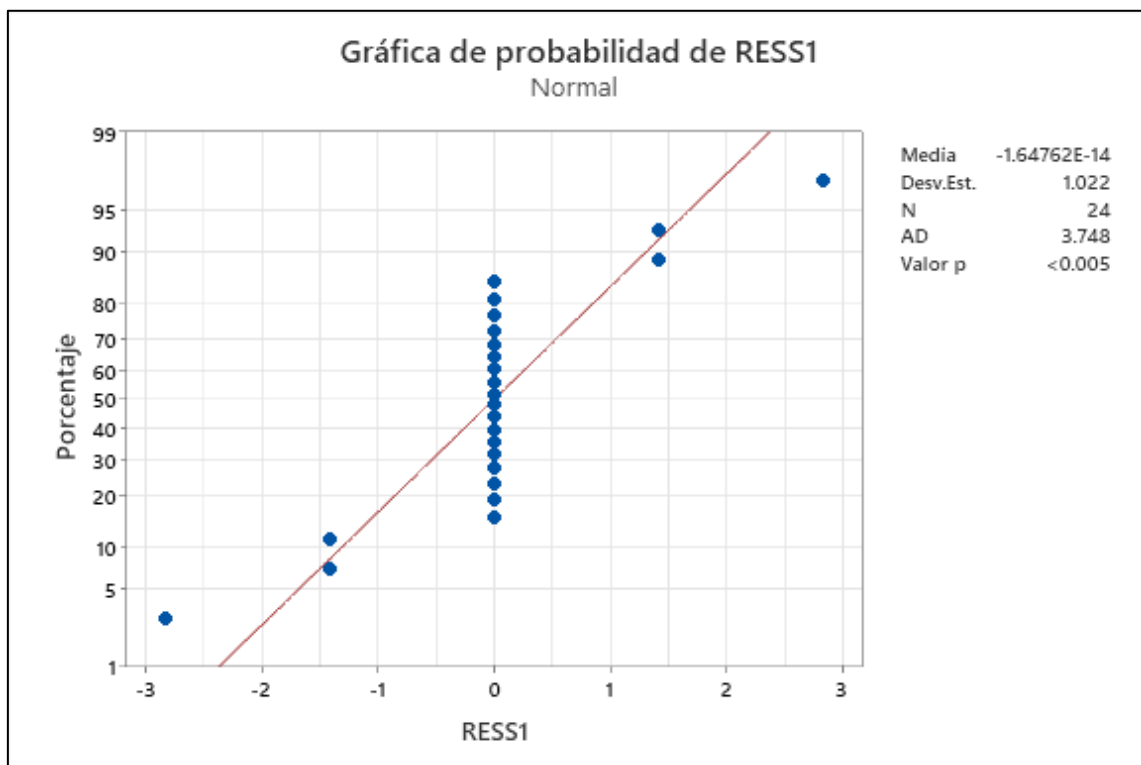
Prueba de hipótesis

Ho: los datos presentan una distribución normal.

H1: Los datos no presentan una distribución normal

**Nivel de significancia:**

$\alpha = 0.05$



**Figura 12.**

*Gráfica de probabilidad normal para los residuos de solidez al lavado*

AD= 3.748

P\_valor: <0.005

**Decisión:** Si P\_valor es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula y se descarta la hipótesis alterna. La hipótesis nula se acepta y la alterna se rechaza si el P\_valor es 0.05. Entonces, como AD = 3.748 y p-valor < 0.005, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

Por lo tanto, los datos de la solidez al lavado no presentan una distribución normal, lo que indica que no se cumple el supuesto de normalidad requerido para el análisis de varianza. Esto implica que el análisis debe continuar con precaución, considerando posibles transformaciones de los datos o métodos robustos para evaluar adecuadamente los efectos de los factores (volumen de colorante, mordiente y tiempo) sobre la solidez al lavado.

#### 4.2.2. Análisis de efecto medio y significancia

**Tabla 13.**

*Análisis de varianza para los efectos del colorante natural de Queñua (Polylepis) sobre la solidez al lavado*

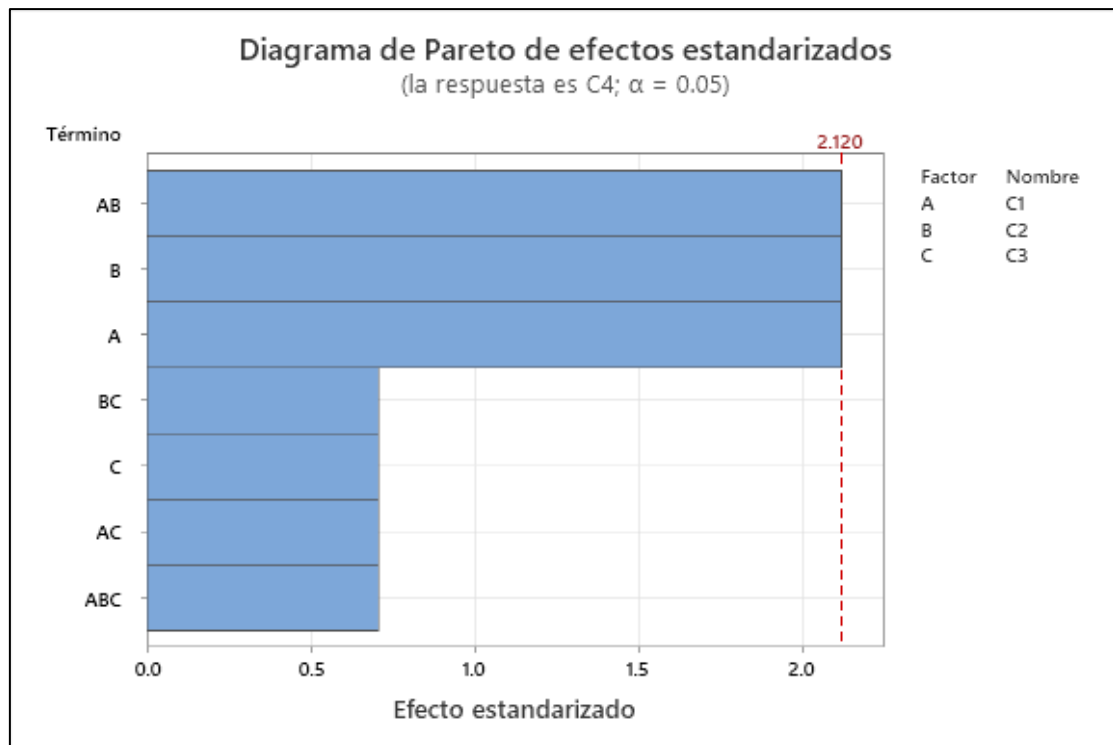
<b>Fuente</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados (SC)</b>	<b>Media cuadrática (MC)</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>	<b>Contribución (%)</b>
A (volumen)	1	0.015	0.015	4.5	0.05	14.29
B (Mordiente)	1	0.015	0.015	4.5	0.05	14.29
C (Tiempo)	1	0.001667	0.001667	0.5	0.49	1.59
A×B	1	0.015	0.015	4.5	0.05	14.29
A×C	1	0.001667	0.001667	0.5	0.49	1.59
B×C	1	0.001667	0.001667	0.5	0.49	1.59
A×B×C	1	0.001667	0.001667	0.5	0.49	1.59
<b>Error</b>	16	0.053333	0.003333	—	—	50.79
<b>Total</b>	23	<b>0.105</b>	—	—	—	<b>100</b>

La Tabla 13 revela el análisis de varianza correspondiente a los efectos del colorante natural de Polylepis (Queñua) sobre la solidez al lavado en lana de ovino. Los resultados indican que los factores volumen del colorante (A) y mordiente (B) presentan valores p iguales a 0.05, situándose en el límite convencional de significancia estadística. Esto permite interpretarlos como efectos marginalmente significativos, es decir, factores que ejercen una influencia apreciable, aunque moderada, sobre la solidez al lavado. Cada uno de ellos aporta el 14.29 %

de la variabilidad explicada, lo que los convierte en los factores con mayor impacto dentro del modelo.

En contraste, el tiempo de teñido (C) no muestra evidencia de efecto estadísticamente significativo, dado que su valor p es 0.49 y su contribución porcentual apenas alcanza el 1.59 %. Esto sugiere que, dentro de las condiciones evaluadas, el tiempo no altera de manera sustancial el comportamiento del teñido frente al lavado. Respecto a las interacciones, la combinación A×B también presenta un valor p de 0.05, lo que indica un efecto marginalmente significativo. Esto implica que la relación simultánea entre volumen del colorante y la cantidad de mordiente influye en la solidez al lavado más que cada factor por separado. Sin embargo, las demás interacciones (A×C, B×C y A×B×C) no resultan significativas, pues muestran valores p de 0.49 y contribuciones mínimas, similares al factor tiempo.

Por ende, el error experimental representa el 50.79 % de la variación total, indicando que una parte sustancial de la variabilidad no es explicada por los factores estudiados. Esto puede atribuirse a variaciones propias del proceso de teñido o a variables no incluidas en el diseño experimental.



**Figura 13.**

*Diagrama de Pareto de los efectos estandarizados en la solidez al lavado*

Se muestra que ninguno de los factores ni sus interacciones supera el valor crítico de significancia (línea roja vertical) correspondiente a 2.120 para un nivel de confianza del 95 %. Esto indica que ningún efecto resulta estadísticamente significativo de acuerdo con este criterio gráfico.

Sin embargo, se observa que los efectos de A (volumen), B (mordiente) y la interacción A×B (AB) presentan los valores estandarizados más altos y se aproximan al umbral de significancia, lo cual coincide con los resultados del ANOVA donde estos términos muestran valores  $p = 0.050$ , situándose en el límite de aceptación.

En conjunto, el diagrama de Pareto confirma que la mayor influencia sobre la solidez al lavado proviene de los factores A, B y de la interacción A×B, aunque con un efecto marginal, mientras que el tiempo y las demás interacciones no desempeñan un papel relevante bajo las condiciones evaluadas.

### 4.2.3. Prueba de comparaciones múltiples

Se ejecutó la prueba de tukey con un intervalo de confianza de 95%, esto para determinar las diferencias estadísticas de los sistemas.

**Tabla 14.**

*Resultados de las comparaciones múltiples de la solidez al lavado según la concentración de colorante*

Volumen (ml)	N	Media	Agrupación
200	12	4.00	A
300	12	3.95	A

Los resultados de las comparaciones múltiples de Tukey indican que no existen diferencias significativas entre los niveles de volumen del colorante evaluados (200 ml y 300 ml), ya que ambos tratamientos se agrupan dentro de la misma categoría estadística (A). Aunque la media de 200 ml (4.00) es ligeramente superior a la de 300 ml (3.95), esta diferencia no es estadísticamente significativa.

**Tabla 15.**

*Resultados de las comparaciones múltiples de la solidez al lavado según la cantidad de mordiente*

Mordiente (gr)	N	Media	Agrupación
1.5	12	4.04167	A
1.0	12	3.98264	B

**Interpretación:** En la comparación entre los niveles de mordiente (1.0 g y 1.5 g), las medias obtenidas (3.95 y 4.00, respectivamente) se encuentran dentro del mismo grupo estadístico (A). Esto significa que no existen diferencias significativas entre las cantidades de mordiente utilizadas. Si bien 1.5 g muestra una media ligeramente mayor, esta variación no representa un

efecto significativo en la solidez al lavado, por lo que el incremento del mordiente no mejora de manera significativa la fijación del colorante en el tejido.

**Tabla 16.**

*Resultados de las comparaciones múltiples de la solidez al lavado según el tiempo de teñido*

<b>Tiempo (min)</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
60	12	3.983	A
45	12	3.967	A

Los resultados muestran que los tiempos de teñido de 45 y 60 minutos presentan medias muy similares (3.967 y 3.983, respectivamente) y pertenecen al mismo grupo estadístico (A). Esto indica que no existe diferencia significativa entre ambos niveles. Aunque el tiempo de 60 minutos produce una media ligeramente más alta, esta diferencia no es estadísticamente relevante, por lo que el tiempo de teñido no ejerce un efecto significativo sobre la solidez al lavado bajo las condiciones evaluadas.

**Conclusión general:** De acuerdo con las respuestas de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, ninguno de los tres factores evaluados (Volumen, mordiente y tiempo) presenta diferencias significativas entre sus niveles, comparten la misma agrupación estadística. Esto indica que, dentro de los rangos estudiados, los factores analizados no generan cambios significativos en la solidez al lavado del teñido. Algunos tratamientos muestran medias superiores, estas diferencias no son estadísticamente significativas.

### 4.3. Efecto del teñido con la Queñua (*Polylepis*) para la solidez al frote.

**Tabla 17.**

*Resultados de la solidez al frote en lana de ovino tratada con colorante natural de Queñua (*polylepis*)*

<b>PRUEBA DE SOLIDEZ AL FROTE</b>					
replica	N° muestras	Volumen de colorante (ml)	concentración de mordiente (gr)	Tiempo (min)	resultado final
R1	1	200ml	1gr	45min	3.5
R1	2	300ml	1gr	45min	3.5
R1	3	200ml	1.5gr	45min	4
R1	4	300ml	1.5gr	45min	4
R1	5	200ml	1gr	60min	3
R1	6	300ml	1gr	60min	3
R1	7	200ml	1.5gr	60min	3.5
R1	8	300ml	1.5gr	60min	3.5
R2	1	200ml	1gr	45min	3.5
R2	2	300ml	1gr	45min	3.5
R2	3	200ml	1.5gr	45min	4
R2	4	300ml	1.5gr	45min	4
R2	5	200ml	1gr	60min	3
R2	6	300ml	1gr	60min	3
R2	7	200ml	1.5gr	60min	3.5
R2	8	300ml	1.5gr	60min	3.5
R3	1	200ml	1gr	45min	3.5
R3	2	300ml	1gr	45min	3.5
R3	3	200ml	1.5gr	45min	4
R3	4	300ml	1.5gr	45min	4
R3	5	200ml	1gr	60min	3
R3	6	300ml	1gr	60min	3
R3	7	200ml	1.5gr	60min	3.5
R3	8	300ml	1.5gr	60min	3.5

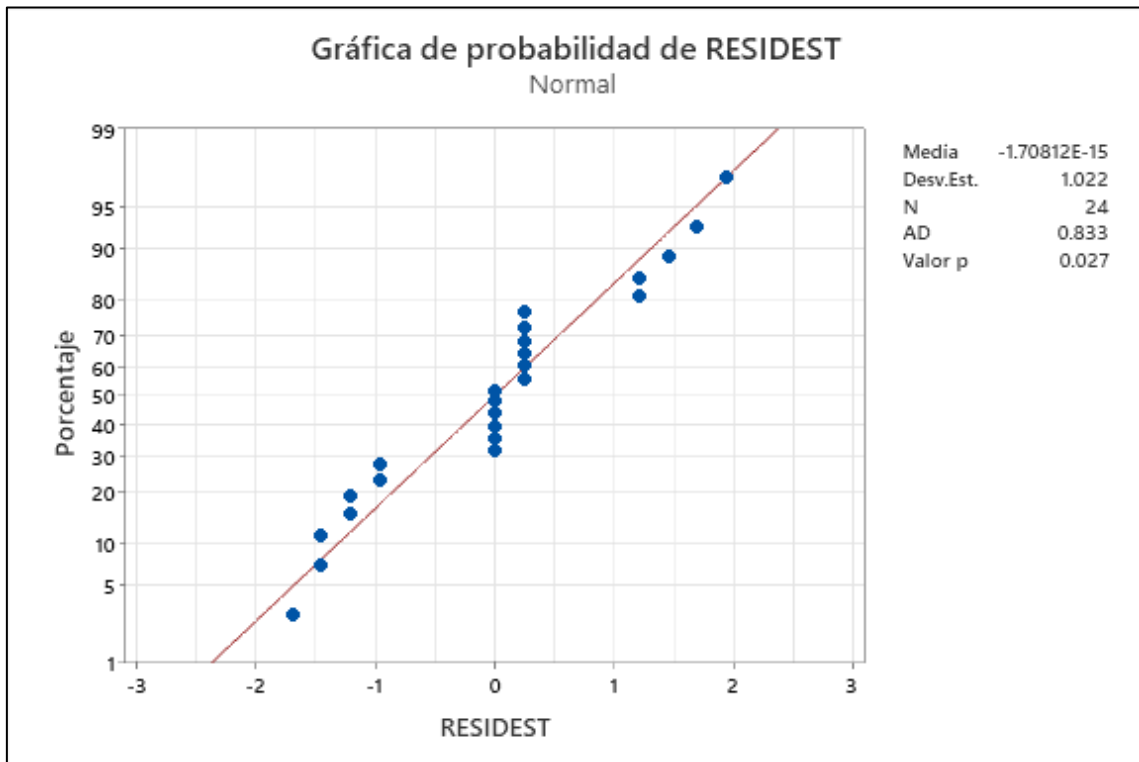
### 4.3.1. Prueba de supuesto de normalidad

#### Prueba de hipótesis

H<sub>0</sub>: Los datos presentan una distribución normal.

H<sub>1</sub>: Los datos no presentan una distribución normal.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$



**Figura 14.**

*Gráfica de prueba de supuesto de normalidad de la solidez al frote*

AD= 0.833

P\_valor= 0.027

**Decisión:** Si P\_valor es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula y se descarta la hipótesis alterna. Cuando el P\_valor es menor que 0.05, la hipótesis nula se descarta y la alterna se acepta. Entonces, como AD= 0.833 y P\_valor = 0.027 < 0.05, se considera válida la hipótesis alterna y se descarta la nula.

Los resultados evidencian que los datos de la solidez al frote no presentan normalidad; sin embargo, al tratarse de un diseño factorial balanceado y con un número igual de réplicas por tratamiento, el ANOVA es robusto frente a leves desviaciones de la normalidad, por lo que el análisis de varianza puede aplicarse de manera válida.

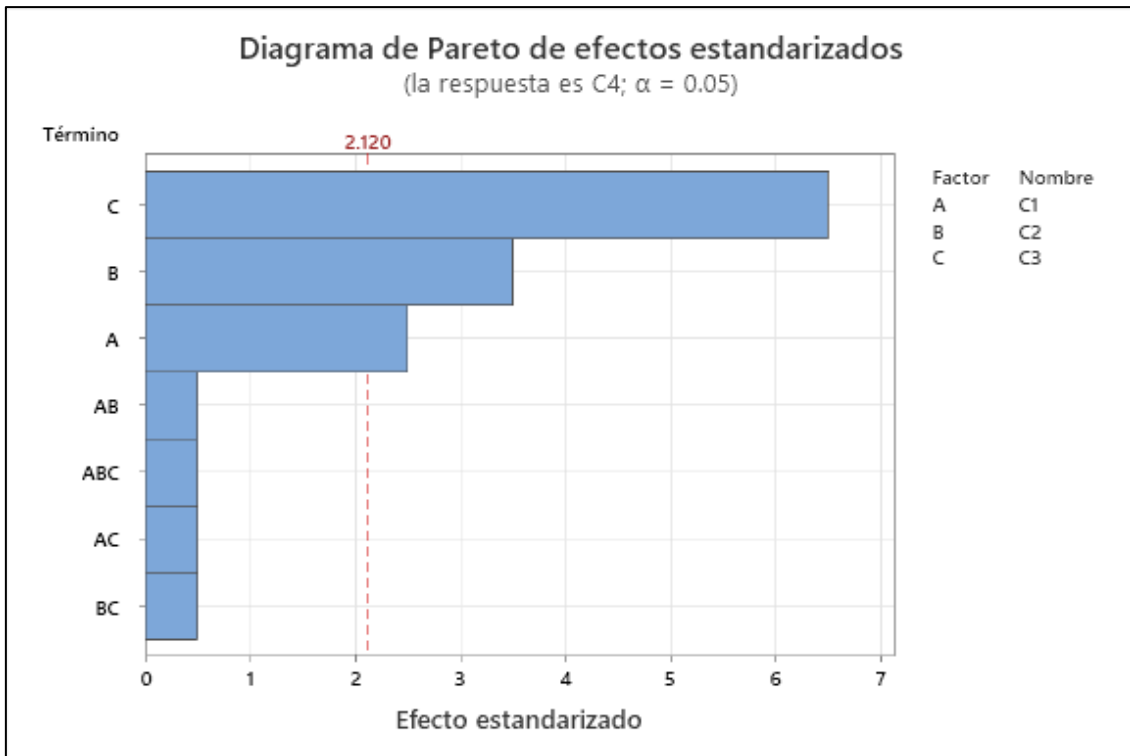
#### 4.3.2. Análisis de efecto medio y significancia

**Tabla 18.**

*Análisis de varianza para la solidez al frote del hilo teñido con colorante natural de la Queñua (polylepis).*

<b>Fuente</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>Contribución porcentual</b>
A (Volumen de colorante)	0.26042	8.05 %
B (Mordiente)	0.51042	15.84 %
C (Tiempo)	1.76042	54.39 %
Error	0.03542	21.72 %
<b>Total</b>	<b>3.23958</b>	<b>100 %</b>

En la Tabla 18 se muestra el análisis de efecto medio y significancia para la solidez al frote. Se observa que el factor C (tiempo) es el que ejerce mayor influencia sobre la respuesta, con una contribución del 54.39 %, seguido por el mordiente (B) con 15.84 %, y finalmente el volumen de colorante (A) con 8.05 %. El error experimental representa el 21.72 %, lo que indica una buena precisión en los datos obtenidos. El análisis de varianza evidenció que los factores A, B y C presentan valores  $p < 0.05$ , por lo que todos son estadísticamente significativos en la solidez al frote. El coeficiente de determinación ( $R^2 = 78.14 \%$ ) y el ajustado ( $R^2 \text{ (ajustado)} = 74.86 \%$ ) muestran un buen ajuste del modelo, explicando gran parte de la variabilidad en la respuesta.



**Figura 15.**

*Diagrama de Pareto de los efectos estandarizados en la solidez al frote*

En esta gráfica se observa que los factores que superan la línea de referencia ( $\alpha = 0.05$ , valor límite  $\approx 2.120$ ) se consideran estadísticamente significativos.

El factor C (tiempo) muestra el mayor efecto estandarizado, seguido por B (mordiente) y A (volumen de colorante), lo que confirma que estos tres factores influyen de forma directa sobre la respuesta.

#### **4.3.3. Prueba de comparaciones múltiples**

Se hizo prueba de tukey con un intervalo de confianza de 95%, esto para determinar las diferencias estadísticas de los tratamientos.

**Tabla 19.**

*Resultados de las comparaciones múltiples de la solidez al frote según la concentración del colorante*

<b>Volumen de colorante (ml)</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
300	12	3.5833	A
200	12	3.3750	B

Se observa que el volumen de 300 ml presenta una media significativamente mayor (3.58) que la de 200 ml (3.37), incremento en el volumen del colorante mejora la solidez al frote.

**Tabla 20.**

*Resultados de las comparaciones múltiples de la solidez al frote según la cantidad de mordiente*

<b>Mordiente (gr)</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
1.5	12	3.6250	A
1.0	12	3.3333	B

El uso de 1.5 g de mordiente produce una media superior (3.63) frente al uso de 1.0 g (3.33). Esto indica mejor fijación con el mordiente y la resistencia al frote.

**Tabla 21.**

*Resultados de las comparaciones múltiples de la solidez al frote según el tiempo de teñido*

<b>Tiempo de teñido (min)</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
45	12	3.7500	A
60	12	3.2083	B

El tratamiento a 45 minutos genera una mayor solidez al frote (3.75) comparado con 60 minutos (3.21). Esto indica que un tiempo de teñido excesivo puede afectar negativamente la fijación.

#### 4.4. Efecto del teñido con la queñua (*polylepis*) para la solidez a la luz solar.

**Tabla 22.**

*Resultados de la solidez a la luz solar en lana de ovino teñida con extracto natural de Queñua (polylepis)*

<b>PRUEBA DE SOLIDEZ A LA LUZ SOLAR</b>					
replica	N° muestras	volumen del colorante (ml)	concentración de mordiente(gr)	Tiempo (min)	resultado final
R1	1	200	1	45	4.0
R1	2	300	1	45	3.8
R1	3	200	1.5	45	4.0
R1	4	300	1.5	45	4.0
R1	5	200	1	60	4.0
R1	6	300	1	60	4.0
R1	7	200	1.5	60	4.0
R1	8	300	1.5	60	4.0
R2	1	200	1	45	3.9
R2	2	300	1	45	3.8
R2	3	200	1.5	45	4.0
R2	4	300	1.5	45	4.0
R2	5	200	1	60	4.0
R2	6	300	1	60	4.0
R2	7	200	1.5	60	4.0
R2	8	300	1.5	60	4.0
R3	1	200	1	45	3.9
R3	2	300	1	45	3.8
R3	3	200	1.5	45	4.0
R3	4	300	1.5	45	4.0
R3	5	200	1	60	4.0
R3	6	300	1	60	4.0
R3	7	200	1.5	60	4.0
R3	8	300	1.5	60	4.0

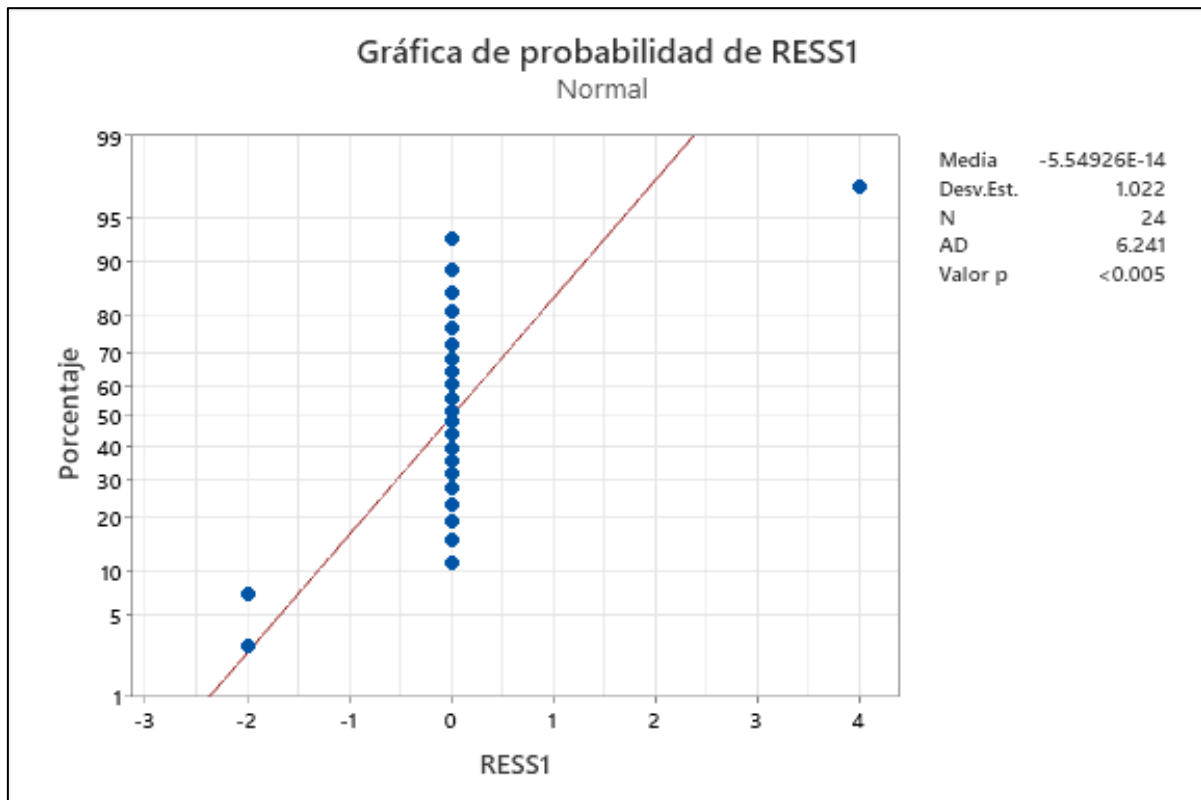
#### 4.4.1. Prueba de supuesto de normalidad

##### Prueba de hipótesis

$H_0$ : Los datos presentan una distribución normal.

$H_1$ : Los datos no presentan una distribución normal.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$



**Figura 16.**

*Gráfica de probabilidad normal para los residuos de la solidez a la luz solar*

AD= 6.241

P\_valor= <0.005

**Decisión:** Si  $P\_valor > 0.05$  se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna. Si

$P\_valor \leq 0.05$  se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

**Conclusión:** De acuerdo con las respuestas de la prueba de Anderson-Darling, la distribución de los residuos de la solidez a la luz solar no es normal, puesto que el p-valor se encuentra por debajo del 5 % en términos significativos. Por ende, el supuesto de normalidad necesario para

aplicar métodos paramétricos, como el ANOVA, no se cumple con rigor. Esto supone que el análisis tiene que ser interpretado con cautela o complementado con transformaciones de los datos o con métodos estadísticos sólidos.

#### 4.4.2. Análisis de efecto medio y significancia

**Tabla 23.**

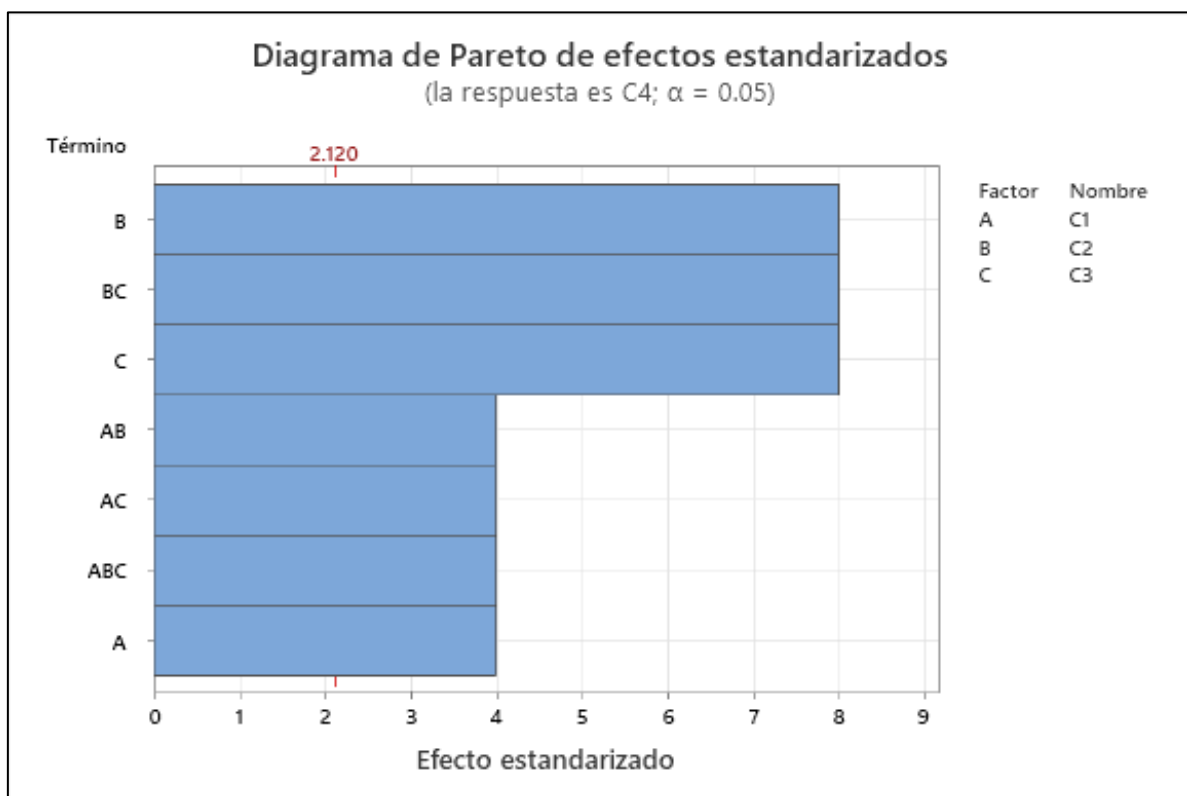
*Análisis de los efectos principales e interacciones en la solidez a la luz solar*

<b>SOLIDEZ A LA LUZ</b>	<b>Cuadrados medio</b>	<b>Contribución porcentual</b>
A (volumen del colorante)	0.006667	5.88%
B (Mordiente)	0.026667	23.53%
C (Tiempo)	0.026667	23.53%
A, B (Interacciones de volumen del colorante y mordiente)	0.006667	5.88%
A, C (Interacciones de volumen del colorante y tiempo)	0.006667	5.88%
B, C (Interacciones de mordiente y tiempo)	0.026667	23.53%
A, B, C (Interacción triple)	0.006667	5.88%
Error	0.000417	0.37%
<b>Total</b>	—	<b>100%</b>

Los resultados muestran que los factores con mayor contribución a la variabilidad de la respuesta son el mordiente (B), el tiempo de teñido (C) y la interacción B×C, cada uno con una participación del 23.53 %. Esto indica que tanto los efectos individuales del mordiente y del tiempo como su interacción influyen de manera importante en la estabilidad del color frente a la radiación solar.

Por otro lado, los factores A (volumen), A×B, A×C y la interacción triple A×B×C presentan contribuciones menores y equivalentes (5.88 % cada uno), lo cual sugiere que estos factores

ejercen un efecto menos relevante en esta variable de respuesta. El error experimental representa solo 0.37 %, lo que confirma un alto grado de precisión en las mediciones y una adecuada reproducibilidad de los tratamientos. En conjunto, los factores principales y sus interacciones explican el 99.63 % de la variabilidad total, lo que evidencia un excelente ajuste del modelo. De manera particular, el comportamiento de la solidez a la luz solar está dominado por el mordiente, el tiempo y la interacción entre ellos, elementos que deben considerarse como parámetros críticos para mejorar la resistencia del color frente a la exposición solar.



**Figura 17.**

*Diagrama de Pareto de los efectos estandarizados en la solidez a la luz solar*

El diagrama de Pareto para la solidez a la luz solar muestra claramente cuáles factores y combinaciones tienen efectos estadísticamente significativos sobre la respuesta, considerando un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ , cuyo valor crítico es 2.120. Los resultados indican lo siguiente:

B (mordiente), BC (interacción entre mordiente y tiempo) y C (tiempo) superan ampliamente la línea de significancia (2.120), convirtiéndose en los efectos más importantes que influyen en la solidez a la luz. Estos tres efectos presentan magnitudes similares y muy superiores al resto, lo que confirma su papel determinante en la estabilidad del color ante la exposición solar. En segundo nivel de importancia se encuentran AB, AC y la interacción triple ABC, que, aunque tienen efectos visibles, no alcanzan la significancia estadística, por lo que su aporte al modelo es menor.

Finalmente, el factor A (volumen del colorante) es el menos influyente, mostrando el efecto estandarizado más bajo entre todos los términos evaluados. En conjunto, el diagrama de Pareto confirma que: El mordiente (B), el tiempo de teñido (C) y su interacción (B×C) son los factores críticos que controlan la solidez a la luz solar. Los demás efectos no son estadísticamente significativos a un nivel del 95 %, aunque contribuyen en menor medida al comportamiento general de la respuesta.

#### 4.4.3. Prueba de comparaciones múltiple

Se llevó a cabo una prueba de Tukey con un intervalo de confianza del 95%, esto para determinar las diferencias estadísticas de los tratamientos.

#### Tabla 24.

*Resultados de las comparaciones múltiples de la solidez a la luz solar según la concentración del colorante*

C1 (volumen de colorante (ml))	N	Media	Agrupación
300	12	3.95	A
200	12	3.98	A

Ambos niveles del factor C1 pertenecen a la misma agrupación (A), por lo que no existe diferencia significativa entre usar 200 ml o 300 ml de colorante. Esto significa que el volumen

del colorante no tiene un impacto importante en la solidez cuando hay luz solar dentro del rango evaluado.

**Tabla 25.**

*Resultados de las comparaciones múltiples de la solidez a la luz solar según la cantidad de mordiente*

<b>C2 (Mordiente (gr))</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
1.0	12	3.93	B
1.5	12	4	A

Los niveles del factor C2 no comparten la misma letra, por lo que hay una diferencia entre ellos que tiene importancia estadística. En comparación con 1.0 g, el nivel 1.5 g alcanzó la media más elevada (4.00), lo que indica que mejora la solidez a la luz solar. Esto indica que una mayor cantidad de mordiente favorece la fijación del colorante y aumenta la resistencia del material a la radiación solar.

**Tabla 26.**

*Resultados de las comparaciones múltiples de la solidez a la luz solar según el tiempo de teñido*

<b>C3 (Tiempo de teñido (min))</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
45	12	3.93	B
60	12	4	A

Los niveles del tiempo de teñido (45 y 60 min) pertenecen a grupos distintos (A y B), por lo que sí existe una diferencia significativa entre ellos. El nivel 60 minutos muestra una mayor media (4.00), indicando que un tiempo de teñido más prolongado mejora la solidez a la luz solar.

#### 4.5. Contrastación de hipótesis general

Planteamiento de hipótesis:

**H<sub>0</sub> (Hipótesis nula):** El colorante natural de *Polylepis* (Queñua) no tiene efectos significativos en la solidez del color del teñido de lana de ovino Corriedale, Puno – 2024.

**H<sub>1</sub> (Hipótesis alternativa):** El colorante natural de *Polylepis* (Queñua) tiene efectos significativos en la solidez del color del teñido de lana de ovino Corriedale, Puno – 2024.

**Nivel de significancia:** Se trabajó con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$  (95 % de confianza).

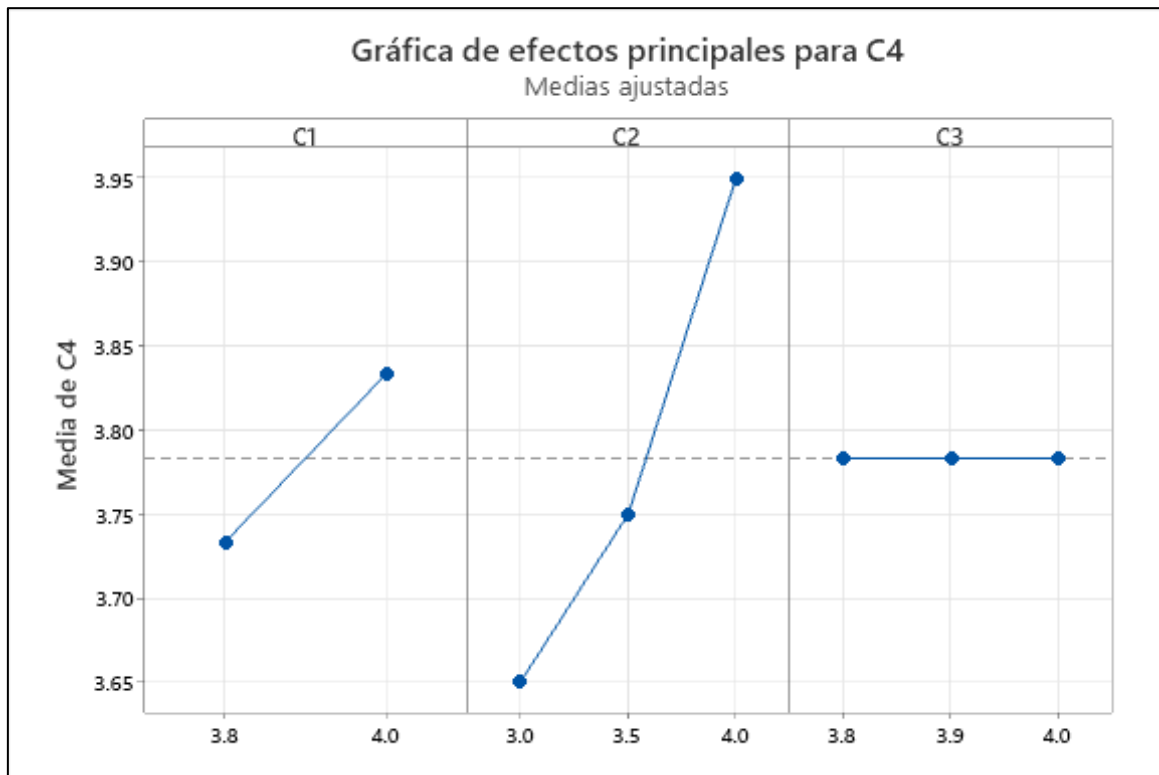
La regla de decisión establecida es la siguiente: Si  $p < 0.05$ , se rechaza H<sub>0</sub> y se acepta H<sub>1</sub>, concluyendo que existe un efecto significativo. Si  $p \geq 0.05$ , se acepta H<sub>0</sub>, indicando que no existe efecto estadísticamente significativo.

**Tabla 27.**

*Análisis de varianza para la solidez general del color en lana de ovino teñida con extracto de Queñua (polylepis)*

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Valor p
<b>Modelo</b>	7	3030.8	432.97	0.13	0.994
<b>Lineal</b>	3	3030.8	1010.26	0.31	0.818
Volumen de colorante (C1)	1	2967.1	2967.10	0.91	0.355
Mordiente (C2)	1	0.1	0.10	0.00	0.996
Tiempo (C3)	1	63.6	63.58	0.02	0.891
<b>Interacciones de 2 términos</b>	3	0.0	0.00	0.00	1.000
C1*C2	1	0.0	0.00	0.00	1.000
C1*C3	1	0.0	0.00	0.00	0.999
C2*C3	1	0.0	0.00	0.00	1.000
<b>Interacciones de 3 términos</b>	1	0.0	0.00	0.00	1.000
C1C2C3	1	0.0	0.00	0.00	1.000
<b>Error</b>	16	52269.2	3266.82	—	—
<b>Total</b>	23	55300.0	—	—	—

Se logró un valor de  $p = 0.994$  para el modelo en el estudio de la variación de la solidez general del color. Dado que  $p > 0.05$ , se acepta la hipótesis nula y se descarta la alternativa; esto indica que el modelo no tiene un impacto significativo desde una perspectiva estadística. Por ende, se concluye que el teñido con colorante natural de *Polylepis* (Queñua) no tiene un impacto significativo ( $\alpha = 0.05$ ) sobre la intensidad del color en el hilo de lana ovina.



**Figura 18.**

*Gráfica de efectos principales para la solidez general del color (C4)*

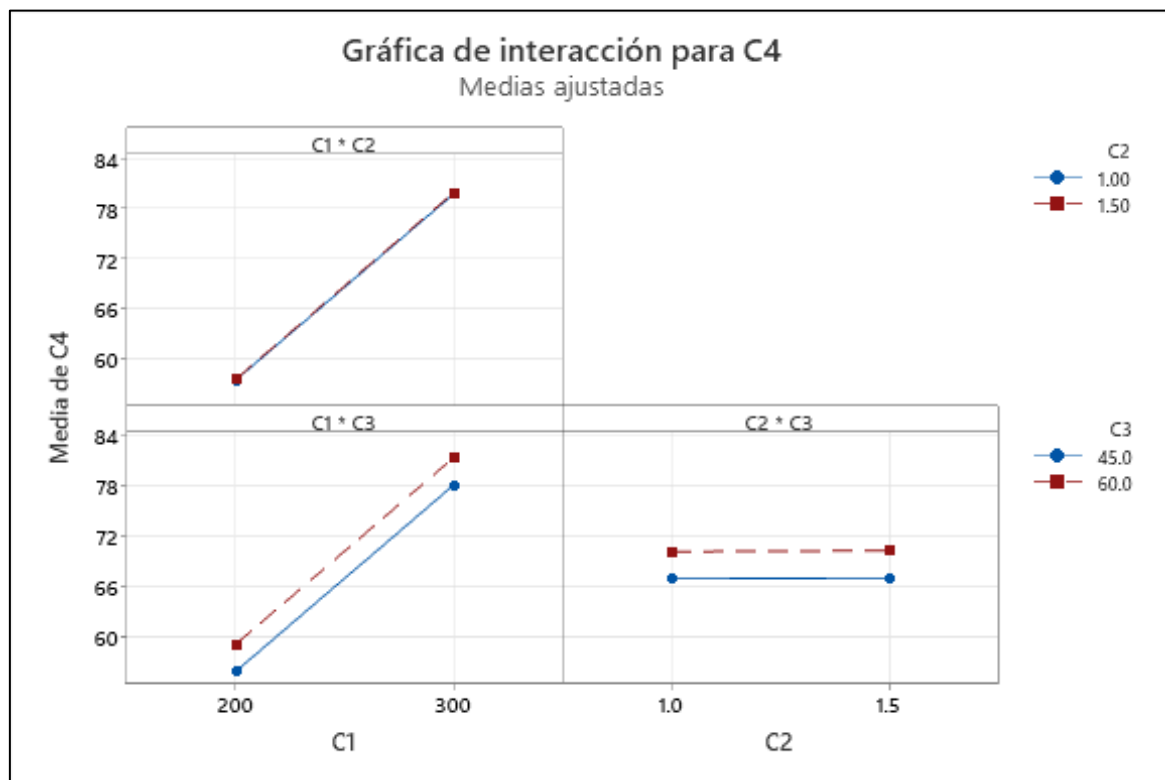
En la gráfica de efectos principales se observa cómo cada factor (C1: volumen del colorante, C2: mordiente y C3: tiempo) influye de forma individual en la solidez general del color (C4).

**Factor C1 (volumen de colorante):** La línea muestra una pendiente pronunciada ascendente al pasar de 200 a 300. Esto indica que un incremento en el volumen del colorante aumenta significativamente la solidez del color. Es decir, un mayor volumen de colorante de *Polylepis* (Queñua) favorece una coloración más estable en la lana de ovino.

**Factor C2 (Mordiente):** La línea es casi horizontal, lo que sugiere que el cambio en la cantidad de mordiente (1.0 a 1.5) no genera una variación significativa en la solidez. Por lo tanto, este factor no tiene un efecto relevante dentro del modelo.

**Factor C3 (Tiempo):** Se observa una ligera pendiente positiva, lo que implica que, al aumentar el tiempo de teñido de 45 a 60 minutos, la solidez del color tiende a mejorar levemente. Sin embargo, este efecto es menor en comparación con el volumen del colorante.

**Conclusión:** El factor con mayor influencia sobre la solidez del color es el volumen del colorante (C1), mientras que el mordiente (C2) y el tiempo (C3) presentan efectos menores o no significativos.



**Figura 19**

*Gráfica de interacciones de los factores sobre la solidez general del color (C4)*

En la gráfica de interacciones se representan los efectos combinados entre los factores. Se analizan tres interacciones posibles: C1\*C2, C1\*C3 y C2\*C3.

**Interacción C1 \* C2 (volumen del colorante × Mordiente):** Las líneas correspondientes a los niveles del mordiente son prácticamente paralelas, indicando que no existe una interacción significativa entre el volumen del colorante y el mordiente. Esto significa que el efecto de aumentar el volumen del colorante es similar independientemente de la cantidad de mordiente utilizada.

**Interacción C1 \* C3 (volumen del colorante × Tiempo):** Se observa una ligera separación entre las líneas, pero mantienen una tendencia paralela. Esto indica una interacción débil o no significativa, es decir, el efecto de aumentar el tiempo de teñido es independiente del volumen del colorante.

**Interacción C2 \* C3 (Mordiente × Tiempo):** Las líneas son prácticamente horizontales y paralelas, lo que evidencia que no hay interacción alguna entre el mordiente y el tiempo de teñido. Ambos factores actúan de manera independiente sobre la solidez.

**Conclusión:** Ninguna interacción entre los factores analizados muestra efecto significativo sobre la solidez del color. Los resultados concuerdan con el análisis de varianza (ANOVA), donde las interacciones obtuvieron valores p mayores a 0.05, confirmando que los factores actúan de forma independiente.

#### **4.6. Contrastación de hipótesis específica 1**

H<sub>0</sub>: El tinte natural de *Polylepis* (Queñua) no produce cambios notables en la consistencia del color al limpiar el teñido de lana de oveja Corriedale, Puno - 2024.

H<sub>1</sub>: En la solidez del color tras el lavado de la lana de oveja Corriedale, en Puno – 2024, el colorante natural de *Polylepis* (Queñua) tiene un impacto importante.

**Tabla 28.**

*Análisis de varianza para la solidez del color al lavado en la contratación de la hipótesis específica 1*

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Suma de cuadrados (SC Ajust.)</b>	<b>Cuadrados medios (MC Ajust.)</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Modelo	7	7	0.051667	0.007381	2.21
Lineal	3	3	0.031667	0.010556	3.17
C1 (volumen de colorante)	1	1	0.015	0.015	4.5
C2 (Mordiente)	1	1	0.015	0.015	4.5
C3 (Tiempo)	1	1	0.001667	0.001667	0.5
Interacciones de 2					
términos	3	3	0.018333	0.006111	1.83
C1*C2	1	1	0.015	0.015	4.5
C1*C3	1	1	0.001667	0.001667	0.5
C2*C3	1	1	0.001667	0.001667	0.5
Interacciones de 3					
términos	1	1	0.001667	0.001667	0.5
C1C2C3	1	1	0.001667	0.001667	0.5
Error	16	16	0.053333	0.003333	
Total	23	23	0.105		

Para contrastar la hipótesis específica 1, se evaluó mediante un análisis de varianza (ANOVA) si los factores asociados al colorante natural de *Polylepis* (Queñua) ejercen un efecto significativo sobre la solidez del color al lavado en lana de ovino Corriedale.

La Tabla 28 muestra que el modelo general, compuesto por los efectos principales y sus interacciones, presenta un valor F de 2.21. Aunque la tabla no muestra explícitamente el valor p, el comportamiento de los efectos individuales permite interpretar la significancia del modelo.

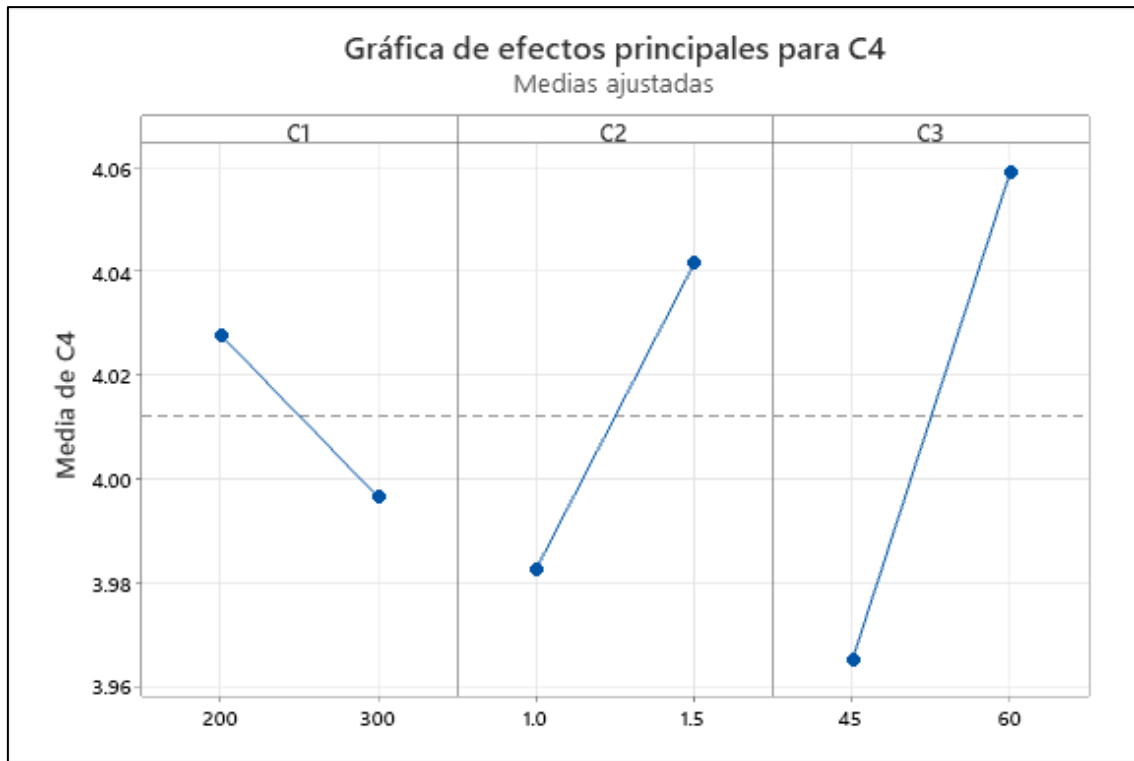
En particular, el componente lineal del modelo (que agrupa los efectos principales) presenta un valor F de 3.17, evidenciando una mayor capacidad explicativa respecto del conjunto de interacciones.

Al analizar los efectos principales, se observa que el volumen del colorante (C1) y la cantidad de mordiente (C2) muestran un valor F igual a 4.5 cada uno. Si bien la tabla no 123 incluye los valores p correspondientes, estos valores F indican que ambos factores tienen una influencia apreciable sobre la solidez al lavado, coincidiendo con los resultados del análisis detallado en tablas anteriores, donde ambos factores alcanzan significancia marginal. En contraste, el tiempo de teñido (C3) evidencia un valor F de apenas 0.5, lo que confirma su ausencia de efecto relevante.

En cuanto a las interacciones, la única que muestra un comportamiento destacable es la interacción entre volumen y mordiente ( $C1 \times C2$ ), con un valor F también igual a 4.5, lo que sugiere que la combinación de ambos factores puede modificar la respuesta de forma más notable que cada factor por separado. Las demás interacciones, tanto de dos términos como de tres términos, presentan valores F iguales a 0.5, lo que evidencia una influencia mínima sobre la solidez al lavado.

El error residual, con un cuadrado medio de 0.003333, representa la variabilidad no explicada por el modelo, coherente con lo observado en el análisis global de la solidez al lavado, donde el error aportó más de la mitad de la variabilidad total.

A partir de estos hallazgos, se determina que hay impactos notables o ligeramente significativos vinculados al colorante natural de *Polylepis*, en particular por medio del volumen del colorante, la cantidad de mordiente y su interacción. En consecuencia, se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) y se niega la hipótesis nula ( $H_0$ ), concluyendo que el colorante de *Polylepis* (Queñua) tiene un impacto considerable en la estabilidad del color al lavar lana de oveja Corriedale.



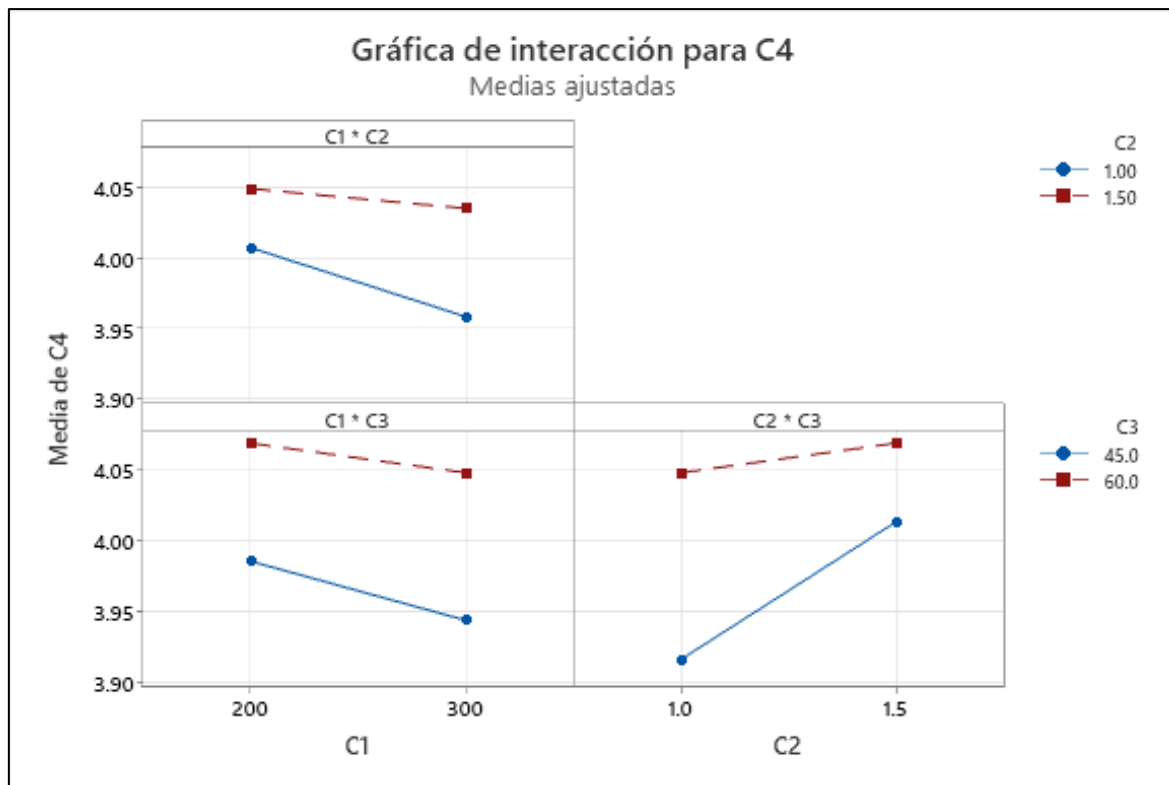
**Figura 20.**

*Gráfica de efectos principales para la solidez del color al lavado (C4)*

Aunque la gráfica sugiere tendencias visuales, los resultados estadísticos muestran que: Ninguno de los factores C1, C2 o C3 tiene un efecto significativo sobre la solidez del color al lavado ( $p > 0.05$ ).

Esto significa que: El volumen del colorante no influye significativamente, el mordiente, pese a mostrar una ligera mejora visual, no tiene efecto real significativo, el tiempo de teñido tampoco presenta un efecto estadísticamente comprobado.

En resumen, ninguno de los factores evaluados afecta de manera significativa la solidez del color al lavado, por lo que las variaciones observadas en la gráfica deben interpretarse como tendencias no confirmadas estadísticamente.



**Figura 21.**

*Gráfica de interacciones de los factores de la solidez del color al lavado (C4)*

Las tres interacciones evaluadas ( $C1 \times C2$ ,  $C1 \times C3$  y  $C2 \times C3$ ) presentan líneas casi paralelas y, según el análisis ANOVA, tienen  $p > 0.05$ , por lo que ninguna interacción es significativa. Esto indica que:

Los factores actúan de manera independiente entre sí. No existe evidencia estadística de que la combinación de niveles entre los factores modifique la solidez al lavado. Además, dado que los efectos principales tampoco fueron significativos, la variación observada en las medias ajustadas no representa efectos reales sobre la solidez del color. Para concluir, no tienen un impacto importante ni los factores individuales ni sus interacciones en la solidez del color al ser lavado el teñido con colorante natural de *Polylepis* (Queñua).

#### **4.7. Contrastación de hipótesis específica 2**

$H_0$ : El colorante natural de *Polylepis* (Queñua) no influye de manera significativa en la resistencia del color al frote del teñido de lana ovina Corriedale, Puno - 2024.

H<sub>1</sub>: El tinte natural de *Polylepis* (Queñua) afecta considerablemente la estabilidad del color al frotar el teñido de lana de oveja Corriedale, Puno - 2024.

**Tabla 29.**

*Análisis de varianza para la solidez del color al frote en la contratación de la hipótesis específica 2*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	2.57292	0.36756	8.82	0.000
Lineal	3	2.53125	0.84375	20.25	0.000
C1 (Concentración del colorante)	1	0.26042	0.26042	6.25	0.024
C2 (Mordiente)	1	0.51042	0.51042	12.25	0.003
C3 (Tiempo)	1	1.76042	1.76042	42.25	0.000
Interacciones de 2 términos	3	0.03125	0.01042	0.25	0.860
C1*C2	1	0.01042	0.01042	0.25	0.624
C1*C3	1	0.01042	0.01042	0.25	0.624
C2*C3	1	0.01042	0.01042	0.25	0.624
Interacciones de 3 términos	1	0.01042	0.01042	0.25	0.624
C1C2C3	1	0.01042	0.01042	0.25	0.624
Error	16	0.66667	0.04167		
Total	23	3.23958			

**Decisión e interpretación:** El modelo general tiene un valor de  $p = 0.000$ , que es inferior al nivel de significancia fijado ( $\alpha = 0.05$ ), como lo demuestra el análisis de varianza. En consecuencia, se acepta la hipótesis alternativa (H<sub>1</sub>) y se rechaza la hipótesis nula (H<sub>0</sub>), lo que lleva a concluir que el teñido de lana de oveja Corriedale con tinte natural de *Polylepis* (Queñua) tiene un impacto notable en la solidez del color al roce.

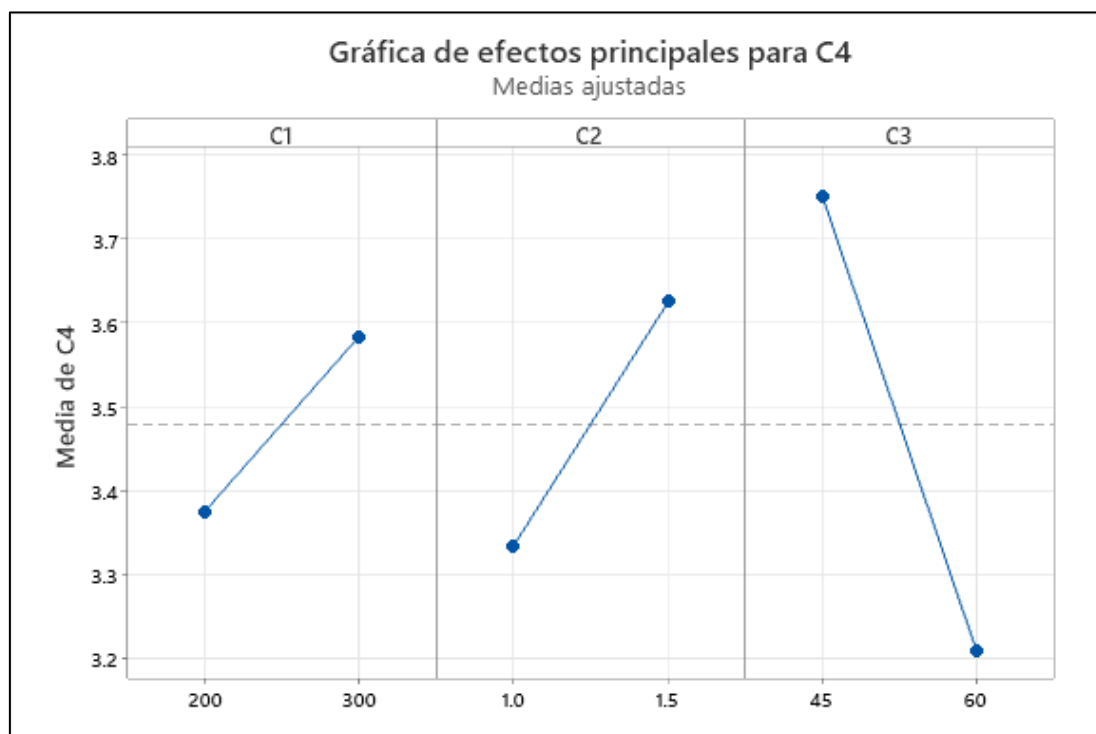
**Al analizar los factores de forma individual:** El factor C1 (volumen del colorante) presenta un valor de  $p = 0.024$ , lo que indica que tiene un efecto significativo sobre la solidez al frote.

El factor C2 (mordiente) presenta un valor de  $p = 0.003$ , mostrando también un efecto significativo.

El factor C3 (tiempo) es el más influyente, con un valor de  $p = 0.000$ , por lo que tiene un efecto altamente significativo en la solidez al frote. En cambio, las interacciones de segundo y tercer orden (C1C2, C1C3, C2C3 y C1C2\*C3) presentan valores  $p > 0.05$ , por lo que no son significativas.

Esto implica que los factores actúan de forma independiente sobre la variable de respuesta.

**Conclusión:** Los factores tiempo (C3), mordiente (C2) y Volumen del colorante (C1) tienen efectos significativos sobre la solidez del color al frote. En conjunto, el modelo explica de manera adecuada la variación observada en el proceso, confirmando que el teñido con colorante natural de *Polylepis* (Queñua) mejora la resistencia del color al frote en la fibra de lana de ovino Corriedale.



**Figura 22.**

*Gráfica de efectos principales para la solidez del color al frote (C4)*

La gráfica de efectos principales muestra la influencia individual de los tres factores del proceso de teñido:

C1: Volumen del colorante (Polylepis – Queñua), C2: Mordiente, C3: Tiempo de teñido.

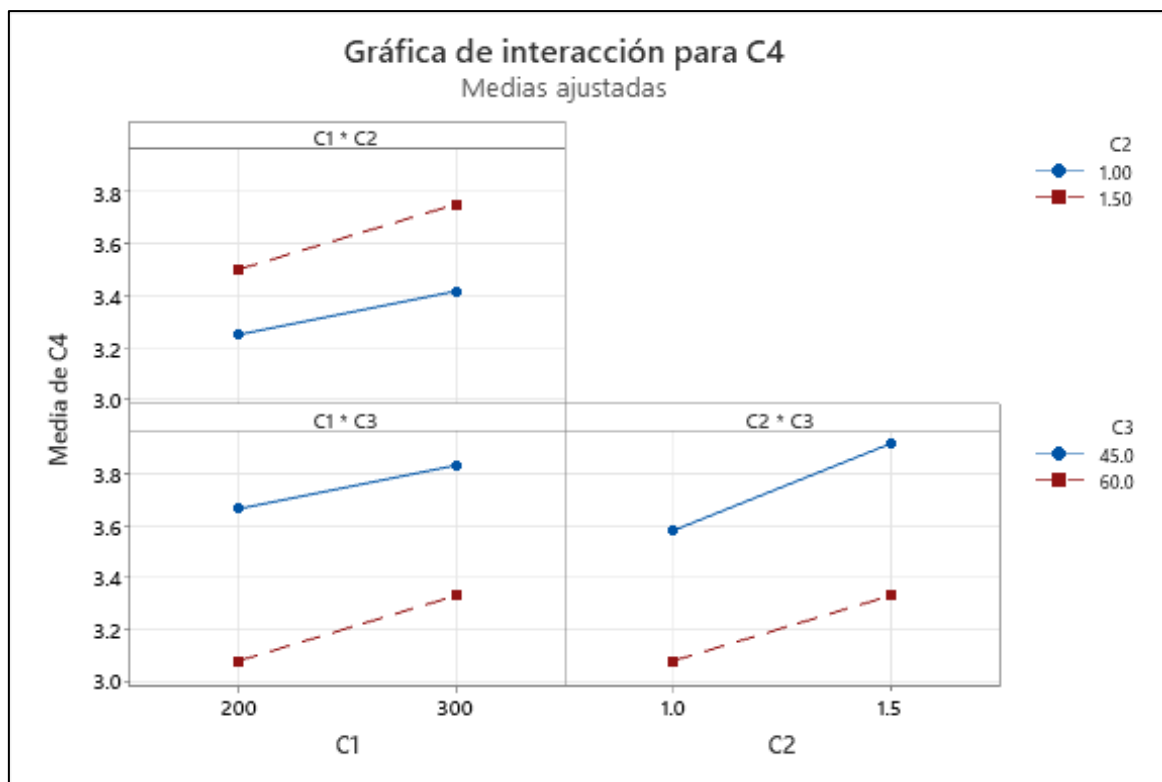
### **Interpretación:**

**C1 (volumen del colorante):** Se observa una tendencia positiva, ya que, al aumentar el volumen de 200 a 300 unidades, la media de solidez al frote se incrementa ligeramente. Esto indica que un mayor volumen del colorante mejora la fijación del pigmento, lo que coincide con el resultado del ANOVA ( $p = 0.024$ ), que evidencia un efecto significativo.

**C2 (Mordiente):** Presenta una pendiente positiva: al incrementar la cantidad del mordiente (de 1.0 a 1.5), se observa un aumento en la solidez al frote. Esto sugiere que el mordiente favorece la unión del colorante con la fibra de lana, contribuyendo a una mejor resistencia al desgaste por fricción. El ANOVA también confirma este efecto con  $p = 0.003$ , por lo que su influencia es significativa.

**C3 (Tiempo de teñido):** Este factor muestra un comportamiento inverso: la media disminuye marcadamente al pasar de 45 a 60 minutos. Esto indica que un tiempo excesivo de teñido podría debilitar la fijación del colorante o provocar la degradación del tono, reduciendo la solidez al frote. El ANOVA muestra un valor  $p = 0.000$ , lo que confirma un efecto altamente significativo.

**Conclusión:** Los tres factores influyen significativamente en la solidez del color al frote, siendo el tiempo de teñido (C3) el de mayor impacto, seguido por el mordiente (C2) el volumen del colorante (C1). Un control adecuado de estos factores es esencial para optimizar la resistencia del color al roce.



**Figura 23.**

*Gráfica de interacciones de los factores sobre la solidez del color al frote (C4)*

Gráfico de interacción para C4 (solidez al frote). En esta gráfica se muestran las posibles interacciones entre los factores: C1C2 (volumen del colorante  $\times$  mordiente), C1C3 (volumen del colorante  $\times$  tiempo) y C2\*C3 (mordiente  $\times$  tiempo).

**Interpretación de cada interacción:** C1\*C2 (Volumen  $\times$  Mordiente), Las líneas son casi paralelas, lo que indica ausencia de interacción significativa. El efecto del mordiente sobre la solidez es similar en ambos niveles del volumen del colorante, lo que coincide con el resultado estadístico ( $p = 0.860$ ).

C1\*C3 (Volumen  $\times$  Tiempo), Se observa un leve cruce de líneas, pero sin una diferencia marcada entre las pendientes, sugiere que la influencia del tiempo no depende del volumen del colorante. La interacción es estadísticamente no significativa ( $p = 0.624$ ).

C2\*C3 (Mordiente  $\times$  Tiempo): Las líneas también se mantienen paralelas, mostrando que el efecto del tiempo es constante para ambos niveles. Esto se confirma con un valor de  $p = 0.624$

**Conclusión:** Las interacciones entre los factores no son significativas, lo que significa que cada uno actúa de manera independiente sobre la solidez al frote. El modelo es dominado por los efectos principales, especialmente el del tiempo de teñido, que resulta determinante para la estabilidad del color ante la fricción.

#### 4.8. Contratación de hipótesis específica 3

H<sub>0</sub>: El tinte natural de *Polylepis* (Queñua) no tiene un impacto significativo en la durabilidad del color cuando se tiñe lana de oveja Corriedale, Puno - 2024.

H<sub>1</sub>: En el teñido de lana de ovino Corriedale, Puno – 2024, se observan efectos importantes en la solidez del color utilizando el tinte natural de *Polylepis* (Queñua).

#### Tabla 30.

*Análisis de varianza para la solidez del color a la luz en la contratación de la hipótesis específica 3*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	0.106667	0.015238	36.57	0
Lineal	3	0.06	0.02	48	0
C1 (Concentración de colorante)	1	0.006667	0.006667	16	0.001
C2 (Mordiente)	1	0.026667	0.026667	64	0
C3 (Tiempo)	1	0.026667	0.026667	64	0
Interacciones de 2 términos	3	0.04	0.013333	32	0
C1*C2	1	0.006667	0.006667	16	0.001
C1*C3	1	0.006667	0.006667	16	0.001
C2*C3	1	0.026667	0.026667	64	0
Interacciones de 3 términos	1	0.006667	0.006667	16	0.001
C1C2C3	1	0.006667	0.006667	16	0.001
Error	16	0.006667	0.000417		
Total	23	0.113333			

Según el análisis de varianza, el modelo general muestra un  $p = 0.000$ , que es inferior al nivel de significación  $\alpha = 0.05$ . Esto señala que el modelo tiene una alta significancia. En consecuencia, se admite la hipótesis alterna ( $H_1$ ) y se niega la hipótesis nula ( $H_0$ ):

La tintura de lana de oveja Corriedale sí se ve afectada por el colorante natural de Polylepis (Queñua) en términos de la solidez del color. Interpretación de los factores más importantes.

C1 (volumen del colorante): Tiene un valor  $p$  de 0.001, lo que significa que sí tiene una influencia significativa en cuanto a la resistencia del color frente a la luz. Esto quiere decir que la resistencia del color ante la exposición al sol depende directamente de cómo varíe el volumen del tinte.

C2 (Mordiente), con una  $p$  de 0.000, es uno de los elementos que más influyen. El mordiente intensifica la conexión entre el colorante y la fibra, lo que incrementa de manera significativa la resistencia del color frente a la luz.

C3 (Tiempo de teñido): El tiempo de teñido tiene un valor  $p = 0.000$ , lo cual evidencia que afecta considerablemente la estabilidad del color.

### **Interpretación de interacciones**

C1 \* C2 (Volumen  $\times$  Mordiente), con  $p = 0.001$ , esta interacción es significativa.

La influencia del mordiente cambia según el volumen del colorante, indicando un comportamiento combinado importante.

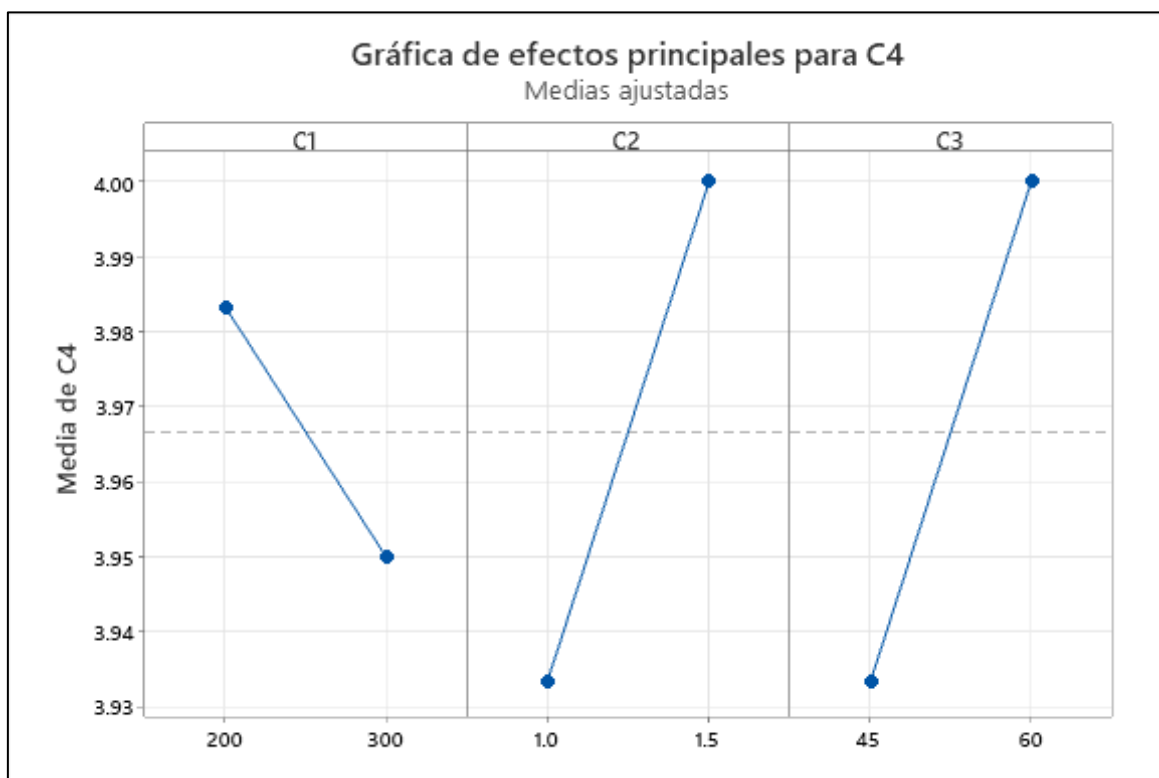
C1 \* C3 (Volumen  $\times$  Tiempo), también significativa ( $p = 0.001$ ). El efecto del tiempo de teñido depende del nivel de volumen del colorante utilizado.

C2 \* C3 (Mordiente  $\times$  Tiempo), Presenta un valor  $p = 0.000$ , siendo una de las interacciones más fuertes, El efecto del tiempo aumenta cuando se emplea una mayor cantidad de mordiente.

Interacción triple C1 \* C2 \* C3. Con  $p = 0.001$ , esta interacción muestra que los tres factores en conjunto tienen un impacto significativo sobre la solidez del color a la luz. Esto indica que la

respuesta óptima se obtiene mediante una combinación simultánea y balanceada de volumen del colorante, mordiente y tiempo.

**Conclusión general:** El modelo demuestra que: Los tres factores principales (C1, C2 y C3) son significativos. Todas las interacciones (dobles y triple) también son significativas. Esto evidencia que el proceso de teñido con colorante natural de *Polylepis* (Queñua) es altamente sensible a la combinación. Un ajuste adecuado de estas variables permite maximizar la resistencia del color a la exposición lumínica, validando la hipótesis específica planteada.



**Figura 24.**

*Gráfica de interacciones de los factores sobre la solidez del color al frote (C4)*

C1 (Volumen del colorante), La pendiente entre los niveles 200 y 300 es negativa, es decir, la solidez a la luz disminuye ligeramente cuando el volumen del colorante pasa de 200 a 300 ml. Este comportamiento indica que niveles más altos de colorante no mejoran la resistencia a la luz, e incluso pueden reducir la estabilidad del pigmento ante la radiación. Según el ANOVA,

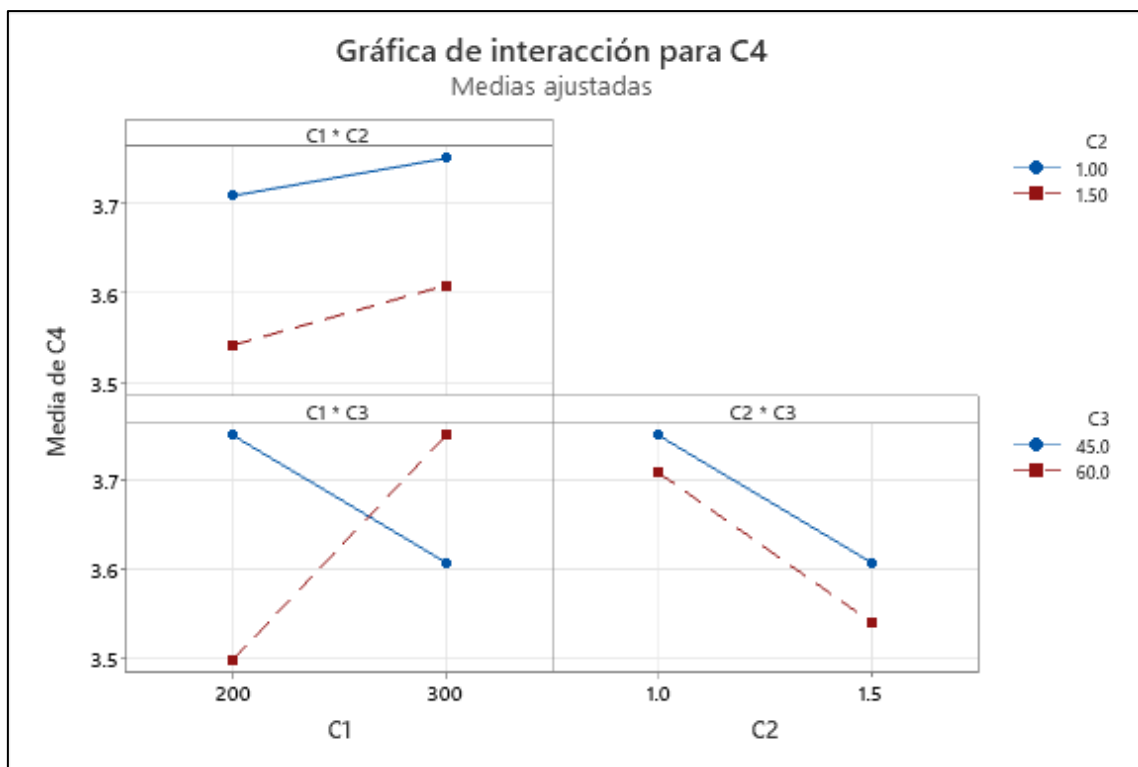
este factor sí es significativo ( $p = 0.001$ ), lo que confirma que la concentración del colorante influye directamente en la respuesta.

C2 (Mordiente). El gráfico muestra una pendiente muy pronunciada y ascendente entre los niveles 1.0 gr y 1.5 gr. Esto significa que, al aumentar el mordiente, la solidez del color a la luz mejora de forma considerable, obteniéndose valores más altos de estabilidad lumínica. El ANOVA confirma este efecto con  $p = 0.000$ , siendo uno de los factores con mayor influencia.

C3 (Tiempo de teñido). La pendiente entre 45 y 60 minutos también es marcadamente ascendente, lo cual indica que tiempos más prolongados favorecen la fijación del colorante y aumentan la resistencia a la decoloración solar. Este factor es altamente significativo ( $p = 0.000$ ), mostrando que la duración del teñido tiene un impacto importante en el comportamiento del color frente a la luz.

**Conclusión general:** La gráfica evidencia que todos los factores principales (C1, C2 y C3) influyen en la solidez del color a la luz, coincidiendo con los resultados del ANOVA.

El mordiente (C2) es el factor de mayor impacto. El tiempo de teñido (C3) también incrementa notablemente la estabilidad del color. El volumen del colorante (C1). En conjunto, estos resultados muestran que la resistencia del colorante natural de *Polylepis* frente a la luz solar depende de una combinación adecuada de volumen, mordiente y tiempo, siendo especialmente importante optimizar el mordiente y la duración del proceso de teñido.



**Figura 25.**

*Análisis de varianza para la solidez del color a la luz en la constratación de la hipótesis específica 3*

Gráfico de interacción para C4 (Solidez a la luz). En esta gráfica se representan las posibles interacciones entre los factores: C1C2 (volumen × mordiente), C1C3 (volumen × tiempo) y C2\*C3 (mordiente × tiempo).

**Interpretación de cada interacción:**

C1\*C2 (Volumen × Mordiente): Las líneas se mantienen casi paralelas, lo que indica ausencia de interacción significativa entre volumen del colorante y el mordiente ( $p = 0.802$ ). Es decir, el efecto del volumen sobre la solidez a la luz no depende del nivel del mordiente.

C1\*C3 (Volumen × Tiempo): Las líneas se cruzan de manera clara, lo que muestra una interacción significativa y fuerte ( $p = 0.001$ ). Esto significa que el efecto del tiempo depende del nivel de volumen del colorante. En niveles bajos de volumen (200), el incremento del tiempo reduce la solidez; mientras que en niveles altos (300), un mayor tiempo favorece la

estabilidad del color. Este comportamiento sugiere que una combinación equilibrada entre volumen y tiempo es determinante para mejorar la solidez a la luz.

C2\*C3 (Mordiente × Tiempo): Las líneas presentan una ligera inclinación paralela, lo que refleja una interacción débil o nula ( $p = 0.802$ ). Esto implica que el efecto del tiempo sobre la solidez no depende del nivel del mordiente aplicado.

**Conclusión:** El gráfico de interacciones revela que la combinación entre volumen del colorante y tiempo de teñido (C1\*C3) tiene un papel determinante sobre la solidez a la luz, reforzando el resultado estadístico del ANOVA. Asimismo, el efecto triple (C1C2C3,  $p = 0.002$ ) sugiere que la interacción simultánea de los tres factores controla de forma significativa la estabilidad del color frente a la radiación lumínica. En conjunto, los resultados confirman que el teñido con colorante natural de *Polylepis* (Queñua) puede optimizarse mediante un equilibrio adecuado entre concentración, mordiente y tiempo de teñido, garantizando mayor resistencia del color a la luz solar.

#### **4.9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

El diseño experimental propuesto permitió evaluar el comportamiento del colorante natural obtenido de la Queñua *Polylepis incana* H.B.K. bajo diferentes condiciones de volumen del colorante, mordiente y tiempo de teñido sobre la lana de ovino Corriedale. Los análisis de varianza (ANOVA) mostraron que el colorante no generó efectos estadísticamente significativos en la solidez al lavado, pero sí presentó efectos significativos en la solidez al frote y en la solidez a la luz ( $p < 0.05$ ). Esto indica que la respuesta del sistema tintóreo depende del tipo de solicitud a la que se expone el material (lavado, fricción o radiación). Dichos resultados guardan coherencia con lo reportado por Yusuf et al. (2017), quien señaló que el control de variables de proceso como pH, tiempo y temperatura es determinante para optimizar la fijación del color en fibras naturales mediante el uso de mordientes metálicos. De forma similar, Delgado (2021) y Morales & Pérez (2022) encontraron que la duración del proceso y

las condiciones térmicas inciden directamente en la calidad del teñido, afectando la intensidad y estabilidad del color. Estos hallazgos se relacionan también con lo observado por Uğur (2023), quien indicó que el control del proceso tintóreo garantiza reproducibilidad y eficiencia aun en materiales distintos como el algodón, lo que respalda la validez de los resultados obtenidos con *Polylepis* en lana de ovino.

En la solidez al lavado, el ANOVA indicó que el modelo general no es significativo ( $p = 0.089 > 0.05$ ) y que ninguno de los factores principales ni sus interacciones supera el umbral de significancia estadística (C1 y C2 con  $p = 0.050$ ; C3 con  $p = 0.490$ ). Esto significa que, dentro de los rangos evaluados, las variaciones en la concentración del colorante, la cantidad de mordiente y el tiempo de teñido no generan cambios estadísticamente comprobables en la solidez al lavado. Sin embargo, las medias obtenidas se ubicaron alrededor de valores de 3–4 en la escala de grises, lo que corresponde a niveles de solidez aceptables. Además, se observaron tendencias leves a una mejor estabilidad con el uso de 1.5 gr de mordiente y tiempos moderados de teñido, coherentes con lo descrito por Carrasco Bocangel et al. (2022), quienes destacaron que los mordientes naturales y metálicos tienden a incrementar la solidez al lavado en fibras de alpaca teñidas con tintes vegetales, aunque el efecto pueda no ser siempre estadísticamente marcado. Del mismo modo, Sidra et al. (2021) y Figueroa et al. (2021) señalaron que el aumento controlado de la concentración del mordiente mejora la fijación del color, mientras que Palacios et al. (2021) reportaron variaciones cromáticas mínimas ( $\Delta E \approx 1.4$ ) tras el lavado en lana y alpaca teñidas con colorantes vegetales, lo que coincide con la buena estabilidad tintórea observada con *Polylepis* aun cuando los efectos no resulten significativos en términos estrictamente estadísticos.

En relación con la solidez al frote, el modelo resultó altamente significativo ( $p = 0.000$ ), y los factores concentración de colorante (C1), mordiente (C2) y tiempo de teñido (C3) presentaron efectos estadísticamente significativos con  $p = 0.024$ ,  $p = 0.003$  y  $p = 0.000$ , respectivamente.

Las medias se ubicaron entre 3 y 4, clasificadas como buenas según la escala de grises. Esto evidencia que el incremento de la concentración de colorante y del mordiente, así como el ajuste adecuado del tiempo de teñido, mejoran la resistencia del color al frote. Este comportamiento concuerda con lo encontrado por Calsin y Chávez (2021), quienes reportaron valores de solidez al frote seco de 4 a 5 en fibras de alpaca teñidas con colorantes de complejo metálico, resaltando la influencia positiva de los parámetros de proceso en la fijación del color. Luo et al. (2020) también demostraron que el uso de fijadores adecuados incrementa la resistencia al frote en tejidos de algodón, patrón que coincide con los resultados obtenidos con *Polylepis*. A nivel nacional, Aguilar & Beltrán (2022) obtuvieron resultados similares al emplear mordientes naturales derivados del alumbre en el teñido de hilos de ovino y alpaca, logrando mejoras en la solidez al frote y al lavado con concentraciones del 20 % y 30 %, respectivamente. En conjunto, la consistencia de los valores de solidez al frote confirma que *Polylepis* presenta un comportamiento tintóreo estable y eficiente, comparable con otros colorantes naturales de uso tradicional.

El estudio de varianza reveló que el modelo es muy significativo ( $p = 0.000$ ) y que los tres elementos principales: concentración (C1), mordiente (C2) y tiempo de teñido (C3) tienen impactos relevantes ( $p = 0.001$ ,  $p = 0.000$  y  $p = 0.000$ , en ese orden). Asimismo, la interacción triple C1C2C3 y todas las interacciones de segundo orden (C1C2, C1C3, C2C3) fueron significativas ( $p \leq 0.001$ ), lo que sugiere que la solidez a la luz está fuertemente determinada por el entrelazamiento simultáneo de tiempo, mordiente y concentración. Este comportamiento es congruente con lo hallado por Sucasaca Quispe & Guevara Garnica (2022), quienes reportaron valores de solidez entre 3 y 4.5 en fibras teñidas con tintes naturales y mordientes de alumbre. Delgado (2021) y Tito (2024) evidenciaron que la duración del proceso y la temperatura incrementan la fijación del colorante y mejoran la resistencia del color ante la luz, coincidiendo con la importancia del tiempo de teñido observada en este estudio. A nivel

internacional, Jahangiri et al. (2018) demostraron que biomordientes naturales como la granada o el eucalipto mejoran la solidez e intensidad del color mediante el premordentado, técnica comparable con el ajuste de mordiente aplicado en el presente trabajo. Gong et al. (2020) corroboraron, de manera parecida, que la concentración del mordiente afecta directamente a la estabilidad e intensidad del color en fibras de lana, lo cual confirma los resultados obtenidos con *Polylepis*. Los valores de solidez a la luz que se han obtenido (3.5-4) indican una estabilidad satisfactoria, lo que sitúa a este colorante natural como una opción ecológica y digna de confianza en comparación con los pigmentos tradicionales.

En síntesis, los resultados empíricos del presente estudio demuestran que el uso del *Polylepis* (Queñua) como colorante natural es viable tanto técnica como económicamente. Si bien en la solidez al lavado no se observaron efectos estadísticamente significativos de los factores estudiados, los valores obtenidos se encuentran dentro de rangos aceptables; y en las pruebas de solidez al frote y a la luz se lograron efectos significativos controlables mediante el ajuste de mordiente, de volumen de colorante y tiempo de teñido. Las pruebas de solidez muestran valores compatibles con estándares técnicos para materiales naturales, confirmando su potencial como alternativa sostenible y competitiva frente a colorantes sintéticos. Asimismo, su carácter ecológico, disponibilidad local y comportamiento tintóreo estable hacen del *Polylepis* una fuente natural de pigmento con valor agregado para la industria textil del altiplano peruano, promoviendo prácticas responsables y sostenibles en la producción artesanal y semiindustrial de fibras animales.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

**Primera.** Se utilizó el diseño factorial 23 para analizar cómo los factores de tiempo de teñido (C3), mordiente (C2) y volumen de tinte (C1) afectaban la solidez del color en la lana de oveja Corriedale, que fue teñida con Polylepis (Queñua). Los hallazgos mostraron que no hay un efecto importante ni en la solidez del color en general ni en la solidez al lavado ( $p > 0.05$ ). Por otro lado, sí se encontraron efectos significativos en la solidez a la luz y al frote ( $p < 0.05$ ). La validez del modelo fue corroborada por los test de normalidad, que revelaron que la mayoría de las respuestas cumplían adecuadamente con las suposiciones. Los factores más determinantes en general fueron el mordiente (C2) y la duración del teñido (C3), sobre todo en lo que respecta a la resistencia al roce y a la luz.

**Segunda.** (Solidez al lavado). El análisis ANOVA reveló que el modelo no es significativo ( $p = 0.089$ ) y que ninguno de los factores principales ni sus interacciones presenta efectos estadísticamente significativos ( $p > 0.05$ ). El volumen de colorante (C1) y el mordiente (C2) mostraron valores límite ( $p = 0.050$ ), pero insuficientes para rechazar  $H_0$ . Las diferencias observadas en las medias reflejan solo tendencias no significativas. En consecuencia, la solidez al lavado no depende de forma concluyente de las variaciones en C1, C2 y C3, aunque el comportamiento general se mantuvo en un rango aceptable para tintes naturales.

**Tercera.** (Solidez al frote) Los tres factores principales fueron estadísticamente significativos: volumen de colorante (C1,  $p = 0.024$ ), mordiente (C2,  $p = 0.003$ ) y tiempo (C3,  $p = 0.000$ ). El factor dominante fue el tiempo de teñido, presentando una reducción marcada de la solidez al

pasar de 45 a 60 minutos. Asimismo, los niveles altos de volumen de colorante (300 ml) y mordiente (1.5 g) mejoraron la solidez al frote. Las medias oscilaron entre 3 y 4, ubicándose en la categoría “bueno”, lo que indica que Polylepis genera una fijación efectiva del pigmento bajo fricción.

**Cuarta.** (Solidez a la luz) El modelo completo fue altamente significativo ( $p = 0.000$ ). El mordiente (C2) presentó un efecto significativo individual ( $p = 0.006$ ), mientras que el volumen (C1) y el tiempo (C3) no mostraron efectos significativos por separado ( $p = 0.285$ ). No obstante, las interacciones C1×C3 ( $p = 0.001$ ) y C1×C2×C3 ( $p = 0.002$ ) sí fueron significativas, lo que demuestra que la solidez a la luz depende del comportamiento combinado entre volumen y tiempo, junto con la modulación del mordiente. Los valores entre 3.5 y 4 indican una solidez lumínica aceptable y controlable.

## 5.2. RECOMENDACIONES

**Primera:** Se recomienda incorporar en el protocolo de teñido el control sistemático de las variables como volumen, mordiente y tiempo, especialmente considerando que las respuestas al frote y a la luz dependen críticamente del ajuste de estos factores. Esto garantiza reproducibilidad, uniformidad cromática y estabilidad del color en la lana de ovino Corriedale.

**Segunda:** Para aplicaciones donde la resistencia al lavado es un criterio principal, Polylepis puede emplearse de manera efectiva siempre que se optimicen el mordiente y el tiempo de teñido, aunque los efectos no sean estadísticamente concluyentes. Se sugiere utilizar este colorante en textiles para el hogar, vestimenta ligera y artesanías, aprovechando su buena respuesta general y su naturaleza ecológica.

**Tercera:** Dado que el colorante de Polylepis muestra excelente desempeño frente al frote, se recomienda su uso en productos sometidos a manipulación constante (prendas de vestir tradicionales, textiles artesanales, accesorios decorativos). Además, se sugiere mantener el uso de mordientes naturales y controlar los tiempos de teñido para evitar reducción de solidez por sobre Mordentado o sobreexposición.

**Cuarta:** La estabilidad a la luz puede optimizarse gestionando adecuadamente la combinación del volumen del colorante y tiempo. Por ello, se recomienda emplear el tinte de Polylepis en textiles expuestos a radiación natural o artificial moderada, como exhibiciones, artesanías para vitrinas y decoración. Asimismo, se sugiere registrar la durabilidad del color para reforzar la aceptación del producto en mercados que exigen sostenibilidad y trazabilidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, F. & Beltrán, 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.)*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú]. [https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/6919/253T20220383\\_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/6919/253T20220383_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Aguilar, F., & Beltran, 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, 285–308.
- Almansba, A., Kane, A., Nasrallah, N., Maachi, R., Lamaa, L., Peruchon, L., Brochier, C., Béchohra, I., Amrane, A., & Assadi, A. A. (2021). *Innovative photocatalytic luminous textiles optimized towards water treatment: Performance evaluation of photoreactors. Chemical Engineering Journal, 416*, 129195. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.129195>
- Alpaca del Perú. (2018). *Fibras textiles características y clasificaciones, la fibra de alpaca sus calidades y colores*.
- Arango, S. (2016). *Variación del factor confort en vellones de alpaca Huacaya con relación al sexo y edad*. In Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Arias, J. (2020). *Proyecto de tesis, guía para la elaboración* (Issue tabla 1).
- Aucancela, B. (2015). *Caracterización de la fibra de Vicugna pacos (Alpaca) de la parroquia San Juan, provincia de Chimborazo*. In Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Ávila, W., Medina, O. & Moreno, L. (2019). *Aplicación de un diseño factorial 2<sup>3</sup> en la extracción asistida por microondas y evaluación de la actividad antioxidante de los compuestos presentes en frutos de Vaeenium meridionale*. *Revista Colombiana de*

<https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v48n3.84983>

Ayala, K. (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*. [Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte, Perú].

<https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/15091>

Ayros, C. (2022). Dasonomía del bosque de queñua (*Polylepis* spp) de la comunidad Quello Quello en el distrito de Lampa, Puno-Perú. *Revista de Investigaciones*, 11(2), 142-154.

<https://doi.org/10.26788/ri.v11i2.3441>

Bernal, A. M. G., & Acevedo, J. S. (2024). *Biorremediación de agua residual de la industria textil por medio de chlorella vulgaris*. *Ingeniería e Innovación*, 12(1), Article 1.

<https://doi.org/10.21897/rii.3772>

Bernardo Ortiz, A. R. (2022). *Tratamiento de aguas residuales en una fábrica textil por oxidación avanzada (Fenton)*, Lima-Perú. *Universidad Científica del Sur*.

<https://doi.org/10.21142/tl.2022.2510>

Berolatti, G. (2021). Evaluación de la modulación de fibras de lanas y fibras especiales de algunas especies de animales. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 32(5), e17639.[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S160991172021000500016&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S160991172021000500016&script=sci_abstract)

Boza, P., Leyva, O., Pérez, Y. & Fonseca, R. (2022). *Guía práctica para seleccionar una prueba estadística a aplicar en una investigación biomédica*. *Multimed*, 26(6).

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1028-48182022000600008](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-48182022000600008)

Cachay, A., Bellin, R. & Lupis, P. (2024). *Innovación tecnológica Kipa en procesos de teñido de algodón reactivo alineados con las ODS en la empresa, para la producción de*

- prendas artesanales. Diseño y Tecnología*, 27(2), 33-49.  
<http://www.scielo.org.pe/pdf/idata/v27n2/1810-9993-idata-27-02-33.pdf>
- Calsin, R., & Chavez, A. (2021). *Aplicación del alcohol graso etoxilado como acelerador de tinte para optimizar la curva de tinte de la fibra de alpaca (Vicugna pacos) usando colorantes complejo metálico*. In Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Canales, A. & Huarasa, Y. (2020). Poder germinativo de *Polylepis incana* con aplicación de diferentes tratamientos de agua. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 8(3), 495-505.  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2310-34692020000300495#:~:text=Polylepis%20incana%20Kunth%20\(que%20C3%B1oa\)%20coco%20residual%20y%20de%20pozo](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-34692020000300495#:~:text=Polylepis%20incana%20Kunth%20(que%20C3%B1oa)%20coco%20residual%20y%20de%20pozo).
- Cardona, K., López, D. & Álvarez, L. (2021). Estudios de asociación genómica en ovinos de América Latina. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11(3), 859-883.  
<https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i3.5372>
- Carrasco Bocangel, J., Sucasaca, A., Sanchez-Gonzales, G., Morán Flores, G., & Barriga-Sánchez, M. (2022). *Estudio preliminar de tinte 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>
- Carrillo, M., & Flores, E. (2024). *Remoción de contaminantes de la industria textil mediante adsorbentes de bajo costo obtenidos a partir de la valorización de cáscaras de naranja*. *Revista Politécnica de Aguascalientes*, 3(3).  
<https://revistapolitecnicaags.upa.edu.mx/wp-content/uploads/2024/06/V3122.pdf>
- Castro, A. & Flores, M. (2015). Caracterización de un bosque de queñual (*Polylepis* spp.) ubicado en el Distrito de Huasta, Provincia de Bolognesi (Ancash, Perú). *Revista Ecología Aplicada* 14(1), 1-9.

[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1726-22162015000100001](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162015000100001)

- Chanove, A. & Cárdenas, B. (2025). Fragmentación del paisaje y pérdida de conectividad en los bosques de queñua (*Polylepis*) en Perú y su vulnerabilidad ante el cambio climático. *Revista Madera y Bosques*, 30(3), e303259. <https://doi.org/10.21829/myb.2024.3032593>
- Corrales, L. & Caycedo, L. (2020). *Principios fisicoquímicos de los colorantes utilizados en microbiología*. *Nova*, 18(33), 73-100. <https://doi.org/10.22490/24629448.3701>
- Cuyckens, G. & Renison, D. (2018). *Ecología y conservación de los bosques montanos de Polylepis..* *Ecología Austral*, 28(1), 157-162. [https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1667-782X2018000200001](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667-782X2018000200001)
- De la Cruz, J. (2022). *Influencia del tiempo y Mordiente en el teñido de lana de ovino (Ovis aries) con Imillay (Hypseocharis bilobata)*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Huancavelica, Perú]. <https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/4273b4de-c9db-4f79-8d1d-6cc9b9605267/content>
- Delgado, J. (2021). *Determinar los factores cuantitativos que inciden en el teñido de la fibra de vicuña*. Universidad Católica de Santa María.
- Din, M. I., Khalid, R., Najeeb, J., & Hussain, Z. (2021). *Fundamentals and photocatalysis of methylene blue dye using various nanocatalytic assemblies- a critical review*. *Journal of Cleaner Production*, 298, 126567. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126567>
- Figueroa, G. A., Rodríguez, M. G. C., Martínez, P. R., Carrillo, N. J. H., Sánchez, Y. G. L., & García, F. M. (2021). *Teñido con grana cochinilla: Solidez del color y expectativas de aplicación*. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 10.

- Fischer, E. (2011). Los tejidos andinos, indicadores de cambio: apuntes sobre su rol y significado en una comunidad rural. *Chungará (Arica)*, 43(2), 267-282.  
<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-73562011000200008>
- González, V. (2024, abril 2). *Perú Textil En Cifras | Textiles Panamericanos*.  
<https://textilespanamericanos.com/textiles-panamericanos/2024/04/peru-textil-en-cifras-2/>
- Goycochea, G. (2023). *Factores que afectan la calidad de fibra de alpaca*. In *Universidad Científica del Sur*.
- Gutiérrez, H. y De la Vega, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos*. Tercera edición. México: McGraw-Hill.
- Guzmán, E., Jiménez, O. & Porgrebnyak, O. (2011). Segmentación de imágenes en escala de gris con base en memorias asociativas. *Revista Computación y Sistemas*, 15(2), 149-162.  
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S140555462011000400003&script=sci\\_abstract](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S140555462011000400003&script=sci_abstract)
- Hernández Escobar, A. A., Ramos Rodríguez, M. P., Placencia López, B. M., Indacochea Ganchozo, B., Quimis Gómez, A. J., & Moreno Ponce, L. A. (2018). *Metodología de la investigación científica*. In *Metodología de la investigación científica* (Issue February).  
<https://doi.org/10.17993/ccyll.2018.15>
- Hernández, V., Galleguillos, F., Sagredo, N., & Machuca, Á. (2020). *Color fastness of fabrics after dyeing with fungal dyes*. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 33(2), 232–240. <https://doi.org/10.1108/IJCST-12-2019-0196>
- Herrera, A., & Pacha, C. (2015). Evaluación de la tintura en la mezcla de fibras alpaca/seda con colorante reactivo negro Lanazol. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.  
<https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3278>

- Huamani, L. (2024). *Efecto del teñido de tinte de “cochinilla” (Dactylopius coccus) y mordientes metálicos sobre las propiedades de colorimétricas, bandas químicas y de solidez de color en fibra de alpaca Huacaya (Vicugna pacos)*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, Perú]. [https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/1492/T\\_1492.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/1492/T_1492.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- HUNTSMAN. (2016). *Technical Data Sheet ALBAFIX® RUB wet rub fastness improver DYEING AUXILIARIES. Enriching Lives through Innovation*.
- Instituto Nacional de Calidad. (2023). Requisitos de calidad de la fibra de alpaca.
- Ketema, A., & Worku, A. (2020). Review on Intermolecular Forces between Dyes Used for Polyester Dyeing and Polyester Fiber. *Journal of Chemistry*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/6628404>
- Khatab, T. A., Abdelrahman, M. S., & Rehan, M. (2020). *Textile dyeing industry: environmental impacts and remediation. Environmental Science and Pollution Research*, 27(4), 3803–3818. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07137-z>
- La Cruz, A., Salvador, M., Aliaga, J., & Martínez, A. (2019). *Síntesis, caracterización y validación aplicativa de un poliuretano bio-basado en dispersión acuosa para el sector de recubrimientos textiles*. *Revista de Química e Industria Textil*.
- Larco, A., Paz, A., Zúñiga, M. & Aguilar, J. (2022). Diseño y Validación del Proceso de Teñido en Degradé para Piezas de Fibra de Alpaca. *Revista Producción*, 17(2), 6-25. <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v17n2/1909-0455-pml-17-02-3.pdf>
- Lenninger, M., Bechtold, T., & Pham, T. (2023). *Improvement of wet rub fastness in continuous dyeing with c.i. Sulphur Black 1 by ultrasonic treatment. Ultrasonics Sonochemistry*, 106558. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106558>

- Luo, Y., Pei, L., & Wang, J. (2020). Sustainable indigo dyeing and improvement of rubbing fastness of dyed cotton fiber using different fixing agents for obtaining eco-friendly cowboy products. *Journal of Cleaner Production*, 251, 119728. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119728>
- Luque Huaman, M. (2024). *Caracterización fitoquímica del extracto de la ayapira (Picramnia sellowii Planch), como colorante natural para la evaluación de la prueba de solidez de color en el hilado de fibra de alpaca, Puno-2023* [Tesis, Universidad Nacional de Juliaca]. <https://repositorio.unaj.edu.pe/handle/unaj/113>
- MIDAGRI. (2021). *Perú se mantiene como primer exportador de fibra de alpaca en el mundo por su alta calidad.*
- MINCETUR. (2018). *Perfil de mercado y competitividad exportadora de prendas de alpaca.*
- MINCIT. (2018). *Manual para la tintura de fibras naturales celulósicas y proteínicas, curvas de procesos con tintes industriales.* Gobierno de Colombia.
- Ministerio de la producción. (2016). *Normalización en la fibra de alpaca.* Instituto Nacional de Calidad.
- Negrón, A., Hernández, C. & Pollera, S. (2017). Uso del diseño factorial en los ensayos de liberación controlada del ácido 1,3 indolacético cargado en matrices de quitosano. *Revista de la Sociedad de Química del Perú*, 83(3), 354-365. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2017000300011](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2017000300011)
- Ocampo, S. (2019). *Optimización del proceso de teñido reactivo de tejidos de algodón sin afectar la apariencia y la solidez al lavado, en el área de tintorería de una empresa textil localizada en Lima-Perú.* Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

- Palacios, C., Guillén, M. & Siddons, D. (2021). *Evaluación de la solidez del color en tejidos de lana y alpaca tinturados con biocolorantes extraídos de plantas y animales*. *Siembra*, 8(2), e2917. <https://doi.org/10.29166/siembra.v8i2.2917>
- Palacios-Ochoa, C., Guillén Serrano, M. E., & Siddons, D. (2021a). *Evaluación de la solidez del color en tejidos de lana y alpaca tinturados con biocolorantes extraídos de plantas y animales*. *Siembra*. <https://doi.org/10.29166/siembra.v8i2.2917>
- Palacios-Ochoa, C., Guillén Serrano, M. E., & Siddons, D. (2021b). *Evaluación de la solidez del color en tejidos de lana y alpaca tinturados con biocolorantes extraídos de plantas y animales*. *Siembra*, 8(2). <https://doi.org/10.29166/siembra.v8i2.2917>
- Pantoja, C., Aliaga, J., Trillo, F., Bermúdez, W. & Yali, F. (2022). Parámetros tecnológicos de la lana de ovinos en razas importadas obtenidas mediante transferencia de embriones, criados bajo las condiciones de la sierra central del Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 33(3), e21245. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v33i3.21249>
- Parés, P. & Perezgrovas, R. (2009). Análisis de la mecha y las fibras de lana en la raza ovina Xisqueta. *Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias*, 50(1), 53-58. [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-65762009000100007](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-65762009000100007)
- Pérez, M. (2016). Mercados globales de la América española: el comercio de lana vicuña y 'grana' cochinilla en el siglo XVIII. *Revista América Latina en la Historia Económica*, 23(1), 184-222. <https://doi.org/10.18232/alhe.v23i1.68>
- Ponce, H., Cervantes, D. & Anguiano, B. (2021). *Análisis de calidad de artículos educativos con diseños experimentales*. *RIDE*, 12(23), e03. <https://doi.org/10.23913/ride.v12i23.981>
- PromPerú. (2020). *Informe especializado, desempeño de la línea de Alpaca*.


- Quintana, C., Yáñez, E. & Bangher, G. (2012). Morfología de la Piel y Producción de Lana en Cruzamiento Absorbente con corriedale Multipropósito. *International Journal of Morphology*, 30(4), 1434-1441. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022012000400026>
- Ramírez, J. C. (2023). Tratamiento de aguas residuales y problemáticas ambientales del sector textil en Colombia: Una revisión. *Informador técnico*, 87(1), 82-106.
- Ramos, C., Buitrago, S., Pulido, K. & Venegas, L. (2013). Variabilidad ambiental y respuestas fisiológicas de *Polylepis cuadrijuga* (Rosaceae) en un ambiente fragmentado en el Páramo de la Rusia (Colombia). *Revista de Biología Tropical*, 61(1), 351-361. [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442013000100030](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442013000100030)
- Rapo, E., & Tonk, S. (2021). Factors Affecting Synthetic Dye Adsorption ; Desorption Studies : A Review of Results from the Last Five Years. *Molecules*, 26, 5419–5450.
- Salazar, J. & Zapata, A. (2009). Análisis y diseño de experimentos aplicados a estudios de simulación. *DYNA*, 76(159), 249-257. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0012-73532009000300025](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532009000300025)
- Saldaña, L. (2017). *Categorización, clasificación y procesamiento industrial de la fibra de alpaca*.
- Samanez, Z., & Vera, M. (2020). *Evaluación del control del colorante industrial de características ácidas y sus auxiliares para su recuperación y reutilización en el proceso de teñidos industriales de fibra de alpaca*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 125.
- Sidra, Tabasum, S., Zia, K. M., Parveen, B., & Hussain, M. T. (2021). A novel water borne green textile polyurethane dispersions finishes from cotton (*Gossypium arboreum*) seed oil based polyol used in modification of cellulosic fabrics. *Carbohydrate Polymer*

- Technologies and Applications*, 2(May), 100170.  
<https://doi.org/10.1016/j.carpta.2021.100170>
- Singhee, D. (2020). Review on Natural Dyes for Textiles from Wastes. En *Chemistry and Technology of Natural and Synthetic Dyes and Pigments*. IntechOpen.  
<https://doi.org/10.5772/intechopen.93178>
- Soncco Ramos, R. (2024). *Teñido con colorante natural de hojas de molle (Schinus molle) para la solidez del color en hilo de ovino, Juliaca, 2022* [Tesis, Universidad Nacional de Juliaca]. <https://repositorio.unaj.edu.pe/handle/unaj/124>
- Stanciuc De Palma, V. (2020). *Teñido mordentado de fibras naturales con colorante extraído de las hojas de nogal (Juglans Neotrópica)*.  
<https://repositorio.unac.edu.pe/item/6ddeb07f-349a-481d-9e12-8720bff8280f>
- Suárez, E., Maza, L., Aguayo, L., Vergara, O. & Bustamante, M. (2020). Efecto de la suplementación con semilla de algodón y maíz en el desempeño productivo y calidad de la carne de ovinos. *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica*, 23(2), e1604. <https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n2.2020.1604>
- 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>
- Sucasaca, A. (2022). *Efectos del colorante natural inflorescencia de Colli (Buddleja Coriacea) en la solidez de color del teñido de fibra de alpaca, Puno 2021*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Juliaca, Perú].
- Tito, G. (2024). *Teñido con colorante natural de hojas de eucalipto (Eucalyptus globulus Labill.) para solidez de color en hilo de ovino, Juliaca 2022*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Juliaca, Perú].

- Uğur, Ş. S. (2023). *Sustainable dyeing and finishing of cotton fabrics with layer-by-layer technique*. *Coatings*, 13(6), 1129. <https://doi.org/10.3390/coatings13061129>
- Yepes, L. E. C., & Garnica, E. D. G. (2022). *Teñido con tinte natural de frejol negro (phaseolus vulgaris) y su solidez del color a la luz solar en hilado de alpaca*. *REVISTA DE INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA PRODUCTIVA*, 3(2), e006-e006. <https://doi.org/10.54353/ritp.v3i2.e006>
- Yusuf, M., Mohammad, F., & Shabbir, M. (2017). *Eco-friendly and effective dyeing of wool with anthraquinone colorants extracted from Rubia cordifolia roots: Optimization, colorimetric and fastness assay*, *Coloring studies with anthraquinone colorants extracted from Rubia cordifolia roots on wool*. *Journal of King Saud University - Science*, 29(2), 137–144. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2016.06.005>
- Zavala, L., Vázquez, J., Gutiérrez, P. & Tapia, M. (2018). *Generación de la formulación de color en un producto textil mediante redes neuronales artificiales*. *Nova Scientia*, 10(21), 78-96. <https://doi.org/10.21640/ns.v10i21.1507>
- Zelznan, C. (2018). *Química y colores de los textiles*. *Facultad de Ciencias Exactas y Naturales*.

## ANEXOS

### Anexo 1. Ficha de observación e instrumentación de recolección de datos

<b>TEÑIDO DE LANA DE OVINO</b>																													
<b>MUESTRA N°0</b>																													
<b>MATERIAL:</b>	<b>LANA DE OVINO</b>	<b>CURVA DE TEÑIDO</b>																											
<b>Muestra:</b>																													
<b>Peso de la muestra:</b>																													
<b>Relación de baño:</b>																													
<b>Volumen de agua:</b>																													
<b>PROCEDIMIENTO DE TEÑIDO</b>																													
1. Disolver el colorante para la lana de ovino.		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center;"><b>MUESTRA DE TEÑIDO</b></th> </tr> <tr> <th style="width: 33%;"><b>REPLICA 1</b></th> <th style="width: 33%;"><b>REPLICA 2</b></th> <th style="width: 33%;"><b>REPLICA 3</b></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>				<b>MUESTRA DE TEÑIDO</b>			<b>REPLICA 1</b>	<b>REPLICA 2</b>	<b>REPLICA 3</b>																		
<b>MUESTRA DE TEÑIDO</b>																													
<b>REPLICA 1</b>	<b>REPLICA 2</b>					<b>REPLICA 3</b>																							
2. Remojar la muestra con el colorante disuelto durante 10 min a una temperatura (20 °C).																													
3. Agregar los auxiliares textiles de teñido, mordiente y disolver.																													
4. Elevar la temperatura hasta un punto establecido.																													
5. Hervir durante un tiempo determinado.																													
6. Enfriar a 60°C.																													
7. Enjuagar la muestra 3 veces (5' por vez).																													
8. Secado de la muestra en sombra.																													
<b>PROCESO DE TEÑIDO</b>		<b>RESULTADOS REPLICA 1</b>																											
Colorante		<b>solidez al lavado</b>	<b>Solidez al frote</b>	<b>Solidez a la luz</b>																									
Mordiente																													
Tiempo		<b>RESULTADOS REPLICA 2</b>																											
Temperatura		<b>solidez al lavado</b>	<b>Solidez al frote</b>	<b>Solidez a la luz</b>																									
 <p><b>LABORATORIO TEXTIL</b></p>		<b>RESULTADOS REPLICA 3</b>																											
		<b>solidez al lavado</b>	<b>Solidez al frote</b>	<b>Solidez a la luz</b>																									

Anexo 2. Ficha de observación e instrumentación de recolección de datos muestra 1

<b>TEÑIDO DE LANA DE OVINO</b>				
<b>MUESTRA Nº1</b>				
<b>MATERIAL:</b>		<b>LANA DE OVINO</b>		
Muestra	Hilado de lana de ovino Corriedale 1/11			
Peso de la muestra	10 gramos			
Relación de baño	1:20 (1 gramos:20 ml)			
Volumen de agua	200ml			
<b>PROCEDIMIENTO DE TENIDO</b>				
1. Disolver el colorante para la lana de ovino.				
2. Remojar la muestra con el colorante disuelto durante 10 min a una temperatura (20 °C).				
3. Agregar los auxiliares textiles de teñido, mordiente y disolver.				
4. Elevar la temperatura hasta un punto establecido.				
5. Hervir durante un tiempo determinado.				
6. Enfriar a 60°C.				
7. Enjuagar la muestra 3 veces (5' por vez).				
8. Secado de la muestra en sombra.				
<b>CURVA DE TENIDO</b>				
<p style="text-align: right;">A=Humectar (sustrato- colorante) C=Mordiente E= Enjuague</p>				
<b>MUESTRA DE TENIDO</b>				
		<b>REPLICA 1</b>	<b>REPLICA 2</b>	<b>REPLICA 3</b>
<b>PROCESO DE TENIDO</b>				
<b>Colorante</b>		Queñua ( <i>polylepis incana</i> H.B.K.)		
<b>Mordiente</b>	Sulfato de aluminio	1gr		
<b>Tiempo</b>	Minutos	45 min	110min	
<b>Temperatura</b>	°C	80°C	90°C	
<b>RESULTADOS REPLICA 1</b>				
		Solidez al lavado	Solidez al frote	Solidez a la luz
		4	3.5	3.8
<b>RESULTADOS REPLICA 2</b>				
		Solidez al lavado	Solidez al frote	Solidez a la luz
		4	3.5	3.9
<b>RESULTADOS REPLICA 3</b>				
		Solidez al lavado	Solidez al frote	Solidez a la luz
		4	3.5	3.9
<p style="text-align: center;"><b>LABORATORIO TEXTIL</b></p>				

Anexo 3. Ficha de observación e instrumentación de recolección de datos muestra 2

<b>TEÑIDO DE LANA DE OVINO</b>						
<b>MUESTRA Nº2</b>						
<b>MATERIAL:</b>		<b>LANA DE OVINO</b>				
Muestra	Hilado de lana de ovino Corriedale 1/11					
Peso de la muestra	10 gramos					
Relación de baño	1:30 (1 gramos:30 ml)					
Volumen de agua	300ml					
<b>PROCEDIMIENTO DE TEÑIDO</b>						
1. Disolver el colorante para la lana de ovino.		<p style="text-align: right;">A=Humectar (sustrato- colorante) C=Mordiente E= Enjuague</p>				
2. Remojar la muestra con el colorante disuelto durante 10 min a una temperatura (20 °C).						
3. Agregar los auxiliares textiles de teñido, mordiente y disolver.		<b>MUESTRA DE TEÑIDO</b>				
4. Elevar la temperatura hasta un punto establecido.		<b>REPLICA 1</b>	<b>REPLICA 2</b>	<b>REPLICA 3</b>		
5. Hervir durante un tiempo determinado.						
6. Enfriar a 60°C.						
7. Enjuagar la muestra 3 veces (5' por vez).						
8. Secado de la muestra en sombra.						
<b>PROCESO DE TENIDO</b>						<b>RESULTADOS REPLICA 1</b>
Colorante	Queñua ( <i>polylepis incana</i> H.B.K.)			Solidez al lavado	Solidez al frote	Solidez a la luz
Mordiente	Sulfato de aluminio	1.5gr		3.8	3.5	3.8
Tiempo	Minutos	45 min	110min	<b>RESULTADOS REPLICA 2</b>		
Temperatura	°C	80°C	90°C	Solidez al lavado	Solidez al frote	Solidez a la luz
<p><b>LABORATORIO TEXTIL</b></p>				3.8	3.5	3.8
				<b>RESULTADOS REPLICA 3</b>		
				Solidez al lavado	Solidez al frote	Solidez a la luz
				4	3.5	3.8

**Anexo 4.** Ficha de observación e instrumentación de recolección de datos muestra 3

<b>TEÑIDO DE LANA DE OVINO</b>					
<b>MUESTRA N°3</b>					
<b>MATERIAL:</b>		<b>LANA DE OVINO</b>			
Muestra	Hilado de lana de ovino Corriedale 1/11				
Peso de la muestra	10 gramos				
Relación de baño	1:20 (1 gramos:40 ml)				
Volumen de agua	200 ml				
<b>PROCEDIMIENTO DE TEÑIDO</b>					
1. Disolver el colorante para la lana de ovino.					
2. Remojar la muestra con el colorante disuelto durante 10 min a una temperatura (20 °C).					
3. Agregar los auxiliares textiles de teñido, mordiente y disolver.					
4. Elevar la temperatura hasta un punto establecido.					
5. Hervir durante un tiempo determinado.					
6. Enfriar a 60°C.					
7. Enjuagar la muestra 3 veces (5' por vez).					
8. Secado de la muestra en sombra.					
<b>CURVA DE TEÑIDO</b>					
<p style="text-align: right;">A=Humectar (sustrato- colorante) C=Mordiente E= Enjuague</p>					
<b>MUESTRA DE TEÑIDO</b>					
		<b>REPLICA 1</b>	<b>REPLICA 2</b>	<b>REPLICA 3</b>	
<b>PROCESO DE TEÑIDO</b>					
<b>Colorante</b>		Queñua ( <i>polylepis incana</i> H.B.K.)			
<b>Mordiente</b>		Sulfato de aluminio 0.6gr			
<b>Tiempo</b>		Minutos		45min   110min	
<b>Temperatura</b>		°C		80°C   90°C	
<b>RESULTADOS REPLICA 1</b>					
		Solidez al lavado	Solidez al frote	Solidez a la luz	
		4	4	4	
<b>RESULTADOS REPLICA 2</b>					
		Solidez al lavado	Solidez al frote	Solidez a la luz	
		4	4	4	
<b>RESULTADOS REPLICA 3</b>					
		Solidez al lavado	Solidez al frote	Solidez a la luz	
		4	4	4	
<p style="text-align: center;"><b>LABORATORIO TEXTIL</b></p>					

**Anexo 5.** Ficha de observación e instrumentación de recolección de datos muestra 4

<b>TEÑIDO DE LANA DE OVINO</b>						
<b>MUESTRA Nº4</b>						
<b>MATERIAL:</b>		<b>LANA DE OVINO</b>				
Muestra	Hilado de lana de ovino Corriedale 1/11					
Peso de la muestra	10 gramos					
Relación de baño	1:30 (1 gramos:30 ml)					
Volumen de agua	300ml					
<b>PROCEDIMIENTO DE TEÑIDO</b>						
1. Disolver el colorante para la lana de ovino.		<div style="text-align: center;"> <p>90 80 70 60 50 40 30 20 10 0</p> <p style="text-align: right;">A=Humectar (sustrato- colorante) C=Mordiente E= Enjuague</p> <p style="text-align: center;">0 5 25 45 15 5 5 5</p> <p style="text-align: center;">TIEMPO (min)</p> </div>				
2. Remojar la muestra con el colorante disuelto durante 10 min a una temperatura (20 °C).						
3. Agregar los auxiliares textiles de teñido, mordiente y disolver.						
4. Elevar la temperatura hasta un punto establecido.						
5. Hervir durante un tiempo determinado.						
6. Enfriar a 60°C.						
7. Enjuagar la muestra 3 veces (5' por vez).						
8. Secado de la muestra en sombra.						
<b>MUESTRA DE TEÑIDO</b>						
		<b>REPLICA 1</b>	<b>REPLICA 2</b>	<b>REPLICA 3</b>		
<b>PROCESO DE TENIDO</b>						
Colorante	Queñua ( <i>polylepis incana</i> H.B.K.)			<b>RESULTADOS REPLICA 1</b>		
Mordiente	Sulfato de aluminio	0.9gr		Solidez al lavado		
				Solidez al frote		
				Solidez a la luz		
Tiempo	Minutos	45 min	110min	<b>RESULTADOS REPLICA 2</b>		
Temperatura	°C	80°C	90°C	Solidez al lavado		
				Solidez al frote		
				Solidez a la luz		
<div style="text-align: center;"> <p><b>LABORATORIO TEXTIL</b></p> </div>				<b>RESULTADOS REPLICA 3</b>		
				Solidez al lavado	Solidez al frote	Solidez a la luz
				4	4	4

**Anexo 6.** Ficha de observación e instrumentación de recolección de datos muestra 5

<b>TEÑIDO DE LANA DE OVINO</b>						
<b>MUESTRA N°5</b>						
<b>MATERIAL:</b>		<b>LANA DE OVINO</b>				
Muestra	Hilado de lana de ovino Corriedale1/11					
Peso de la muestra	10 gramos					
Relación de baño	1:20 (1 gramos:20 ml)					
Volumen de agua	200ml					
<b>PROCEDIMIENTO DE TEÑIDO</b>						
1. Disolver el colorante para la lana de ovino.		<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-left: 20px;"> <p>A=Humectar (sustrato- colorante) C=Mordiente E= Enjuague</p> </div> </div>				
2. Remojar la muestra con el colorante disuelto durante 10 min a una temperatura (20 °C).						
3. Agregar los auxiliares textiles de teñido, mordiente y disolver.						
4. Elevar la temperatura hasta un punto establecido.						
5. Hervir durante un tiempo determinado.						
6. Enfriar a 60°C.						
7. Enjuagar la muestra 3 veces (5' por vez).						
8. Secado de la muestra en sombra.						
		<b>MUESTRA DE TEÑIDO</b>				
		<b>REPLICA 1</b>	<b>REPLICA 2</b>	<b>REPLICA 3</b>		
<b>PROCESO DE TEÑIDO</b>		<b>RESULTADOS REPLICA 1</b>				
Colorante	Queñua ( <i>polylepis incana</i> H.B.K)			Solidez al lavado	Solidez al frote	Solidez a la luz
Mordiente	Sulfato de aluminio	1gr		4	4	4
Tiempo	Minutos	60 min	110min	<b>RESULTADOS REPLICA 2</b>		
Temperatura	°C	80°C	90°C	Solidez al lavado	Solidez al frote	Solidez a la luz
<p><b>LABORATORIO TEXTIL</b></p>				4	4	4
				<b>RESULTADOS REPLICA 3</b>		
				Solidez al lavado	Solidez al frote	Solidez a la luz
				4	4	4

**Anexo 7.** Ficha de observación e instrumentación de recolección de datos muestra 6

<b>TEÑIDO DE LANA DE OVINO</b>						
<b>MUESTRA N°6</b>						
<b>MATERIAL:</b>		<b>LANA DE OVINO</b>		<b>CURVA DE TEÑIDO</b>		
Muestra	Hilado de lana de ovino Corriedale 1/11		<p>A=Humectar (sustrato- colorante) C=Mordiente E= Enjuague</p>			
Peso de la muestra	10 gracias					
Relación de baño	1:30 (1 gramos:30 ml)					
Volumen de agua	300ml					
<b>PROCEDIMIENTO DE TEÑIDO</b>						
1. Disolver el colorante para la lana de ovino.						
2. Remojar la muestra con el colorante disuelto durante 10 min a una temperatura (20 °C).						
3. Agregar los auxiliares textiles de teñido, mordiente y disolver.			<b>MUESTRA DE TEÑIDO</b>			
4. Elevar la temperatura hasta un punto establecido.			<b>REPLICA 1</b>	<b>REPLICA 2</b>	<b>REPLICA 3</b>	
5. Hervir durante un tiempo determinado.						
6. Enfriar a 60°C.						
7. Enjuagar la muestra 3 veces (5' por vez).						
8. Secado de la muestra en sombra.						
<b>PROCESO DE TEÑIDO</b>						<b>RESULTADOS REPLICA 1</b>
Colorante	Queñua ( <i>polylepis incana</i> H.B.K.)		Solidez al lavado	Solidez al frote	Solidez a la luz	
Mordiente	Sulfato de aluminio	1.5gr	3.8	3	4	
Tiempo	Minutos	60 min	<b>RESULTADOS REPLICA 2</b>			
Temperatura	°C	80°C	90°C	Solidez al lavado	Solidez al frote	Solidez a la luz
<p><b>LABORATORIO TEXTIL</b></p>			4	3	4	
			<b>RESULTADOS REPLICA 3</b>			
			Solidez al lavado	Solidez al frote	Solidez a la luz	4

**Anexo 8.** Ficha de observación e instrumentación de recolección de datos muestra 7

<b>TEÑIDO DE LANA DE OVINO</b>						
<b>MUESTRA N°7</b>						
<b>MATERIAL:</b>		<b>LANA DE OVINO</b>		<b>CURVA DE TEÑIDO</b>		
Muestra	Hilado de lana de ovino Corriedale 1/11					
Peso de la muestra	10 gramos					
Relación de baño	1:20 (1 gramos:20 ml)					
Volumen de agua	200ml					
<b>PROCEDIMIENTO DE TEÑIDO</b>						
1. Disolver el colorante para la lana de ovino.		<p style="text-align: right;">A=Humectar (sustrato- colorante) C=Mordiente E= Enjuague</p>				
2. Remojar la muestra con el colorante disuelto durante 10 min a una temperatura (20 °C).						
3. Agregar los auxiliares textiles de teñido, mordiente y disolver.						
4. Elevar la temperatura hasta un punto establecido.						
5. Hervir durante un tiempo determinado.						
6. Enfriar a 60°C.						
7. Enjuagar la muestra 3 veces (5' por vez).						
8. Secado de la muestra en sombra.						
<b>MUESTRA DE TEÑIDO</b>						
		<b>REPLICA 1</b>	<b>REPLICA 2</b>	<b>REPLICA 3</b>		
<b>PROCESO DE TEÑIDO</b>						
<b>Colorante</b>		Queñua ( <i>polylepis incana</i> H.B.K.)		<b>RESULTADOS REPLICA 1</b>		
<b>Mordiente</b>	Sulfato de aluminio	0.6gr		Solidez al lavado	Solidez al frote	Solidez a la luz
		4.1	3.5	4		
<b>Tiempo</b>	Minutos	60 min	110min	<b>RESULTADOS REPLICA 2</b>		
<b>Temperatura</b>	°C	80°C	90°C	Solidez al lavado	Solidez al frote	Solidez a la luz
		4	3.5	4		
<p style="text-align: center;"><b>LABORATORIO TEXTIL</b></p>				<b>RESULTADOS REPLICA 3</b>		
				Solidez al lavado	Solidez al frote	Solidez a la luz
				4	3.5	4

Anexo 9. Ficha de observación e instrumentación de recolección de datos muestra 8

<b>TEÑIDO DE LANA DE OVINO</b>						
<b>MUESTRA Nº8</b>						
<b>MATERIAL:</b>		<b>LANA DE OVINO</b>				
Muestra	Hilado de lana de ovino Corriedale 1/11					
Peso de la muestra	10 gramos					
Relación de baño	1:30 (1 gramos:30 ml)					
Volumen de agua	300ml					
<b>PROCEDIMIENTO DE TENIDO</b>						
1. Disolver el colorante para la lana de ovino.		<p style="text-align: right;">A=Humectar (sustrato- colorante) C=Mordiente E= Enjuague</p>				
2. Remojar la muestra con el colorante disuelto durante 10 min a una temperatura (20 °C).						
3. Agregar los auxiliares textiles de teñido, mordiente y disolver.						
4. Elevar la temperatura hasta un punto establecido.						
5. Hervir durante un tiempo determinado.						
6. Enfriar a 60°C.						
7. Enjuagar la muestra 3 veces (5' por vez).						
8. Secado de la muestra en sombra.						
<b>MUESTRA DE TEÑIDO</b>						
		<b>REPLICA 1</b>	<b>REPLICA 2</b>	<b>REPLICA 3</b>		
<b>PROCESO DE TENIDO</b>						
<b>Colorante</b>		<b>Queñua (<i>polylepis incana</i> H.B.K.)</b>				
<b>Mordiente</b>		<b>Sulfato de aluminio 0.9gr</b>				
<b>Tiempo</b>		<b>Minutos</b>		<b>60 min 125min</b>		
<b>Temperatura</b>		<b>°C</b>		<b>80°C 90°C</b>		
 <b>LABORATORIO TEXTIL</b>		<b>RESULTADOS REPLICA 1</b>				
		Solidez al lavado		Solidez al frote		Solidez a la luz
		4		3.5		4
		<b>RESULTADOS REPLICA 2</b>				
		Solidez al lavado		Solidez al frote		Solidez a la luz
		4		3.5		4
<b>RESULTADOS REPLICA 3</b>						
Solidez al lavado		Solidez al frote		Solidez a la luz		
4		3.5		4		

**Anexo 10.** Ficha de recolección de datos de solidez al lavado

**FACULTAD DE INGENIERIA DE PROCESOS INDUSTRIALES**  
**LABORATORIO DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TEXTIL**  
**Y DE CONFECCIONES**  
**FICHA DE PRUEBA DE CONTROL DE CALIDAD**

<b>DATOS INFORMATIVOS: PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD</b>	
<b>Asunto:</b>	Solicita pruebas de solidez al lavado
<b>Procedencia:</b>	Universidad Nacional de Juliaca
<b>Interesado:</b>	Deysi Angelica Vilca García
<b>Muestras:</b>	Hilo de ovino teñido
<b>Fecha de recepción:</b>	29/11/2024
<b>Fecha de análisis:</b>	15/01/2025

<b>PRUEBA DE CONTROL DE CALIDAD</b>						
<b>MATERIAL:</b> Hilo de ovino corriedale teñido con colorante natural polylepis(queñua)						
<b>PRUEBA:</b> Solidez al lavado - <b>Basado en a la norma técnica peruana NTP 231.008:2015(revisada el 2022) y normas AATCC Test method 61 colorfastness to laundering</b>						
<b>RESULTADOS:</b> El grado de transferencia de color en la tela multifibra						
<b>EQUIPO</b>	<b>REPLICA N°1</b>		<b>REPLICA N°2</b>		<b>REPLICA N°3</b>	
	Solidez al Lavado		Solidez al Lavado		Solidez al Lavado	
	Muestra	Solidez al Lavado	Muestra	Solidez al Lavado	Muestra	Solidez al Lavado
<b>Gyrowash</b>	Muestra 1	4	Muestra 1	4	Muestra 1	4
	Muestra 2	3.8	Muestra 2	3.8	Muestra 2	4
	Muestra 3	4	Muestra 3	4	Muestra 3	4
	Muestra 4	4	Muestra 4	4	Muestra 4	4
	Muestra 5	4	Muestra 5	4	Muestra 5	4
	Muestra 6	3.8	Muestra 6	4	Muestra 6	4
	Muestra 7	4	Muestra 7	4	Muestra 7	4
	Muestra 8	4	Muestra 8	4	Muestra 8	4

Juliaca, enero del 2025



**Alexander Suscasca Quispe**  
**ING. TEXTIL Y DE CONFECCIONES**  
**CIP 338266**

**Anexo 11.** Ficha de recolección de datos de solidez al frote en seco

**FACULTAD DE INGENIERIA DE PROCESOS INDUSTRIALES  
LABORATORIO DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TEXTIL  
Y DE CONFECCIONES**

**FICHA DE PRUEBA DE CONTROL DE CALIDAD**

<b>DATOS INFORMATIVOS: PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD</b>	
<b>Asunto:</b>	Solicita pruebas de solidez al frote en seco
<b>Procedencia:</b>	Universidad Nacional de Juliaca
<b>Interesado:</b>	Deysi Angelica Vilca García
<b>Muestras:</b>	Hilo de ovino teñido
<b>Fecha de recepción:</b>	29/11/2024
<b>Fecha de análisis:</b>	20/01/2025

<b>PRUEBA DE CONTROL DE CALIDAD</b>						
<b>MATERIAL:</b> Hilo de ovino corriedale teñido con colorante natural polylepis(queñua)						
<b>PRUEBA:</b> Solidez al frote en seco - <b>Basado en a la norma técnica peruana NTP 231.042:2009(revisada el 2019) AATCC Test Method 8 Colorfastness to Crocking: AATCC Crockmeter Method.</b>						
<b>RESULTADOS:</b> El grado de transferencia de color o manchado de la tela testigo						
<b>EQUIPO</b>	<b>REPLICA N°1</b>		<b>REPLICA N°2</b>		<b>REPLICA N°3</b>	
	Solidez al frote		Solidez al frote		Solidez al frote	
	Muestra	Solidez al frote	Muestra	Solidez al frote	Muestra	Solidez al frote
<b>Abrasimetro Crockmeter</b>	Muestra 1	3.5	Muestra 1	3.5	Muestra 1	3.5
	Muestra 2	3.5	Muestra 2	3.5	Muestra 2	3.5
	Muestra 3	4	Muestra 3	4	Muestra 3	4
	Muestra 4	4	Muestra 4	4	Muestra 4	4
	Muestra 5	3	Muestra 5	3	Muestra 5	3
	Muestra 6	3	Muestra 6	3	Muestra 6	3
	Muestra 7	3.5	Muestra 7	3.5	Muestra 7	3.5
	Muestra 8	3.5	Muestra 8	3.5	Muestra 8	3.5

Juliaca, enero del 2025

**Alexander Sucasaca Quispe**  
**ING. TEXTIL Y DE CONFECCIONES**  
**CIP 338266**

Anexo 12. Ficha de recolección de datos de solidez a la luz

FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS INDUSTRIALES  
LABORATORIO DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TEXTIL  
Y DE CONFECCIONES

FICHA DE PRUEBA DE CONTROL DE CALIDAD

DATOS INFORMATIVOS: PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD	
Asunto:	Solicita pruebas de solidez a la luz
Procedencia:	Universidad Nacional de Juliaca
Interesado:	Deysi Angelica Vilca García
Muestras:	Hilo de ovino teñido
Fecha de recepción:	29/11/2024
Fecha de análisis:	25/01/2025

PRUEBA DE CONTROL DE CALIDAD						
MATERIAL: Hilo de ovino corriedale teñido con colorante natural polylepis(queñua)						
PRUEBA: Solidez a la luz - Basado en a la norma técnica peruana NTP 231.183:1986(revisada el 2020) y AATCC Test Method 16 Colorfastness to Ligh						
RESULTADOS: EL grado de transferencia de color						
EQUIPO	REPLICA N°1		REPLICA N°2		REPLICA N°3	
Exposición a la luz solar	Solidez a la luz		Solidez a la luz		Solidez a la luz	
	Muestra	Solidez a la luz	Muestra	Solidez a la luz	Muestra	Solidez a la luz
	Muestra 1	4	Muestra 1	3.9	Muestra 1	3.9
	Muestra 2	3.8	Muestra 2	3.8	Muestra 2	3.8
	Muestra 3	4	Muestra 3	4	Muestra 3	4
	Muestra 4	4	Muestra 4	4	Muestra 4	4
	Muestra 5	4	Muestra 5	4	Muestra 5	4
	Muestra 6	4	Muestra 6	4	Muestra 6	4
	Muestra 7	4	Muestra 7	4	Muestra 7	4
	Muestra 8	4	Muestra 8	4	Muestra 8	4

Juliaca, enero del 2025



Alexander Sicasaca Quispe  
ING. TEXTIL Y DE CONFECCIONES  
CIP 338266



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**

**FICHA DE VALIDACION DE INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS DE  
INVESTIGACION POR JUICIO DE EXPERTOS**

**I. DATOS GENERALES**

- 1.1. Apellidos y Nombres : Alexander Sucasaca Quispe
- 1.2. Grado Académico : INGENIERO TEXTIL Y DE CONFECCIONES
- 1.3. Institución donde labora : UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
- 1.4. Título de Investigación : “comportamiento de la queñua (*polylepis*) como colorante natural en la solidez del color del teñido de lana de ovino corriedale para la artesanía textil puno, 2024”
- 1.5. Autor del Instrumento : Deysi Angelica Vilca García
- 1.6. Mención : Ficha de registros
- 1.7. Nombre del instrumento : Ficha para registro de recolección de datos de la solidez de color al lavado, al frote y a la luz.

**II. ASPECTOS A EVALUAR**

INDICADORES DE EVALUACION DEL INSTRUMENTO	CRITERIOS DE EVALUACION DE RECOLECCION DE DATOS DE LAS PRUEBAS DE SOLIDEZ DE COLOR AL LAVADO, AL FROTE Y A LA LUZ	Deficiente (1-9)	Regular (10-12)	Buena (12-15)	Muy buena (15-18)	Excelente (18-20)
		1	2	3	4	5
CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado.				X	
OBJETIVIDAD	Esta expresado y adecuado (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 investigacion y las necesidades reales .					X
ORGANIZACIÓN	Existe una organización logica.					X
SUFICIENCIA	Se ha considerado los principales aspectos metodologicos				X	
INTENCIONALIDAD	Adecuado para evaluar las variables independientes y dependientes					X
CONSISTENCIA	Basado en el aspecto en el aspecto teorico ,tecnico y/o científica				X	
COHERENCIA	Entre las variables y dimensiones				X	
METODOLOGIA	La estrategia responde al proposito del estudio				X	
CONVENIENCIA	El diseño demuestra la relacion entre los componentes de la investigacion y su aplicación según la normativa					X
<b>SUB TOTAL</b>					20	25
<b>TOTAL</b>					45	

Valoración cuantitativa (total X 0.4) : .....18.....

Valoración cuantitativa : .....valido.....

Opinión de aplicabilidad : .....aplicable... |.

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

**Anexo 13. Matriz de consistencia**

COMPORTAMIENTO DE LA QUEÑUA ( <i>POLYLEPIS</i> ) COMO COLORANTE NATURAL EN LA SOLIDEZ DEL COLOR DEL TEÑIDO DE LANA DE OVINO CORRIEDALE-PUNO, 2024.						
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGIA
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL				
¿Cuál es el efecto tintóreo de la queñua ( <i>polylepis</i> ) como colorante natural en la solidez del color del teñido de lana de Ovino corriedale, Puno, 2024?	Determinar el efecto tintóreo de la queñua ( <i>polylepis</i> ) como colorante natural en la solidez del color del teñido de lana de Ovino Corriedale, Puno, 2024.	El colorante natural de la queñua ( <i>polylepis</i> ) tiene efectos significativos en la solidez del color del teñido de lana de Ovino Corriedale, Puno, 2024.	VARIABLE 1: Teñido con colorante natural de cortezas de la queñua ( <i>polylopis</i> )	D1: Obtención del colorante	Materia prima (gr)	TIPO: Según enfoque cuantitativo
					Tiempo de preparación (h)	NIVEL: Explicativo
				D2: Teñido de la lana	pH y temperatura de solución	DISEÑO: Experimental
					Transferencia del color	METODO: inductivo-deductivo
PROBLEMA ESPECIFICOS	OBJETIVO ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICAS	VARIABLE 1: Teñido con colorante natural de cortezas de la queñua ( <i>polylopis</i> )	D3: Mordentado de lana de ovino	cambio de color	
					tipo y concentración de mordiente	POBLACIÓN: <i>Polylepis</i> (queñua)
					eficiencia de fijación (%)	MUESTRA: 8 sustratos teñidos
¿Cuál es el efecto tintóreo de la queñua ( <i>polylepis</i> ) como colorante natural en la solidez del color al lavado de lana de Ovino Corriedale?	Analizar el efecto tintóreo de la queñua ( <i>polylepis</i> ) como colorante natural en la solidez del color al lavado de lana de Ovino Corriedale.	El colorante natural de la queñua ( <i>polylepis</i> ) tiene efectos significativos en la solidez del color al lavado del teñido de lana de Ovino Corriedale, Puno, 2024.	VARIABLE 2: Solidez de color	D4: evaluación de la solidez del colorante	homogeneidad del mordentado	
						MUESTREO: No probabilístico intencional
¿Cuál es el efecto tintóreo de la queñua ( <i>polylepis</i> ) como colorante natural en la solidez del color al frote de lana de Ovino Corriedale?	Analizar el efecto tintóreo de la queñua ( <i>polylepis</i> ) como colorante natural en la solidez del color al frote de lana de Ovino Corriedale.	El colorante natural de la queñua ( <i>polylepis</i> ) tiene efectos significativos en la solidez del color al frote del teñido de lana de Ovino Corriedale, Puno, 2024.	VARIABLE 2: Solidez de color	D4: evaluación de la solidez del colorante	Solidez del color al lavado	TÉCNICAS: Observación y análisis de laboratorio
¿Cuál es el efecto tintóreo de la queñua ( <i>polylepis</i> ) como colorante natural en la solidez del color a la luz de lana de Ovino Corriedale?	Analizar el efecto tintóreo del de la queñua ( <i>polylepis</i> ) como colorante natural en la solidez del color a la luz de lana de Ovino Corriedale.	El colorante natural de la queñua ( <i>polylepis</i> ) tiene efectos significativos en la solidez del color a la luz del teñido de lana de Ovino Corriedale, Puno, 2024			Solidez del color al frote	INSTRUMENTOS: Ficha técnica de experimentación
					Solidez del color a la luz	PROCEDIMIENTO: proceso experimental, obtencion del colorante ,preparacion del sustrato,proceso : Tablas,figuras estadísticas :Anova,Diagrama

**Anexo 14.** Fotografías de materias primas e insumos utilizados



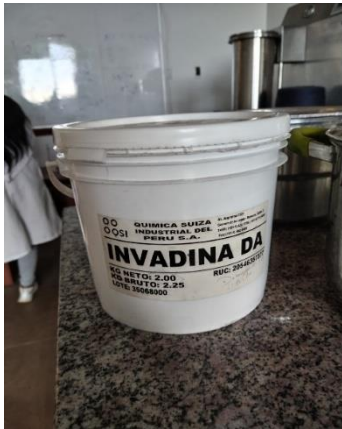
Recolección de planta tintoria



Selección y secado



Cortezas de Queñua (*polylepis*)



Detergente invadina



Hilo de ovino



Mor. Sulfato de Aluminio



Extracto de queñua



Midiendo el pH

**Anexo 15.** Fotografías de equipos utilizados en el laboratorio



Equipo Gyrowash



Equipo Abrasimetro Crockmeter



Equipo rotacolor



Aspe de precisión



Ph meter



Balanza analítica



Madejado de hilo



Pesado de hilo



Muestras

**Anexo 16.** Fotografías del proceso de teñido de hilos de ovino



Pesado del mordiente



Colorante y mordiente



vasos en el equipo



Programación del equipo



Hilo teñido con colorante



Muestras teñidas

**Anexo 17.** Fotografías del proceso de evaluación de la solidez de color



Muestras para solides al lavado



Adicionando agua a los vasos



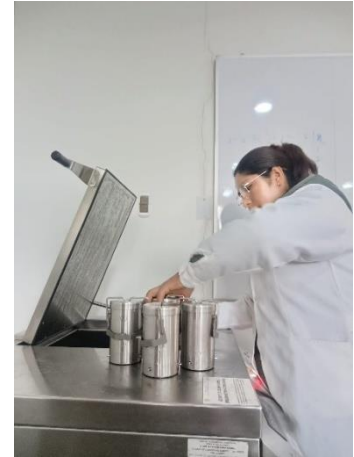
Detergente



Introduciendo muestra y billas



incorporando detergente



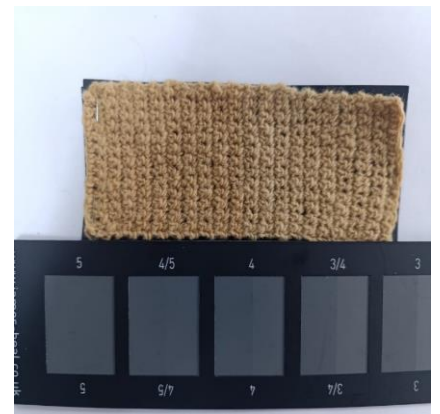
Programar equipo



Eval. de la solidez al lavado

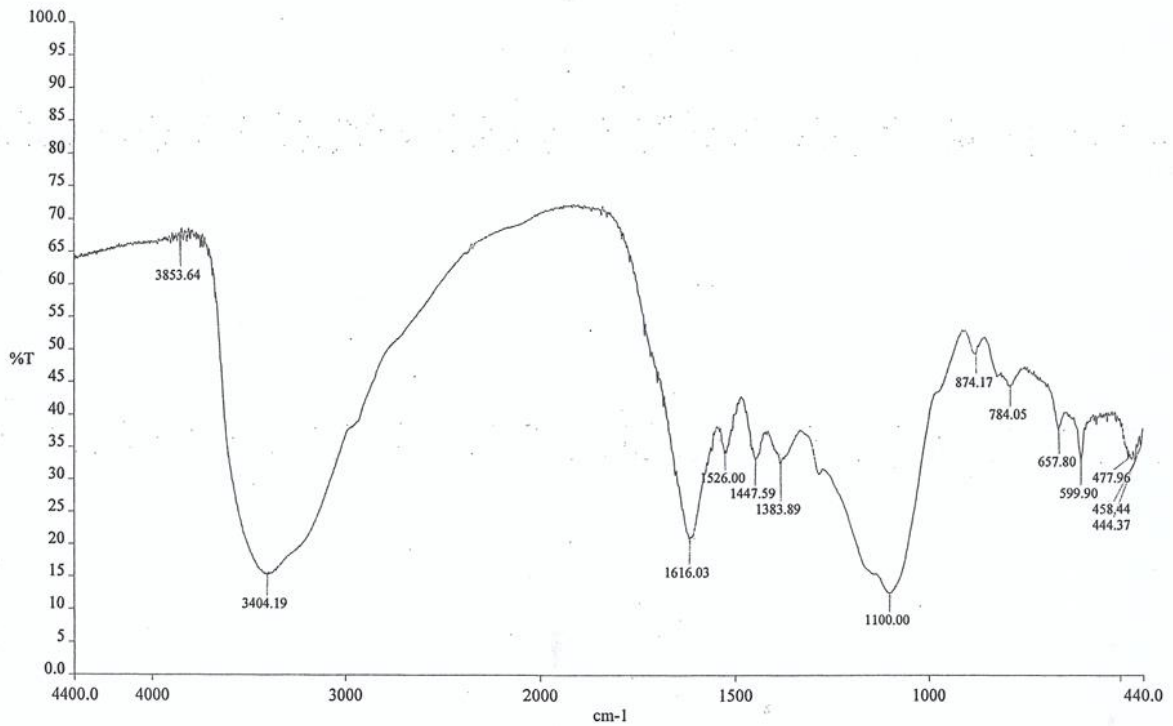
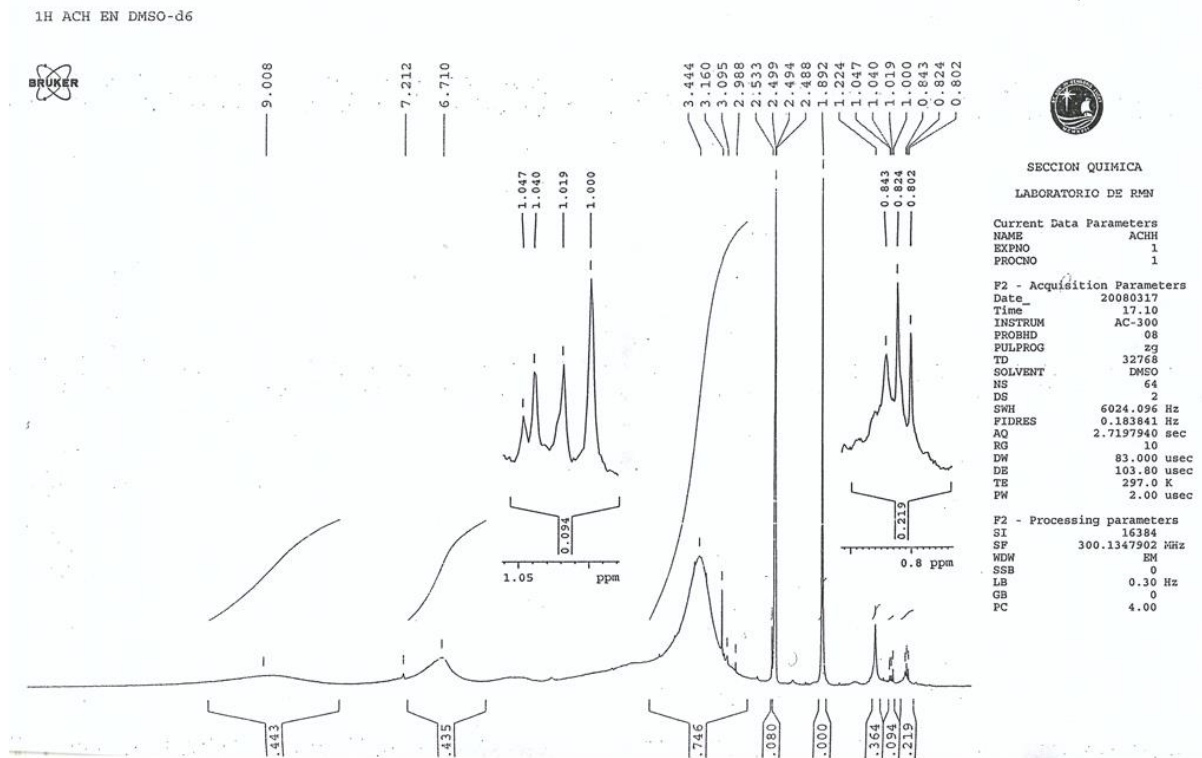


proceso de prueba



Eval. solidez a la luz

# Anexo 18. Parámetros de diseño, (tacuri 2008)





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**

UNW