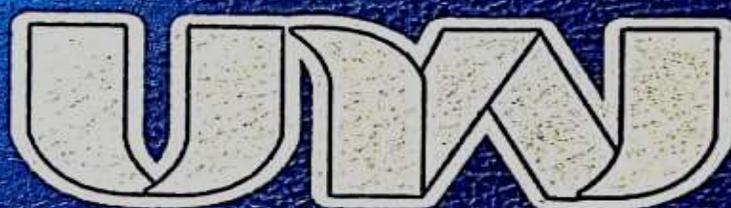




**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS INDUSTRIALES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**TEXTIL Y DE CONFECCIONES**



**“EFECTOS DEL TEÑIDO NATURAL CON CÚRCUMA (*cúrcuma longa*)  
EN LA SOLIDEZ DEL COLOR DEL HILADO DE ALPACA PARA LA  
ARTESANÍA TEXTIL, PUNO 2020”**

**Bach. Elida Jhudith Mamani Puma**

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

**ASESOR: Dr. Jean Roger Farfán Gavancho**

**CO-ASESOR: Dr. Víctor Manuel Lima Condori**



**Juliaca, 2021**





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



**"EFECTOS DEL TEÑIDO NATURAL CON CÚRCUMA (*cúrcuma longa*)  
EN LA SOLIDEZ DEL COLOR DEL HILADO DE ALPACA PARA LA  
ARTESANÍA TEXTIL, PUNO 2020"**

**Bach. Elida Jhudith Mamani Puma**

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

**ASESOR: Dr. Jean Roger Farfán Gavancho**

**CO-ASESOR: Dr. Víctor Manuel Lima Condori**



**Juliaca, 2021**

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



**“EFECTOS DEL TEÑIDO NATURAL CON CÚRCUMA (*cúrcuma longa*)  
EN LA SOLIDEZ DEL COLOR DEL HILADO DE ALPACA PARA LA  
ARTESANÍA TEXTIL, PUNO 2020”**

**Bach. Elida Jhudith Mamani Puma**

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

**ASESOR: Dr. Jean Roger Farfán Gavancho**

**CO-ASESOR: Dr. Víctor Manuel Lima Condori**

**Juliaca, 2021**

## FICHA CATALOGRAFICA

Mamani, E. (2021). *Efectos del teñido natural con cúrcuma (cúrcuma longa) en la solidez del color del hilado de alpaca para la artesanía textil, Puno 2020*. (Tesis de Ingeniería). Universidad Nacional de Juliaca. Juliaca.

**AUTOR:** Elida Jhudith Mamani Puma

**TITULO:** Efectos del teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) en la solidez del color del hilado de alpaca para la artesanía textil, Puno 2020

**PUBLICACIÓN:** Juliaca, 2021

**DESCRIPCIÓN:** Cantidad de páginas (180 pp.)

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

**CÓDIGO:** 04\_00003-04/M21

**NOTA:** Incluye bibliografía

**ASESOR:** Dr. Jean Roger Farfán Gavancho

**CO-ASESOR:** Dr. Víctor Manuel Lima Condori

**PALABRAS CLAVE:**

Hilado de alpaca, teñido natural, cúrcuma, mordiente, temperatura, tiempo y solidez de color.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS INDUSTRIALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TEXTIL Y DE CONFECCIONES

“EFECTOS DEL TEÑIDO NATURAL CON CÚRCUMA (*cúrcuma longa*) EN LA SOLIDEZ DEL COLOR DEL HILADO DE ALPACA PARA LA ARTESANÍA TEXTIL, PUNO 2020”

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO TEXTIL Y DE CONFECCIONES

Presentada por:

Bach. Elida Jhudith Mamani Puma

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Julio Cesar Laura Huanca

PRESIDENTE DE JURADO



M.sc. Beto Puma Huamán

JURADO (Secretario)



2<sup>do</sup> MIEMBRO

Dr. Edgardo Martin Figueroa Donayre

JURADO (Vocal)



3<sup>er</sup> MIEMBRO

Dr. Jean Roger Farfán Gavancho

ASESOR



Dr. Víctor Manuel Lima Condori

CO-ASESOR



## **DEDICATORIA**

*A Dios por ser mi guía espiritual en este largo camino.*

*Con un hermoso recuerdo a la memoria del Ing. Pablo Alfredo Soto Ramos por el apoyo brindado en el inicio de esta etapa.*

*Con mucho amor a mis padres Enrique Zenón Mamani Machaca y Reyna Puma Ramos por ser pilar fundamental en mi vida, por inculcarme buenos valores y gracias por infundir en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades y luchar por las metas.*

*A mis hermanos por su apoyo moral y el cariño incondicional que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.*

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por darme buena salud, fortaleza y haberme permitido llegar hasta esta etapa tan importante de mi formación profesional.

A la Universidad Nacional de Juliaca y a sus autoridades al presidente Dr. Freddy Martin Marrero Saucedo, al vicepresidente académico Dr. Percy Francisco Gutiérrez Salas y al vicepresidente de investigación Dr. Domingo Jesús Cabel Moscoso y en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Textil y de Confecciones por mi formación profesional.

Al Instituto Tecnológico de la Producción ITP Red Cite y al CITE Textil Camélidos Arequipa, a sus autoridades Director José Carlos Cuentas Zavala Rondón y en especial al Ingeniero José Luis Carrasco Bocangel por el apoyo y asesoramiento en la ejecución de la parte experimental del presente trabajo de investigación.

Al Dr. Jean Roger Farfán Gavancho asesor de tesis del presente trabajo de investigación por brindarme su tiempo y apoyo durante el proceso de investigación.

Con gratitud al Dr. Víctor Manuel Lima Condori Co-Asesor del presente trabajo de investigación por brindarme su valioso tiempo y apoyo desde el inicio con la redacción del proyecto de tesis hasta la culminación del informe final del presente trabajo de investigación.

A los miembros jurados de tesis, Dr. Julio Cesar Laura Huanca, M.Sc. Beto Puma Huamán y Dr. Edgardo Martin Figueroa Donayre por las revisiones, sugerencias emitidas y enriquecimiento del presente trabajo de investigación.

A mi mejor amigo Henry por el apoyo incondicional, por la motivación y sugerencias en cada proceso del presente trabajo de investigación, gracias por esas palabras de aliento y por ser esa persona que me inspira a ser la mejor versión de mí.

Con infinita gratitud a mis docentes de la carrera de Ingeniería Textil y de Confecciones por sus conocimientos impartidos durante los cinco años y a todos los que colaboraron en el desarrollo de este trabajo de investigación.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	IV
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVI

### 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 .....	3
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos .....	4
1.4. JUSTIFICACIÓN .....	4
1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.6. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS .....	6
1.6.1. Hipótesis general.....	6
1.6.2. Hipótesis específicos.....	6
1.7. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN .....	7
1.7.1. Variable independiente .....	7
1.7.2. Variable dependiente.....	8
1.7.3. Operacionalización de variables .....	9

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES.....	10
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	10
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	13
2.1.3. Antecedentes regionales.....	16
2.2. BASES TEÓRICAS .....	16
2.2.1. Colorantes .....	16
2.2.2. Colorantes naturales.....	17
2.2.3. Colorantes vegetales .....	18
2.2.4. Cúrcuma ( <i>cúrcuma longa</i> ).....	18
2.2.5. Teñido textil.....	22
2.2.6. Proceso de teñido .....	23
2.2.7. Etapas del proceso de teñido de la fibra de alpaca.....	23
2.2.8. Parámetros que influyen en el proceso de teñido.....	25
2.2.9. Tratamiento pre-tintura .....	28
2.2.10. Mordientes .....	29
2.2.11. Máquina de teñido.....	31
2.2.12. Alpaca .....	31
2.2.13. Fibra de alpaca .....	33
2.2.14. Características de la fibra de alpaca.....	33
2.2.15. Propiedades físicas de la fibra de alpaca.....	34
2.2.16. Propiedades químicas de la fibra de alpaca .....	36
2.2.17. Sustratos de la fibra de alpaca.....	37
2.2.18. Solidez del color.....	38
2.2.19. Escala de grises de comparación.....	40
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS .....	41

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN .....	43
3.2. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN .....	44
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN .....	45
3.3.1. Población.....	45
3.3.2. Muestra.....	46
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	47
3.4.1. Técnicas .....	47
3.4.2. Instrumentos.....	47
3.5. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS.....	48
3.5.1. Sustrato textil y material de teñido .....	48
3.5.2. Equipos y materiales de laboratorio.....	48
3.5.3. Reactivos y productos auxiliares.....	49
3.5.4. Otros equipos y materiales.....	49
3.6. PROCEDIMIENTO TÉCNICO DEL EXPERIMENTO .....	49
3.6.1. Extracción del colorante de la cúrcuma ( <i>cúrcuma longa</i> ) en líquido .....	49
3.6.2. Acondicionamiento del hilo de alpaca para el teñido .....	56
3.6.3. Teñido del hilado de alpaca con cúrcuma ( <i>cúrcuma longa</i> ) .....	62
3.6.4. Evaluación de la solidez del color en los teñidos mediante pruebas de solidez. ....	67
3.7. PROCESO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	73
3.7.1. Diseño experimental .....	73
3.7.2. Variables del proceso de teñido natural del hilado de alpaca con cúrcuma.....	75
3.7.3. Análisis estadístico de los datos.....	76

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. SUPUESTOS DE ANÁLISIS DE VARIANZA .....	78
4.2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN POR OBJETIVOS .....	85
4.2.1. Determinación del efecto del teñido natural con cúrcuma ( <i>cúrcuma longa</i> ) en la solidez del color del hilado de alpaca para la artesanía textil, Puno 2020. ....	85

4.2.2. Determinación del efecto del teñido natural con cúrcuma ( <i>cúrcuma longa</i> ) en la solidez del color al lavado del hilado de alpaca .....	88
4.2.3. Determinación del efecto del teñido natural con cúrcuma ( <i>cúrcuma longa</i> ) en la solidez del color al frote en seco del hilado de alpaca.....	100
4.2.4. Determinación del efecto del teñido natural con cúrcuma ( <i>cúrcuma longa</i> ) en la solidez del color a la luz del hilado de alpaca .....	111

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1. CONCLUSIONES .....	123
5.2. RECOMENDACIONES.....	124
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	125
ANEXOS.....	134

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Operacionalización de Variables</i> .....	9
<b>Tabla 2</b> <i>Descripción Taxonómica de la Cúrcuma</i> .....	19
<b>Tabla 3</b> <i>Análisis Proximal por Cada 100 g de Rizoma Fresco de Cúrcuma</i> .....	22
<b>Tabla 4</b> <i>Composición Elemental de la Fibra de Alpaca</i> .....	32
<b>Tabla 5</b> <i>Población Nacional de Alpacas por Regiones</i> .....	33
<b>Tabla 6</b> <i>Tamaño de Muestra Según el Diseño de Experimento Factorial</i> .....	47
<b>Tabla 7</b> <i>Longitud y Peso de las Muestras Para el Cálculo de Titulación</i> .....	57
<b>Tabla 8</b> <i>Cálculo de la Cantidad de Baño Tintóreo y Cantidad de Mordiente Para Cada Tratamiento</i> .....	58
<b>Tabla 9</b> <i>Condiciones de Ensayo Para Solidez al Lavado</i> .....	67
<b>Tabla 10</b> <i>Matriz del Diseño con los Experimentos Conformados</i> .....	74
<b>Tabla 11</b> <i>Dimensiones de Entrada del Proceso de Teñido</i> .....	75
<b>Tabla 12</b> <i>Dimensiones de Respuesta del Proceso de Teñido</i> .....	75
<b>Tabla 13</b> <i>Análisis de Varianza de un Diseño Factorial 2<sup>k</sup></i> .....	77
<b>Tabla 14</b> <i>Resultados de la Prueba de Ryan-Joiner Para la Solidez del Color al Lavado</i> .....	79
<b>Tabla 15</b> <i>Resultados de la Prueba de Levene Para la Solidez del Color al Lavado</i> .....	79
<b>Tabla 16</b> <i>Resultados de la Prueba de Ryan-Joiner Para la Solidez del Color al frote en Seco</i> .....	80
<b>Tabla 17</b> <i>Resultados de la Prueba de Levene Para la Solidez del Color al Frote en Seco</i> .....	82
<b>Tabla 18</b> <i>Resultados de la Prueba de Ryan-Joiner Para la Solidez del Color a la Luz</i> .....	83
<b>Tabla 19</b> <i>Resultados de la Prueba de Levene Para la Solidez del Color a la Luz</i> .....	84
<b>Tabla 20</b> <i>Análisis de Varianza del Modelo Completo Para la Solidez del Color</i> .....	86
<b>Tabla 21</b> <i>Resumen del Modelo del Experimento</i> .....	87
<b>Tabla 22</b> <i>Resultados descriptivos de la solidez del color al lavado</i> .....	88
<b>Tabla 23</b> <i>Análisis de la Varianza Para la Solidez del Color al Lavado del Hilado de Alpaca Teñido con Cúrcuma (cúrcuma longa)</i> .....	91
<b>Tabla 24</b> <i>Efectos Estimados Para la Solidez del Color al Lavado</i> .....	94
<b>Tabla 25</b> <i>Diferencias Estadísticas Entre Tratamientos Para la Solidez del Color al Lavado Según la Prueba de Tukey</i> .....	96
<b>Tabla 26</b> <i>Resultados Descriptivos de la Solidez del Color al Frote en Seco</i> .....	100

<b>Tabla 27</b> <i>Análisis de la Varianza Para la Solidez del Color al Frote en Seco del Hilado de Alpaca Teñido con Cúrcuma (cúrcuma longa).</i> .....	103
<b>Tabla 28</b> <i>Efectos Estimados Para la Solidez del Color al Frote en Seco.</i> .....	106
<b>Tabla 29</b> <i>Diferencias Estadísticas Entre Tratamientos Para la Solidez del Color al Frote en Seco Utilizando la Prueba Tukey</i> .....	108
<b>Tabla 30</b> <i>Resultados Descriptivos de la Solidez del Color a la Luz.</i> .....	111
<b>Tabla 31</b> <i>Análisis de la Varianza Para la Solidez del Color a la Luz del Hilado de Alpaca Teñido con Cúrcuma (cúrcuma longa).</i> .....	114
<b>Tabla 32</b> <i>Efectos Estimados Para la Solidez del Color a la Luz.</i> .....	117
<b>Tabla 33</b> <i>Diferencias Estadísticas Entre Tratamientos Para la Solidez del Color a la Luz según la Prueba de Tukey</i> .....	119

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Hoja, Flores y Rizomas de la Cúrcuma Longa.</i> .....	19
<b>Figura 2</b> <i>Rizomas de la Cúrcuma Longa</i> .....	21
<b>Figura 3</b> <i>Estructura Química de la Cúrcuma.</i> .....	21
<b>Figura 4</b> <i>Etapas de Proceso de Teñido</i> .....	25
<b>Figura 5</b> <i>Máquina de Teñido Datacolor AHIBA IR</i> .....	31
<b>Figura 6</b> <i>Mapa de Arequipa, Ubicación del Lugar de Ejecución</i> .....	43
<b>Figura 7</b> <i>Mapa de Juliaca, Ubicación del Lugar de Ejecución</i> .....	44
<b>Figura 8</b> <i>Diagrama de Flujo de la Extracción del Colorante de la Cúrcuma</i> .....	50
<b>Figura 9</b> <i>Secuencia Fotográfica del Proceso de Limpieza, Deshidratado y Triturado de la Cúrcuma</i> .....	52
<b>Figura 10</b> <i>Extracción del Colorante al 9 %, 13.5 % y 18 % por el Método Cocción</i> .....	53
<b>Figura 11</b> <i>Curva de Extracción de Colorante de la Cúrcuma Para el 9 %, 13.5% y 18%</i> .....	53
<b>Figura 12</b> <i>Secuencia Fotográfica del Proceso de Extracción del Colorante</i> .....	55
<b>Figura 13</b> <i>Diagrama de Flujo Acondicionamiento del Hilo de Alpaca</i> .....	56
<b>Figura 14</b> <i>Curva de Lavado del Hilado Alpaca</i> .....	59
<b>Figura 15</b> <i>Curva de Premordentado de las Muestras del Hilado Alpaca</i> .....	60
<b>Figura 16</b> <i>Secuencia Fotográfica del Proceso de Acondicionamiento del Hilado de Alpaca Para el Teñido</i> .....	61
<b>Figura 17</b> <i>Diagrama de Flujo del Teñido del Hilado de Alpaca con Cúrcuma</i> .....	62
<b>Figura 18</b> <i>Curva del Proceso Teñido del Hilado de Alpaca con Cúrcuma</i> .....	65
<b>Figura 19</b> <i>Secuencia Fotográfica del Proceso de Teñido del Hilado de Alpaca con Cúrcuma (cúrcuma longa)</i> .....	66
<b>Figura 20</b> <i>Secuencia Fotográfica del Ensayo de Solidez al Frote en Seco</i> .....	69
<b>Figura 21</b> <i>Escala de Grises Para Transferencia y Cambio de Color</i> .....	70
<b>Figura 22</b> <i>Secuencia Fotográfica del Ensayo de Solidez al Frote en Seco</i> .....	71
<b>Figura 23</b> <i>Secuencia Fotográfica del Ensayo de Solidez al Frote en Seco</i> .....	73
<b>Figura 24</b> <i>Grafica de Normalidad de los Residuos Para la Solidez del Color al Lavado</i> .....	78
<b>Figura 25</b> <i>Grafica de Normalidad de los Residuos de Solidez del Color al Frote en Seco</i> .....	81
<b>Figura 26</b> <i>Grafica de Normalidad de los Residuos de Solidez del Color a la Luz</i> .....	83

<b>Figura 27</b> <i>Diagrama de Pareto para los Efectos Estandarizados en Relación a su Valor Absoluto Para la Solidez del Color al Lavado</i> .....	92
<b>Figura 28</b> <i>Gráfico de Efectos Principales para la Solidez del Color al Lavado</i> .....	94
<b>Figura 29</b> <i>Grafica de Interacción Para la Solidez del Color al Lavado</i> .....	95
<b>Figura 30</b> <i>Grafica de Intervalos de la Solidez del Color al Lavado en Función de los Tratamientos</i> .....	97
<b>Figura 31</b> <i>Diagrama de Pareto Para los Efectos Estandarizados en Relación a su Valor Absoluto Para la Solidez del Color al Frote en Seco</i> .....	104
<b>Figura 32</b> <i>Gráfico de Efectos Principales Para la Solidez del Color al Frote en Seco</i> .....	106
<b>Figura 33</b> <i>Grafica de Interacción Para Solidez del Color al Frote en Seco</i> .....	107
<b>Figura 34</b> <i>Grafica de Intervalos de la Solidez del Color al Frote en Seco en Función de los Tratamientos</i> .....	109
<b>Figura 35</b> <i>Diagrama de Pareto Para Los Efectos Estandarizados en Relación a su Valor Absoluto Para la Solidez del Color a la Luz</i> .....	115
<b>Figura 36</b> <i>Gráfico de Efectos Principales Para la Solidez del Color a la Luz</i> .....	117
<b>Figura 37</b> <i>Grafica de Interacción Para la Solidez del Color a la Luz</i> .....	118
<b>Figura 38</b> <i>Grafica de Intervalos de la Solidez del Color a la Luz en Función de los Tratamientos</i> .....	120

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Constancia del Centro de Innovación Productiva y Transparencia Tecnológica – CITE Textil Camélidos Arequipa.....	135
ANEXO 2. Resultados de la prueba de solidez al lavado del teñido de hilo de alpaca con cúrcuma ( <i>cúrcuma longa</i> ). .....	136
ANEXO 3. Resultados de la prueba de solidez al frote en seco del teñido de hilo de alpaca con cúrcuma ( <i>cúrcuma longa</i> ).....	137
ANEXO 4. Resultados de la prueba de solidez a la luz del teñido de hilo de alpaca con cúrcuma ( <i>cúrcuma longa</i> ). .....	138
ANEXO 5. Tabla A8 límites para prueba de Durbin-watson.....	139
ANEXO 6. Secuencia fotográfica del procedimiento de extracción del colorante de los rizomas de la cúrcuma ( <i>cúrcuma longa</i> ). .....	140
ANEXO 7. Secuencia fotográfica del procedimiento de acondicionamiento del hilo de alpaca para el teñido. ....	142
ANEXO 8. Secuencia fotográfica del procedimiento de teñido del hilo de alpaca con cúrcuma ( <i>cúrcuma longa</i> ). .....	144
ANEXO 9. Secuencia fotográfica del procedimiento de la evaluación de la solidez del color en los teñidos mediante pruebas de solidez.....	147
ANEXO 10. Fotografías de los equipos usados en la investigación. ....	153
ANEXO 11. Materiales para la prueba de solidez al lavado y solidez al frote en seco según normas internacionales e instrumentos de evaluación.....	157
ANEXO 12. Validación y confiabilidad del instrumento (ficha de recolección de datos) .....	159
ANEXO 13. Ficha de recolección de datos según el orden del diseño experimental .....	163
ANEXO 14. Matriz de consistencia lógica – metodológica.....	164
ANEXO 15. Operacionalización de variables.....	165

## RESUMEN

El trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar el efecto del teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) en la solidez del color del hilado de alpaca para la artesanía textil, Puno 2020. El enfoque de la investigación es cuantitativo, de alcance explicativo y posee el diseño experimental factorial. La metodología utilizada es hipotético inductivo, la población en estudio fue la longitud de hilado de alpaca producida en la comunidad de Conduriri en el año 2020 y el muestreo es de tipo no probabilístico de selección intencional; se trabajó con 38 muestras de madejas de hilado (40 metros cada muestra). Para la recolección de datos se usó la técnica observacional experimental y el instrumento de ficha de registros con una validez de 18.13 y una confiabilidad de 0.787; para el análisis de los datos se usó el software Minitab 19, se aplicó las pruebas de Ryan-Joiner para la normalidad, ANOVA para la contrastación de hipótesis y Tukey para determinar el tratamiento óptimo, con un nivel de significancia de 0.05; se consideró cuatro factores de teñido (1) relación de planta/sustrato (18 y 9 %), (2) concentración de mordiente (1 y 3 g/L), (3) temperatura de teñido (85 y 98 °C) y (4) tiempo de teñido (30 y 50 minutos) para evaluar el efecto en la solidez del color al lavado, al frote en seco y a la luz. Los resultados muestran que los factores relación planta/sustrato (valor  $P = 0.00$ ), temperatura de teñido (valor  $P = 0.00$ ) y tiempo de teñido (valor  $P = 0.03$ ) tienen un efecto significativo sobre la solidez del color al lavado y sobre la solidez del color al frote en seco; sin embargo, los factores relación de planta/sustrato y temperatura de teñido (valor  $P = 0.03$ ) tienen un efecto significativo en la solidez del color a la luz; Asimismo, se obtuvo un grado 4.17 en la solidez del color al lavado con un tratamiento óptimo de relación planta/sustrato de 9 %, temperatura de 98 °C y tiempo de 30 minutos; y un grado de 4.5 en la solidez del color al frote en seco con un tratamiento óptimo relación planta/sustrato de 9 %, temperatura de 85 °C y tiempo de 30 minutos; sin embargo, para la solidez del color a la luz todos los tratamientos presentan baja solidez. En conclusión, el teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) tiene efectos significativos en la solidez del color al lavado, al frote en seco y a la luz, del hilado de alpaca.

**Palabras claves:** Hilado de alpaca, teñido natural, cúrcuma, mordiente, temperatura, tiempo y solidez de color.

## ABSTRACT

The objective of the research work was to determine the effect of natural dyeing with turmeric (*cúrcuma longa*) on the color fastness of alpaca yarn for textile handicrafts, Puno 2020. The research approach is quantitative, explanatory in scope and has a factorial experimental design. The methodology used is hypothetical inductive, the population under study was the length of yarn of alpaca produced in the community of Conduriri in the year 2020 and the sampling is non-probabilistic type of intentional selection and worked with 38 samples of skeins of yarn (40 meters each sample). For data collection, the experimental observational technique was used and the record card instrument with a validity of 18.13 and a reliability of 0.787; for data analysis the Minitab 19 software was used, the Ryan-Joiner tests were applied for normality, ANOVA for hypothesis testing and Tukey to determine the optimal treatment, with a significance level of 0.05; four dyeing factors (1) plant/substrate ratio (18 and 9 %), (2) mordant concentration (1 and 3 g/L), (3) dyeing temperature (85 and 98 °C) and (4) dyeing time (30 and 50 minutes) were considered to evaluate the effect on color fastness to washing, dry rubbing and light. The results show that the factors plant/substrate ratio (P value = 0.00), dyeing temperature (P value = 0.00) and dyeing time (P value = 0.03) have a significant effect on color fastness to washing and on color fastness to dry rubbing; however, the factors plant/substrate ratio and dyeing temperature (P value = 0.03) have a significant effect on color fastness to light. Likewise, a grade of 4.17 was obtained for color fastness to washing with an optimum treatment with a plant/substrate ratio of 9 %, temperature of 98 °C and time of 30 minutes; and a grade of 4.5 for color fastness to dry rubbing with an optimum treatment with a plant/substrate ratio of 9 %, temperature of 85 °C and time of 30 minutes; however, for color fastness to light, all the treatments presented low fastness. In conclusion, natural dyeing with turmeric (*Curcuma longa*) has significant effects on the color fastness to washing, dry rubbing and light fastness of alpaca yarn.

**Key words:** Alpaca yarn, natural dyed, turmeric, mordant, temperature, time and color fastness.

## INTRODUCCIÓN

Los colorantes naturales en los últimos años están siendo revalorados en el sector textil, debido al impacto positivo que tienen en el medio ambiente y en las personas, pero los teñidos con dichos colorantes presentan una baja calidad en cuanto a la solidez del color, debido al uso de técnicas ancestrales por los artesanos (Duffy, et al., 2019); en consecuencia, surge el siguiente problema ¿Cuál es el efecto del teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) en la solidez del color del hilado de alpaca para la artesanía textil, Puno 2020?. A continuación, se describe por capítulos la elaboración del presente trabajo de investigación.

En el Capítulo I se detalla el planteamiento del problema; donde se describe y se formula el problema de investigación, se plantea los objetivos de investigación, se menciona la justificación, los alcances y limitaciones de la investigación, se plantea las hipótesis de la investigación y la operacionalización de variables. En este capítulo se plantea el objetivo del presente trabajo de investigación que es: determinar el efecto del teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) en la solidez del color del hilado de alpaca para la artesanía textil, Puno 2020; tomando en cuenta los factores relación planta/sustrato, concentración de mordiente, temperatura y tiempo de teñido; con la finalidad de mejorar la calidad en cuanto a la solidez del color al lavado, al frote en seco y a la luz, que permitan satisfacer las expectativas de los clientes y así mismo darle un valor agregado a la fibra de alpaca; ya que la región Puno es el mayor productor mundial de fibra de alpaca; sin embargo, son minúsculas las industrias que procesan dicha fibra en la región, y en lo que respecta al teñido de la fibra de alpaca con colorantes naturales solo se limita a pequeñas asociaciones de artesanos. Así mismo, también aprovechar los recursos naturales que brinda la naturaleza como es la cúrcuma (*cúrcuma longa*) con un alto poder tintóreo, dicha planta es cultivada en la selva de la región Puno debido al clima favorable para esta especie.

En el capítulo II se precisa la revisión de literatura, se establece los antecedentes del trabajo de investigación internacionales, nacionales y regionales; estas son: tesis y artículos de revistas indexadas que estén relacionados con el propósito de la presente investigación; así mismo, se detalla las bases teóricas que están estructuradas para guiar y sustentar el presente trabajo de investigación, donde se define aspectos relacionados con el teñido natural con tintes naturales, proceso de teñido, solidez del color y el hilado de alpaca.

En el capítulo III se detalla los materiales y métodos; donde se precisa el tipo y nivel de investigación, en este caso es de alcance explicativo experimental; también, se puntualiza la población, el tamaño de muestra, los instrumentos y técnicas de recolección de datos, el diseño de investigación y el procedimiento técnico del experimento. En la presente investigación la población en estudio está dada por la longitud de hilado producida en la comunidad de Conduriri en el año 2020, el muestreo es no probabilístico de selección intencional, para la recolección de datos se usa la técnica observacional experimental y como instrumento la ficha de registros, se hace uso del diseño factorial  $2^k$  con puntos centrales; así mismo, se detalla el procedimiento experimental desde la obtención del colorante, teñido de las muestras hasta la evaluación de la solidez del color.

En el capítulo IV se precisa los resultados y discusiones; en este capítulo se muestra los resultados de la solidez del color de las muestras teñidas del hilado de alpaca, normalidad de los datos, la contrastación de las hipótesis mediante un análisis estadístico y la discusión de los resultados haciendo comparaciones con los antecedentes y bases teóricas; en este caso la investigación analiza y contrasta los efectos de los factores relación planta/sustrato, concentración de mordiente, temperatura y tiempo del teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) en la solidez del color al lavado, al frote en seco y a la luz del teñido en hilado de alpaca; de esta manera se observa los parámetros que influyen de manera significativa en la variable respuesta; del mismo modo, se puntualiza los tratamientos óptimos que conducen a obtener una buena y/o alta solidez del color del teñido de hilado de alpaca con el colorante natural cúrcuma (*cúrcuma longa*).

Finalmente, en el capítulo V se presenta las conclusiones y las recomendaciones; donde las conclusiones están dadas de acuerdo a los objetivos de la investigación y las recomendaciones tienen concordancia con los resultados; en el cual, se especifica los aspectos no tratados para futuras investigaciones.

En tal sentido los resultados de la presente investigación son de utilidad para los artesanos tintoreros de la región Puno, para que puedan extraer el tinte natural de los rizomas de la cúrcuma y realizar sus teñidos de manera experimental, y con ello obtener teñidos con buena solidez de color, de esta manera darle un valor agregado a la fibra de alpaca.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los colorantes naturales han sido utilizados desde las primeras civilizaciones para el teñido textil y con el descubrimiento de los colorantes sintéticos en (1856) se dejaron de lado (García Visos, 2018). Paulatinamente los colorantes naturales son sustancias extraídas de fuentes vegetales, animales y minerales; que tienen la potencia de dar color a un sustrato textil, así como los rizomas de la cúrcuma (*cúrcuma longa*) que están al alcance de la mano (Pazos, 2017). El diseñador Patrick Duffy señala que en los últimos años los colorantes naturales emergen nuevamente siendo una opción alternativa a los tintes sintéticos; debido, a que estos provocan un daño a la salud de las personas y al medio ambiente, pero los sustratos teñidos con los colorantes naturales presentan una baja solidez del color debido al empleo de técnicas ancestrales por los artesanos (Duffy, et al., 2019).

En la actualidad a nivel mundial, existe una gran preocupación por el cuidado del medio ambiente; por otra parte, los tintes naturales están siendo revalorados por la población (Arroyo Figueroa, 2020). Además, el Centro de Comercio Internacional ha iniciado un impulso de la moda ética para resaltar la labor de los artesanos del mundo en desarrollo, quienes no solo recogen la tradición de los tintes naturales; sino que experimentan con nuevos materiales vegetales y logran obtener prendas teñidas 100 % naturales; en tanto, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) Medio Ambiente están presionando a los gobiernos para que fomenten prácticas de fabricación sostenibles; donde, su objetivo es identificar soluciones para buscar activar las políticas necesarias que lo respalden; en el cual, empresas, científicos y consumidores formen equipo para darle a las prendas un tinte amigable con el medio ambiente y la salud de los consumidores (El imparcial, 2019).

En el continente americano los colorantes naturales son mayormente investigados por las universidades de los países de México, Ecuador y Colombia. Existen investigaciones en la obtención de tintes naturales y teñido a partir del achiote, grana cochinilla, añil, flor de pomo, aguacate, etc., los cuales logran teñir diferentes tipos de fibras naturales; así mismo, la Dr. Gabriela Arroyo de la Universidad de Guanajuato trabaja en el teñido de fibras naturales con colorantes naturales en colaboración con algunas pequeñas empresas; donde dichos teñidos son aplicados en la elaboración de productos textiles artesanales y de esta manera se pretende aumentar la demanda de dichos productos (Arroyo Figueroa, 2020).

Los tintes naturales en el Perú son poco valorados; ya que algunos artesanos optan por usar la anilina en la mayoría de sus teñidos. A pesar de ello, algunos artesanos de la región de Cusco, Puno y la población indígena de la selva realizan el teñido con colorantes naturales de manera tradicional (Albán Castillo, et al., 2018). así mismo, la empresa Ecotintes realiza teñidos naturales; del cual el 80 % de su producción se va al mercado internacional (Xicota, 2016). Por otro lado el país representa un poco más del 10 % del mercado internacional de tintes naturales, cuenta con una variedad de especies forestales las cuales son una fuente primordial para la obtención de tintes naturales (Xicota, 2016) y según el comentario de Elmer Lava (coordinador del departamento de manufacturas diversas de PROMPERÚ) el Perú es el primer productor de la grana cochinilla con un 95 % a nivel mundial (ysla, 2016); a pesar de ello, algunos artesanos textiles peruanos hacen uso de tintes sintéticos para el teñido de los textiles; en consecuencia de la baja estabilidad del color de los tintes naturales; si esto continua, la contaminación por los tintes sintéticos aumentara cada día, así como también el cáncer y las alergias en la piel de los consumidores (Giai, et al., 2008).

En la región Puno existen algunas asociaciones de artesanos dedicados al teñido natural; quienes realizan sus teñidos disponiendo de técnicas ancestrales de una manera tradicional, al no contar con técnicas científicas adecuadas del teñido con colorantes naturales que permita estandarizar y mejorar la solidez del color (Cite textil camélidos, 2019). Respecto a ello con el fin del cuidado del medio ambiente, la salud de la población, y el aprovechamiento de la variedad de vegetación que existe en la región Puno; la presente investigación tiene como finalidad, mejorar la solidez del color del teñido natural del hilado de alpaca con cúrcuma (*cúrcuma longa*), con el propósito de que los artesanos textiles de la región puno hagan uso de

esta especie vegetal; de tal manera, que logren estandarizar y mejorar la calidad de teñido de sus productos textiles y puedan salir al mercado internacional con la consigna de textiles ecológicos.

En los últimos años la ciudad de Juliaca ha ido creciendo en cuanto al sector textil (INEI, 2014), según el censo de manufacturas (2017) existen dos empresas medianas (Manufacturas San Francisco S.R.L y Veybi alpaca) dedicadas al teñido de hilados de lana con colorantes artificiales, también existen asociaciones de artesanos que realizan sus teñidos con la anilina y colorantes naturales, haciendo uso de recetas heredadas por sus antepasados; debido a la reducida investigación técnica precisa para la extracción y teñido con colorantes naturales. A raíz de esta problemática surge las siguientes interrogantes; ¿Cómo reemplazar a los colorantes sintéticos?, ¿Cómo mejorar la solidez del color de los teñidos con colorantes naturales en la fibra de alpaca?, todo ello para el bien común.

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

### **1.2.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Cuál es el efecto del teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) en la solidez del color del hilado de alpaca para la artesanía textil, Puno 2020?

### **1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿Cuál es el efecto del teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) en la solidez del color al lavado del hilado de alpaca?
- ¿Cuál es el efecto del teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) en la solidez del color al frote en seco del hilado de alpaca?
- ¿Cuál es el efecto del teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) en la solidez del color la luz del hilado de alpaca?

### **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar el efecto del teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) en la solidez del color del hilado de alpaca para la artesanía textil, Puno 2020.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer el efecto del teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) en la solidez del color al lavado del hilado de alpaca.
- Evaluar el efecto del teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) en la solidez del color al frote en seco del hilado de alpaca.
- Demostrar el efecto del teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) en la solidez del color a la luz del hilado de alpaca.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN**

La presente investigación se justifica en la parte teórica, ya que la información de conceptos y procesos del teñido de la fibra de alpaca con el colorante natural cúrcuma (*cúrcuma longa*) es reducida; por tanto, en la presente investigación se aplicó las teorías que se tiene respecto a los parámetros del teñido y su efecto en la solidez del color; manipulando los cuatro parámetros que influyen en la solidez del color (relación planta/sustrato, concentración de mordiente, temperatura de teñido y tiempo de teñido) (Dos Santos Afonso & Maier, 2013), y de este modo se define los parámetros y/o factores adecuados que conducen a obtener una buena solidez del color (al lavado, al frote en seco y a la luz); con ello se genera información técnica para el teñido de la fibra de alpaca con cúrcuma (*cúrcuma longa*), la cual podrá ser replicado en cualquier lugar de nuestro país y el mundo.

Posee justificación práctica, ya que es un aporte para los artesanos tintoreros de la región Puno en la mejora de sus procesos de teñido; esto debido a que los teñidos con colorantes naturales presentan una baja solidez del color (Xicota, 2015) a causa del empleo de técnicas ancestrales por parte de los artesanos tintoreros (Nina Aguilar, 2018). Con la presente investigación se establece los parámetros óptimos de teñido que presentan mejores solidez del color; del mismo modo se aprovecha los recursos naturales que brinda la naturaleza como es la cúrcuma (*cúrcuma longa*) con un alto poder tintóreo, el cual es cultivada en la selva de la región Puno debido a su clima favorable para esta especie. Además, se le da un valor agregado a la

fibra de alpaca al hacer uso de colorantes naturales para su teñido; lo cual será un beneficio en la economía de los artesanos y en los pequeños productores de fibra de alpaca, ya que la región Puno ocupa el mayor porcentaje de producción de fibra de alpaca a nivel nacional, con 39.61 % según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). También contribuye en evitar la contaminación del medio ambiente y las personas.

Asimismo, en la parte social; los resultados obtenidos en la presente investigación ayudan a los artesanos tintoreros en el uso adecuado de los parámetros de teñido de hilado de alpaca con cúrcuma (*cúrcuma longa*) con el fin de mejorar y obtener una alta solidez del color al lavado, al frote en seco y a la luz. Además, con dicho colorante se logra obtener una amplia gama de colores y son favorables para la salud humana, dado que tienen propiedades antioxidantes (Vigueras & Portillo, 2004); lo contrario a los colorantes sintéticos que provocan daños a la salud y al medio ambiente por el uso excesivo; es por ello que renace un interés mundial por el uso de colorantes naturales (Del Río Dueñas, 2006).

Del mismo modo tiene justificación técnica; ya que al determinar el efecto de los factores del teñido del hilado de alpaca utilizando el colorante natural cúrcuma (*cúrcuma longa*) en la solidez del color; aporta una alternativa ecológica para teñir la fibra de alpaca y una técnica con parámetros óptimos de teñido, donde los sustratos teñidos tengan una buena calidad en cuanto a la solidez del color al lavado, solidez del color al frote en seco y solidez de color a la luz; dichas técnicas podrán ser utilizados por los tintoreros textiles en la artesanía y asimismo para realizar posteriores investigaciones de teñido con diferentes colorantes naturales.

## **1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

En la presente investigación se desarrolló el teñido del hilado de alpaca con cúrcuma (*cúrcuma longa*) y los procesos experimentales se desarrollaron a nivel laboratorio; donde, por medio de pruebas pilotos previo al experimento se alcanzó establecer los niveles de los factores de teñido (relación planta/sustrato 9 % y 18 %, concentración de mordiente 1 g/L y 3 g/L, temperatura de teñido 85 °C y 98 °C y tiempo de teñido 30 minutos y 50 minutos), con dichos niveles se obtuvo valores aceptables en la solidez del color al lavado y solidez del color al frote en seco. Así mismo se estableció la cantidad óptima de relación planta/sustrato, la concentración óptima de mordiente, la adecuada temperatura de teñido y el adecuado tiempo de teñido los cuales conducen a obtener una alta solidez del color al lavado (9 %, 98 °C y 30 minutos) y al

frote en seco (9 %, 85 °C y 30 minutos) del hilado teñido con cúrcuma (*cúrcuma longa*); además, los parámetros óptimos obtenidos en este trabajo de investigación pueden ser aplicados en los teñidos de hilado de alpaca con el colorante natural del achiote, debido a que tienen características similares, ambos colorantes son aplicados en pequeñas partículas y son de origen vegetal.

En las limitaciones del presente trabajo de investigación; no se logró realizar el proceso de blanqueo del hilado antes del teñido, por falta del insumo blanqueador; además, no se desarrolló varias réplicas del diseño de experimentos, lo cual lleva a cometer un error experimental alto debido a una menor cantidad de réplicas; todo ello, se limitó por motivos del número elevado de experimentos; lo cual repercute en el aumento del presupuesto de ejecución. Asimismo, se limitó solo a analizar las dimensiones más importantes y que según la revisión bibliográfica son las que más influyen en el teñido para obtener una alta solidez del color; además, se evaluó solo tres ensayos de solidez del color (solidez del color al lavado, al frote en seco y a la luz), debido a que estos son los más exigidos por el mercado y los consumidores en una prenda.

## **1.6. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS**

### **1.6.1. HIPÓTESIS GENERAL**

El teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) tiene efectos significativos en la solidez del color del hilado de alpaca para la artesanía textil, Puno 2020.

### **1.6.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS**

- El teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) tiene efectos significativos en la solidez del color al lavado del hilado de alpaca.
- El teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) tiene efectos significativos en la solidez del color al frote en seco del hilado de alpaca.
- El teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) tiene efectos significativos en la solidez del color a la luz del hilado de alpaca.

## 1.7. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

### 1.7.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

#### a) VARIABLE: Teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*)

**Definición conceptual:** Es el proceso donde, el colorante obtenido del rizoma de la planta cúrcuma (*cúrcuma longa*), es transferido a la fibra, tomando en cuenta los factores de tinción (Relación planta/sustrato, Concentración de Mordiente, Temperatura de teñido y Tiempo de teñido), para la fijación del color (Katz, 2015).

**Definición operacional:** Para el teñido natural de la fibra de alpaca, se tomará en cuenta los factores del proceso de teñido (Relación planta/sustrato, Concentración de Mordiente, Temperatura de teñido y Tiempo de teñido); para lo cual se tomó en cuenta dos relaciones de planta/sustrato (9 % y 18%), dos diferentes concentraciones de mordiente (1 g/L y 3 g/L), a dos temperaturas de teñido (85 °C y 98 °C) y a dos tiempos diferentes de teñido (30 minutos y 50 minutos); para establecer dichos parámetros antes se realizó una prueba piloto y tomando en cuenta las referencias de manuales.

#### b) DIMENSIONES DE LA VARIABLE: Relación planta/sustrato, Concentración de Mordiente, Temperatura de teñido, Tiempo de teñido

**Definición conceptual:** (1) Relación planta/sustrato: Es la cantidad en porcentaje del colorante en relación del sustrato (Cegarra Sanchez, et al., 1981). (2) Concentración de Mordiente: Es la cantidad de mordiente en gramos por litro, lo cual hace que el colorante quede fijado en el hilado (Pazos, 2017). (3) Temperatura de teñido: Es un parámetro del proceso de teñido de suma importancia, ya que de ello depende la correcta igualación y fijación de los teñidos (Cegarra Sanchez, et al., 1981). (4) Tiempo de teñido: Es un factor importante del proceso de teñido, para que el colorante penetre satisfactoriamente a la fibra y la migración del colorante sea homogénea (Costa, 2010).

**Definición operacional:** (1) Relación planta/sustrato: para este factor se tomó en cuenta relaciones de 9 % y 18 %. (2) Concentración de Mordiente: para este factor se tomó en cuenta concentraciones de 1 g/L y 3 g/L. (3) Temperatura de teñido: para este factor se tomó en cuenta temperaturas de 85 °C y 98 °C. (4) Tiempo de teñido: para este factor se tomó en cuenta tiempos de 30 minutos y 50 minutos.

## **1.7.2. VARIABLE DEPENDIENTE**

### **a) VARIABLE: Solidez del color**

**Definición conceptual:** Es la resistencia de un material a cambiar en cualquiera de sus características de color y transferir su coloración a materiales adyacentes, o ambos; como el resultado de la exposición del material a cualquier entorno que puede existir durante su procesamiento, análisis, almacenamiento y uso del material (Lockuan Lavado F. E., 2012).

**Definición operacional:** Para la determinación de la solidez del color de las muestras teñidas se realizó tres pruebas de solidez, las más importantes en cuanto a las exigencias del usuario y el mercado; estas son las pruebas de solidez al lavado, la prueba de solidez al frote en seco y la prueba de solidez a la luz; para ello se utilizó de las normas técnicas peruanas (NTP 231.008, NTP 231.042, NTP 231.007).

### **b) DIMENSIONES DE LA VARIABLE: Solidez del color al lavado, solidez del color al frote en seco y solidez del color a la luz.**

**Definición conceptual:** (1) Solidez del color al lavado: Es la resistencia a la pérdida del color del tejido y los cambios superficiales, debido a la acción del lavado en solución de detergente y diversos tipos de lavado (INACAL, 2019). (2) Solidez del color al frote en seco: Es la resistencia a la pérdida y transferencia de color, debido a la acción de frote con un material adyacente (INACAL, 2019). (3) Solidez del color a la luz: Es la resistencia al cambio de color del tejido al ser sometida a la acción de la luz (INACAL, 2019).

**Definición operacional:** (1) Solidez del color al lavado: El ensayo de la prueba de solidez al lavado se realizó según la Norma Técnica Peruana NTP 231.008. (2) Solidez del color al frote en seco: El ensayo de la prueba de solidez al frote en seco se realizó según la Norma Técnica Peruana NTP 231.042. (3) Solidez del color a la luz: El ensayo de la prueba de solidez a la luz se realizó según la Norma Técnica Peruana NTP 231.007.

### 1.7.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**Tabla 1**

*Operacionalización de Variables*

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad/ Categoría
<b>Variable independiente</b> Teñido natural con cúrcuma ( <i>cúrcuma longa</i> )	Es el proceso donde el colorante obtenido del rizoma de la planta cúrcuma ( <i>cúrcuma longa</i> ), es transferido a la fibra, tomando en cuenta los factores de tinción (Relación planta/sustrato, Concentración de Mordiente, Temperatura de teñido y Tiempo de teñido), para la fijación del color (Katz, 2015).	Para el teñido natural de la fibra de alpaca, se tomó en cuenta los factores del proceso de teñido (Relación planta/sustrato, Concentración de Mordiente, Temperatura de teñido y Tiempo de teñido); para lo cual se hará uso de dos relaciones de planta/sustrato (9 y 18%), dos diferentes concentraciones de mordiente alumbre (1 y 3 g/L), a dos temperaturas de teñido (85 y 98 °C) y a dos tiempos diferentes de teñido (30 y 50 minutos); para determinar los parámetros óptimos de teñido con las rizomas de la cúrcuma.	Relación planta/sustrato	Gramos de rizoma de cúrcuma en función de gramos de hilo de alpaca (9%/ 1g y 18%/1g).	9 % 18 %
			Concentración de mordiente	Gramos de mordiente en función del volumen de baño de teñido.	1 g/L 3 g/L
			Temperatura de teñido	Grados centígrados del teñido.	85 °C 98 °C
			Tiempo teñido	Minutos que dura el teñido.	30 minutos 50 minutos
					5 – 4.5 = Muy Buena 4– 3.4 = Bueno 3 = Suficiente 2.3 – 2 = Regular 1.2 – 1 = Escasa
<b>Variable dependiente</b> Solidez de color	Es la resistencia de un material a cambiar en cualquiera de sus características de color y transferir su coloración a materiales adyacentes, o ambos como el resultado de la exposición del material a cualquier entorno que puede existir durante su procesamiento, análisis, almacenamiento y uso del material (Lockuan Lavado F. E., 2012)	Para determinar la solidez del color de las muestras teñidas se realizó tres pruebas de solidez, las más importantes en cuanto a las exigencias del usuario y el mercado, estas son las pruebas de solidez al lavado, la prueba de solidez al frote en seco y la prueba de solidez a la luz, para ello se hará uso de las normas técnicas peruanas (NTP 231.008, NTP 231.042, NTP 231.007), donde esta detallado el procedimiento estandarizado para dichas pruebas.	Solidez del color al lavado	Grado de pérdida y cambio de color del sustrato teñido.	5 – 4.5 = Muy Buena 4– 3.4 = Bueno 3 = Suficiente 2.3 – 2 = Regular 1.2 – 1 = Escasa
			Solidez del color al frote en seco	Grado de transferencia de color del sustrato teñido.	5 – 4.5 = Muy Buena 4– 3.4 = Bueno 3 = Suficiente 2.3 – 2 = Regular 1.2 – 1 = Escasa
			Solidez del color a la luz	Grado de degradación del color por la luz del sustrato teñido.	5 – 4.5 = Muy Buena 4– 3.4 = Bueno 3 = Suficiente 2.3 – 2 = Regular 1.2 – 1 = Escasa

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LA LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

##### 2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Md. Dulal Hosen, et al. (2021), en su artículo “Efecto del tinte de cúrcuma y los biomordantes en la coloración de la tela de algodón de punto: una alternativa prometedora al mordiente metálico”, su objetivo fue determinar el efecto del tinte de cúrcuma y los biomordantes en la coloración de la tela de algodón. En su metodología en primer lugar realizó el mordentado de algodón con 100 mL de jugo de limón, jugo de colocasia granel y mordientes metálicos; en segundo lugar realizó el teñido usando el colorante de cúrcuma al 1% para 6 g, a una temperatura de 90 °C y por 60 minutos. Los resultados dieron que al usar biomordientes el grado de solidez al frote en seco resulta 5 lo cual es excelente; respecto a la solidez del color al lavado, obtuvo resultados entre 4 – 4/5 lo cual también es excelente, lo contrario a los mordientes metálicos que están por debajo de 4. Por ende concluye que en las mismas condiciones de teñido los biomordientes muestran mejores resultados que los mordientes metálicos.

Singh & Sheikh (2020), en su estudio denominado “Teñido funcional más limpio de lana con tinte natural de *Kigelia africana* y *Terminalia chebula* con biomordiente”, cuyo objetivo fue explorar la combinación novedosa de los extractos de *Kigelia africana* (KAE) y *Terminalia chebula* (TCE) en el teñido de lana a diferentes concentraciones. Su metodología consistió en realizar pretratamiento de la lana con el biomordiente a concentraciones de 0, 1, 2 y 5 %, a temperatura de 90 °C durante 1 hora, seguido del teñido con el extracto de *Kigelia africana* a concentraciones de 10, 20 y 30 % a condiciones similares al pretratamiento. Los resultados que obtuvo fueron excelentes, con una intensidad del color mayor a 18 y una solidez del color (solidez al lavado, al frote y a la luz) óptima que oscila en un rango de 4 a 5. La lana teñida también mostró propiedades funcionales óptimas, es decir, una actividad antibacteriana mayor a 97 %, acción antioxidante más del 98 % y el factor de protección ultravioleta sobre el 50 %.

Vaca, et al. (2020), en su artículo titulado “Aplicación de diferentes tintes naturales para la obtención de hilo orgánico de lana de ovino”, con objetivo de evaluar tres tipos de tintes de origen natural (amaranto, remolacha y nogal verde) para el proceso de teñido de lana ovina (*Ovis aries*). El método utilizado se fundamentó en teñir 0.20 kg de hilo de lana de oveja a temperatura de 90 °C durante 30 minutos con tinte natural de amaranto, remolacha, nogal verde y tinte químico (tratamiento de control) a concentraciones de 53, 133, 53 y 53 g/L respectivamente, además utilizaron 30 g de piedra de alumbre como mordiente del teñido. Al comparar los resultados determinaron que no presentan diferencias significativas entre tratamientos para la variable de solidez a la luz; sin embargo, al tinturar el hilo de ovino con amaranto presenta valores de 3.60 de solidez similar a lo obtenido con tinte químico, así mismo, en la evaluación sensorial obtuvo mejores resultados en intensidad de color, tacto y blandura con puntajes de 4.80, 4.40 y 4.60 respectivamente.

Naveed et al., (2020), estudiaron la “Extracción y teñido de tela de algodón asistido por microondas con colorante natural mezclado de cáscara de granada (*Punica Granatum L.*) y rizoma de cúrcuma (*Cúrcuma Longa L.*)”, con el objetivo el extraer tintes naturales de la cáscara de la granada y curcumina bajo irradiación de microondas. Para el cual se optimizaron las variables de tintura con la finalidad de observar el efecto de la radiación en la fuerza del color, el teñido se llevó a cabo durante 20, 40, 50, 60 y 80 minutos, con temperaturas de 35, 45, 55, 65 y 75 °C y pH diferente como 5, 6, 7 y 8; además, se realizó pre y Postmordentado utilizando concentración de 2, 4, 6, 8 y 10 % de  $\text{CuSO}_4$  y cromato. La coloración resultante es de un tono amarillo, y a condiciones óptimas de: tiempo de teñido de 40 min, temperatura de 65 °C, pH 6 y 4 % de pre-mordiente  $\text{CuSO}_4$  y concentración post-mordiente de cromo al 8 %; las propiedades de la solidez del color al lavado, al frote y a la luz estuvieron en el rango de 4-5, 4-5 y 3-5 respectivamente.

Molla Tadesse, et al. (2019), en su artículo “Coloración y bioactivación de tejido de poliéster con curcumina en  $\text{CO}_2$  supercrítico: Parte II - Efecto de la concentración de tinte sobre el color y propiedades funcionales”; tuvo como objetivo; investigar el teñido ecológico y funcionalización de tejido de poliéster con tinte natural de curcumina en medio de dióxido de carbono supercrítico ( $\text{scCO}_2$ ), su metodología consistió en teñir tejido de poliéster con  $\text{CO}_2$  supercrítico, aplicando el polvo de curcumina directamente sobre el sustrato de poliéster sin el

uso de mordientes, y el proceso de tinción se llevó a una presión de 25 MPa, a una temperatura de 120 °C y por una hora, sus resultados muestran que la intensidad de color aumenta cuando la concentración de curcumina es alto; así también los teñidos muestran actividades antimicrobianas, antioxidantes y de protección UV requeridas, con aceptables solidez de color al lavado y al frote. Llego a la conclusión de que el tejido de poliéster se puede teñir en scCO<sub>2</sub> con el colorante natural curcumina sin pretratamiento del sustrato y uso de productos químicos auxiliares.

Mellizo Salinas (2018), con el título “Teñido de textiles de algodón con tinte vegetal de cúrcuma”, tuvo como objetivo; Establecer un proceso semi-industrial para teñir textiles de algodón, a partir de tintes de cúrcuma, en busca de una alternativa sostenible. Su procedimiento metodológico fue en primer lugar premordentar la tela con 6 g/L de alumbre, luego realizar el proceso de teñido con los siguientes parámetros (1) RB 1:40, concentración de colorante 8 %, mordiente 10 g/L a 60 °C por 45 minutos; (2) RB 1:40, concentración de colorante 8 %, mordiente 6 g/L a 100 °C por 45 minutos; (3) RB 1:40, concentración de colorante 8%, mordiente 10 g/L a 60 °C por 90 minutos; (4) RB 1:40, concentración de colorante 8 %, mordiente 6 g/L a 100 °C por 90 minutos. En los cuatro métodos fue muy baja la solidez de color, se presentaron resultados de 2,5 hacia abajo, lo que indica que el 50 % de color se perdió durante el lavado; sin embargo, se resalta que la fórmula que mejor solidez presentó fue la (4), las condiciones de temperatura a 100 °C y 90 minutos evidencian mejores resultados. Concluye que; para que el proceso de teñido sea más eficiente, los niveles de las variables; tiempo, temperatura y concentración de colorante se modifiquen, porque los métodos que tenían mayor tiempo y temperatura arrojaron mejor resultado en la solidez del color.

Arroyo Figueroa, et al. (2017), en su investigación “Evaluación de la estabilidad del color en el teñido de lana y algodón con extracto de cebolla morada (*allium cepa*)”, tuvo como objetivo; evaluar la estabilidad del color en el teñido de hilo de lana y tela de algodón con extracto de cáscara de cebolla morada, a través de pruebas de solidez del color. Su método se basó en teñir la fibra con tres diferentes concentraciones de extracto de cascara de cebolla morada (50, 75 y 100 %), usando como mordiente alumbre y a temperatura de ebullición por 30 minutos. Obtuvo como resultado que el teñido en algodón presentó la mayor estabilidad del color a comparación de la lana, el lavado a temperaturas altas de manera global fue la que más

afecto a las fibras. Las pruebas de luz artificial, frote en seco, ácidos y álcalis fueron las que menos afectaron a la lana y las pruebas de ácidos y álcalis, frote en seco y lavado doméstico fueron las que menos afectaron al algodón. Concluye que la lana tiene mayor retención del color después del teñido, pero no es estable, en cambio el algodón presenta una mayor estabilidad del color.

Obando Portillo (2013), en su investigación “Tintura alternativa en hilos de lana con colorantes naturales”, su objetivo fue; exhortar a la disminución de la contaminación ambiental mediante la utilización de colorantes naturales en los procesos de tintura de lana. Su método se basa en mordentar la lana con alumbre 4 g/L, crémor tártaro 2 g/L y sulfato de cobre 2 g/L, para después teñir la fibra con una gradiente de 1 °C/minutos. hasta la temperatura de ebullición con 1 kg de guarango, manzanilla, shanshi y nogal, obtuvo resultados favorables, en el teñido con guarango resulto tonos en la gama de los marrones, con la manzanilla tonos en la gama de los habanos, con el shanshi tonos grises, con nogal una gama de cafés con excelentes propiedades tintóreas como homogeneidad, excelente solidez al frote, a la luz y al lavado, concluye que el tiempo de agotamiento para los colorantes naturales es desde 1 hora hasta 1 hora con 45 minutos para que el colorante natural pueda reaccionar, y pueda obtenerse de un 80 % a un 90 % de agotamiento del colorante natural en la fibra.

### **2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES**

Mendoza Huamán (2018), denominado “evaluación del tipo y cantidad de mordiente en la intensidad de color y solidez al lavado del teñido de fibra de alpaca (*vicugna pacos*) con aliso (*alnus acuminata h.b.k*)”. Donde su objetivo fue evaluar el tipo y cantidad de mordiente en la intensidad de color y solidez al lavado del teñido de fibra de Alpaca (*Vicugna pacos*) con Aliso (*Alnus acuminata H.B.K*). Su metodología consistió en emplear 500 mL del baño tintóreo y 5 g de fibra de alpaca baby final, en el proceso de mordentado se empleó 2 g y 4 g de alumbre y bicarbonato de sodio. Llego al resultado de que existe efecto significativo ( $p < 0,05$ ), del tipo (A) y cantidad de mordiente (B) y la interacción del tipo y cantidad de mordiente (A\*B) en los parámetros de color. Concluye que los factores convenientes para el teñido de la fibra de alpaca con la planta aliso, estas son: dosis de mordiente 2 g/500 mL y utilizando el tipo de mordiente alumbre; de esta manera logro un producto de calidad, que dio como resultado en la intensidad

de color:  $L^* = 81,45$ ;  $a^* = 5,98$ ;  $b^* = 40,33$ ;  $C^* = 28,65$ ;  $H^* = 83,43$  y en la solidez al lavado obtuvo 4, lo cual es muy buena ya que se destiñe poco.

Soto Benito (2017), en su investigación “Evaluación del tiempo de ebullición en la intensidad de color y solidez a la luz del teñido de lana de ovino (*ovis aries*) con ayrampo (*berberis sp*)”. Donde su objetivo fue evaluar el efecto del tiempo de ebullición en la intensidad de color y solidez a la luz del teñido de lana de ovino (*Ovis aries*) con ayrampo (*Berberis sp*). Su metodología se consistió en usar agua destilada como fuente y suero de leche (constante) como mordiente, usando la corteza (floema) y el tallo (xilema) y a temperatura de ebullición en tiempos de 40 y 60 minutos. Llego al resultado, de que el teñido con la corteza (floema) de ayrampo a temperatura de ebullición por un tiempo de 40 minutos es más estable en la lana, mientras que para un tiempo de 60 minutos es menos estable y el teñido de la lana con el tallo (xilema) de ayrampo a 40 y 60 minutos es menos estable. Obtuvo ( $p < 0.05$ ) lo cual se interpreta que existe un efecto significativo del (1) ayrampo, (2) el tiempo de ebullición y (3) la interacción de ambas variables en la estabilidad del color. Concluyendo que la corteza (floema) de ayrampo es una alternativa de tecnología limpia en teñido en lana de ovino.

Hoyos Mallqui (2016), en su investigación “Evaluación de frutos de mío-mío (*cariaríá ruscifolia*) a distintos mordientes y parámetros de teñido en fibra de alpaca (*lama pacos*)”. Su objetivo fue evaluar los frutos de mío-mío (*cariaríá ruscifolia*) a distintos mordientes y parámetros de teñido en fibra de alpaca (*lama pacos*). Su metodología consistió en realizar ocho tratamientos con todas las combinaciones; en el cual, efectuó el premordentado con el ácido sulfúrico a 0.02 N y alumbre, el teñido se hizo a temperaturas de 80 °C y 90 °C, y a pH de 3.5 y 4.5; para luego realizar las pruebas de solidez a la luz, al lavado y al frote. En sus resultados obtuvo que; al premordentar con ácido sulfúrico a 0.02 N y teñir a pH 3.5 y a 90 °C de temperatura consiguió buena solidez a la luz y al lavado; en cambio, en el premordentado con alumbre y teñido a pH 3.5 y a 90 °C de temperatura, obtuvo la mejor solidez al frote. Concluyendo que el tratamiento 6 presenta una buena solidez al lavado y a la luz con un valor de 4.21 y 4.88, y el tratamiento 2 presenta alta solidez al frote con valor de 4.97.

Illa Ccarita & Tairo Huaita (2015), en su investigación “teñido de fibra de alpaca suri (*vicugna pacos*) con carmín de cochinilla (*dactylopius coccus*)”, donde su objetivo fue; Obtener teñido de fibra hilada de Alpaca Suri (*Vicugna pacos*) con carmín de cochinilla (*Dactylopius*

*coccus*). Su metodología consistió en teñir la fibra con dos parámetros de temperatura de 88 y 98 °C, parámetros de tiempo de 30 y 60 minutos y parámetros de relación de baño de 1/25 y 1/50 y usó 48 % de cochinilla con respecto al peso de la fibra. En sus resultados encontró que a temperatura de 98 °C con tiempos de 30 y 60 minutos y con una relación de baño de 1/25 y 1/50 se obtuvieron los cuatro mejores resultados de solidez a la luz. Concluyendo que la temperatura es un factor influyente en el teñido para obtener una buena solidez a la luz.

Luna Chávez (2015), con el título “Influencia de la temperatura en el teñido de fibras proteínicas (queratina) con hojas de nogal”. Tuvo como objetivo determinar la influencia de la temperatura en el teñido de fibras proteínicas (queratina) con hojas de nogal. Su método radica en realizar cinco corridas experimentales, donde en cada corrida realizó teñidos a temperaturas de 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 °C. En sus resultados indica que, a mayor temperatura, la intensidad del color es mayor y las tonalidades tienden a marrón amarillento a temperaturas menores de 60 °C mientras que sobre los 70 °C tienden a marrón rojizo. Concluye que la temperatura influye en la tonalidad de los colores del teñido de fibras proteínicas (queratina) con hojas de nogal.

Cavenago Benites & Córdova Valencia (2014), denominado “Estudio del efecto del pH y la concentración de mordiente en el teñido sobre sustrato de alpaca suri con colorantes naturales de estructura curcuminoide, xantófila y antroquinónica”. Tuvo como objetivo determinar el efecto del pH y de la concentración de mordiente alumbre para el teñido de la fibra proteica Alpaca Suri con tres tipos de colorantes naturales: de estructura Curcuminoide, Xantófila, y Antroquinónica; buscando obtener un hilado teñido con características de calidad conservadas y solideces de acuerdo a los estándares de las normas ISO y AATCC. Su método consistió en teñir la fibra de alpaca con tres tipos de colorantes dentro de ellos la curcumina, manipulando las variables de pH y concentración de mordiente de alumbre. Obteniendo los siguientes resultados: en la solidez al frote seco utilizando el colorante Globe Yellow 7 % con el detergente, dispersante y reductor mejora medio punto, y en el frote húmedo mejora 1 ½ punto; en la solidez a la luz se obtiene 1 la cual es mala y en la solidez al lavado en un patrón de lana se obtiene el grado más alto 5 y en el algodón el grado más bajo 2. Llego a la conclusión de que el pH causa efecto directamente en el matiz, el agotamiento del colorante es mejor en teñidos ácidos, la solidez al frote en seco en promedio es 4.5, la solidez al frote húmedo en

promedio es 3.4, la solidez al lavado en promedio es 4.5, la solidez a la Luz para Globe Yellow 7 % y Globobix EXL 3 % es 2 y la solidez a la Luz para Carmín Liquido K3 es 5.

### **2.1.3. ANTECEDENTES REGIONALES**

Nina Aguilar (2018), con la investigación “Obtención y caracterización del colorante natural a partir de la inflorescencia de collí (*Buddleja coriacea*) para su aplicación en el teñido de fibra de alpaca”. Tuvo por objetivo extraer y caracterizar el colorante natural de la Inflorescencia de Colli (*Buddleja coriacea*) para su aplicación en el teñido de la fibra de alpaca. Su método consistió en teñir 10 metros de hilado a temperaturas de 40, 60 y 84 °C, tiempos de 20, 30, 60 minutos y relación de baño 1/20, 1/30 y 1/40. Obtuvo los resultados de que el teñido con el colorante extraído con etanol al 75 % da un color café y con etanol al 45 % da un color amarillo a naranja; además, a temperatura 60°C y a un tiempo de 60 minutos dio la peor solidez del color, y a 84 °C por 60 minutos dio la mejor solidez del color. Llego a la conclusión que los parámetros de teñido que logro establecer para una buena impregnación del colorante hacia la fibra de alpaca, así como la solidez a la luz y solidez al lavado es a una temperatura agotamiento de 84 °C, a un tiempo de teñido de 60 minutos y a un pH óptimo de 4.5.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. COLORANTES**

Dentro de la industria textil; los colorantes son cualquier sustancia capaz de teñir y dar color a materiales textiles (fibra, hilado y tela); así mismo, este colorante y la fibra deben unirse con gran fuerza, de tal modo que no pierda su color ya sea ante la exposición física y/o química del material teñido (Dos Santos Afonso & Maier, 2013). En la antigüedad se utilizaban los vegetales y los minerales para teñir las prendas, que aún hoy en día se siguen usando por algunos artesanos (Mendez Angeles, 2019).

Para que un colorante funcione en su estructura química debe tener dos grupos funcionales: los grupos cromóforos son los responsables de la absorción de la luz y los grupos auxocromos son los responsables de la fijación al sustrato a teñir, es decir tiene la capacidad de fijar la molécula del colorante (Obando Portillo, 2013); los colorantes se dividen en colorantes sintéticos y colorantes naturales.

### **2.2.2. COLORANTES NATURALES**

Desde las civilizaciones antiguas hasta la mitad del siglo XIX, los teñidos se realizaban con colorantes naturales (Storey, 1989). El interés por dichos colorantes se redujo en el momento en que William Henry Perkin creó el primer colorante sintético, debido a este hecho entró en ruina las industrias de colorantes naturales (Lock Sing de Ugaz, 1997). Estos colorantes con algunas excepciones no son sustantivos, es decir, no tienen la suficiente capacidad de coloración por sí mismos, es por ellos que se deben usar en unión con los mordientes (Storey, 1989). Estos colorantes se clasifican según su origen en: colorantes de origen animal, vegetal y mineral sin ningún proceso químico; estos para poder teñir deben componerse de cromóforos y auxocromos, los cuales se encargan de la afinidad con la fibra (Cano Morales, 2007).

Gutiérrez Toledo (2005) y S. Yoshiko (1996) indican que los colorantes naturales se clasifican según su afinidad por la fibra en:

#### **a) Colorantes directos**

Están en el grupo de las antocianinas y carotenoides; estos son extraídos en una solución acuosa, se emplea directamente para teñir en caliente o frío, y se pueden usar ácidos y sales (Gutiérrez Toledo, 2005).

#### **b) Mordentados**

Estos colorantes requieren de un tratamiento con sales metálicas solubles que reaccionan con la fibra, ya que no pueden teñir por sí solas (Yoshiko, 1996).

#### **c) De reducción**

A estos colorantes se les adhiere una sustancia reductora, ya que los colorantes se localizan en el interior de los cuerpos animales o vegetales; lo que genera una solución incolora que se le administra a la fibra y luego mediante una oxidación aparece el color; por ejemplo, el añil (Yoshiko, 1996).

#### **d) Pigmentos**

Son polvos de minerales, no tienen un poder tintóreo y son insolubles, por lo cual se utilizan mezclados con otros compuestos, como el engrudo, cola, resina y caseína, donde se forma una pasta para pintar (Yoshiko, 1996).

### **2.2.3. COLORANTES VEGETALES**

Los colorantes naturales de origen vegetal son todas las plantas que producen colorantes, y se pueden extraer de varias partes de planta como; la corteza, raíces, semillas, flores, madera y hojas; usando un solvente ya sea agua, alcohol, etc. La extracción se puede realizar por fermentación, cocción, trituración, etc. (Guirola, 2010).

La cúrcuma (*cúrcuma longa*) está entre los colorantes vegetales y pertenece al grupo de curcuminoides, la cual se obtiene de soluciones acuosas y la extracción es usada directamente para teñir ya sea en un medio frío o caliente a veces con mordientes (Cano Morales, 2007).

#### **a) Curcuminoides**

La curcumina pertenece a la familia de los curcuminoides, pigmentos polifenólicos presentes en los rizomas de la planta tropical Cúrcuma (*Cúrcuma longa*). La curcumina es el principal polifenol presente junto a la desmetoxicurcumina, la bisdesmetoxicurcumina y la ciclocurcumina; juntas forman el complejo conocido como azafrán indio o amarillo natural y son responsables del color que presenta (González Albadalejo, et al., 2015). La curcumina posee grupos cromóforos, por tanto, existe degradación fotoquímica producida independientemente del entorno químico. La degradación fotoquímica a través de luz visible ocurre mediante especies reactivas de oxígeno producidas por la curcumina. Los curcuminoides extraídos arrojan un porcentaje de 75 % a 81 % de curcumina. Al cristalizar la curcumina en medio ácido da un polvo color amarillo y en medio básico-neutro color rojo, su punto de fusión de 183 °C, de densidad 1.28 g/cm<sup>3</sup> y es estable a pH ácidos pero inestable a pH básicos y neutros (González Albadalejo, et al., 2015).

### **2.2.4. CÚRCUMA (*cúrcuma longa*)**

#### **a) Definición**

La cúrcuma (*cúrcuma longa*) es una planta herbácea con propiedades medicinales; se le conoce como palillo en el Perú, en el mundo como azafrán de la india, rizoma de cúrcuma, raíz de cúrcuma, turmeric y en Cuba como yuquilla. La palabra cúrcuma deriva del término árabe kourkour, el cual significa azafrán (Lopez Cordova, 2017). En la Tabla 2 se describe la taxonomía de la cúrcuma.

## Figura 1

*Hoja, Flores y Rizomas de la Cúrcuma Longa.*



*Nota:* Los rizomas (tallos subterráneos).

*Fuente:* Mar Corona de la revista zona luz (2019).

### b) Clasificación Taxonómica

#### Tabla 2

*Descripción Taxonómica de la Cúrcuma*

Reino	plantae
Sub reino	tracheobionta
Supervisión	Spermatophyta
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Subclase	Zingiberidae
Orden	Zingiberales
Familia	Zingiberaceae
Genero	Cúrcuma
Especie	Cúrcuma longa L.

*Fuente:* Yongxiang (2006)

### **c) Aspectos Botánicos**

La cúrcuma (*cúrcuma longa*) es una especie vegetal perenne que crece hasta un metro de altura, sus rizomas son de color amarillo intenso variando a anaranjado por dentro y son aromáticos; sus hojas son delgadas, de forma lanceolada, tiene peciolo largos, alrededor de 40 a 80 cm y de color verde claro. Logran desarrollarse de 6 a 10 hojas desde un solo nudo, el limbo es elíptico, de 30 a 50 cm de largo y de 8 a 18 cm de ancho. Las flores son zigomorfas, son grandes y amarillas agrupadas en llamativas espigas basales (Clape, 2012). La Figura 1 muestra dicha especie vegetal.

### **d) Fenología y Reproducción**

Esta planta crece en un clima tropical o subtropical que brota sus raíces en suelos sueltos (drenados) y fértiles; las heladas podrían fácilmente quemar la parte aérea de la planta, la siembra se da por semillas o por rizomas a unos 30 cm entre planta. A esta especie se le puede encontrar en zonas áridas desde polinesia, Melanesia y Micronesia hasta el sudeste asiático; en el momento el cultivo se extiende a Liberia, Nigeria, Perú, Jamaica, Costa Rica y Guatemala, entre otros países (Lopez Cordova, 2017).

### **e) Rizomas de Cúrcuma (*Cúrcuma longa*)**

Los rizomas son los tallos subterráneos de la Cúrcuma (*Cúrcuma longa*), ver Figura 2, es aovado, periforme, de un rizoma parten otros alargados y cilíndricos; estos rizomas contienen la curcumina (ácido turmerico), que una vez deshidratados dan un color variando desde amarillo pálido a anaranjado; lo cual, es usado en la industria alimentaria como colorante por su alto poder tintóreo (Lopez Cordova, 2017). Según Angélica Serpa Guerra, docente investigadora de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB); afirma que, se logró desarrollar una suspensión que se pudiera usar como colorante, pero utilizando todo el rizoma, ello para evitar hacer procesos de extracción, ya que se conoce que el porcentaje de curcumina dentro del rizoma y es aproximadamente el 3 % (Agencia de Noticias UPB – Medellín, 2020).

## Figura 2

### Rizomas de la *Cúrcuma Longa*



*Nota:* El polvo de los rizomas (color amarillo).

Fuente: José Pineda T.S.U. en evaluación Ambiental (2020).

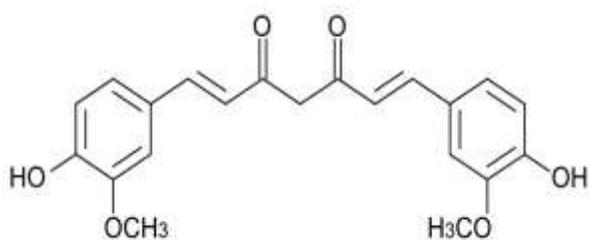
#### f) Composición Química de los rizomas

En el estudio fitoquímico del rizoma de la cúrcuma (*cúrcuma longa*) se ha demostrado la presencia de un grupo de compuestos fenólicos que son: los curcuminoides, demetoxicurcumina y bisdemetoxicurcumina (Saez, 2019) quienes son los encargados de dar el color amarillo de los rizomas de la cúrcuma (Rasmussen, 2000). En la Tabla 3, se detalla la composición química de los rizomas de cúrcuma.

La curcumina (ácido turmerico), es un compuesto colorante amarillo, insoluble en agua, soluble en alcohol y éter. La curcumina es inestable a pH básico, también ocurre una degradación extremadamente lenta a pH entre 1 y 7 (Martínez A. , Bernal , & Caceres, 2000). La Figura 3, muestra la estructura química de la cúrcuma.

## Figura 3

### Estructura Química de la Cúrcuma.



Fuente: Revista eureka, Heredia Santiago (2006)

**Tabla 3***Análisis Proximal por Cada 100 g de Rizoma Fresco de Cúrcuma*

COMPONENTE	CANTIDAD
Calorías	53
Agua	82.4 g
Proteína	4.1 g
Grasa	0.0. g
Carbohidratos totales	10.9 g
Fibra	1.2 g
Ceniza	2.6 g
Calcio	51 mg
Fosforo	111 mg
Caroteno	0.0 mg
Tiamina	0.15 mg
Riboflavina	0.21 mg
Niacina	1.1 mg
Ácido ascórbico	5 mg

Fuente: Revista Ecoparcela el Cacaotal (2014)

### **g) Hábitat**

Su origen se da en el sur de Asia, se cultiva hasta los 1200 msnm; en los países de Taiwán, Bengala, India, China, Perú, Ceilán, Pakistán, Nigeria, Costa Rica, Indonesia, Haití, Vietnam y Jamaica (Caceres, 1999).

Germina en suelos fértiles y sueltos, con gran contenido de humedad y bien drenado que permitan el crecimiento de los rizomas. La cúrcuma (*cúrcuma longa*) es una especie de clima tropical o subtropical, es frágil a las heladas, la siembra puede ser por medio de semillas o por la misma rizoma, el cual debe estar en buen estado (Chemonics, 2003).

### **2.2.5. TEÑIDO TEXTIL**

El teñido textil es un proceso químico; donde, los iones del colorante son difundidos en la fibra y/o los materiales textiles, con el propósito de darle color (Ojeda Brito, 2012). Para

realizar un excelente teñido depende de diferentes parámetros, estos son: temperatura, tiempo, colorante, mordiente, pH, relación de baño y la estructura de la fibra; así también, las condiciones en que se realiza dicho proceso. Una vez obtenidos los materiales teñidos pasan a ser evaluados mediante pruebas de solidez del color (Lockuan Lavado F. E., 2012).

#### **2.2.6. PROCESO DE TEÑIDO**

El proceso de teñido de fibras textiles; ya sea con colorantes naturales y artificiales, generalmente se efectúa en una solución acuosa llamado licor o baño de teñido. Cuando un proceso de teñido es realizado correctamente, la coloración es relativamente permanente; es decir, que la coloración en fibra no es removida fácilmente por agentes externos como la luz solar y el agua. El proceso de teñido se basa en la difusión del colorante en una fase líquida para llegar hasta la fibra, luego el colorante pasa a la fase sólida sobre la superficie de la fibra y por último el colorante se penetra en el interior de la fibra estableciendo enlaces para que pueda fijarse dentro de la fibra (Ojeda Brito, 2012).

#### **2.2.7. ETAPAS DEL PROCESO DE TEÑIDO DE LA FIBRA DE ALPACA**

En cualquier proceso de teñido las moléculas del colorante atraviesan por varias fases antes de quedar fusionada con la fibra (Ojeda Brito, 2012), ello se muestra en la Figura 4.

##### **a) Disgregación**

El colorante y los auxiliares se encuentran disueltos en el seno del baño tintóreo en sus formas simples, miscelares o formando agregados moleculares que son sometidos a equilibrios fisicoquímicos específicos; cuando se rompe este equilibrio se da la disgregación (Obando Portillo, 2013).

##### **b) Difusión del colorante en el baño/Convección**

La difusión se da cuando las moléculas del colorante se desplazan desde el seno del baño hasta las zonas cercanas a la superficie de la fibra debido a la presencia de gradientes de concentración; de igual forma sucede en una convección incitada por la misma velocidad de circulación del baño tintóreo en relación con el sustrato textil (Ojeda Brito, 2012).

### **c) Adsorción**

Es el contacto de la molécula del colorante con la superficie de la fibra y su penetración; es decir, que las moléculas del colorante son adsorbidas a partir de la superficie de la fibra por medio de interacciones, cuya intensidad depende de las relaciones de afinidad entre ambas estructuras (Ojeda Brito, 2012).

### **d) Difusión**

Es la etapa en el cual las moléculas del colorante que se encuentran en la superficie de la fibra comienzan a difundirse al interior de la estructura macromolecular compuesta por la fibra. Para la difusión del colorante existen ciertos factores que lo condicionan tal como la agregación del colorante, la estructura cristalina de las moléculas o el tamaño de los poros amorfos en la estructura molecular y el tipo de estructura de la fibra (Carvallo, 2000).

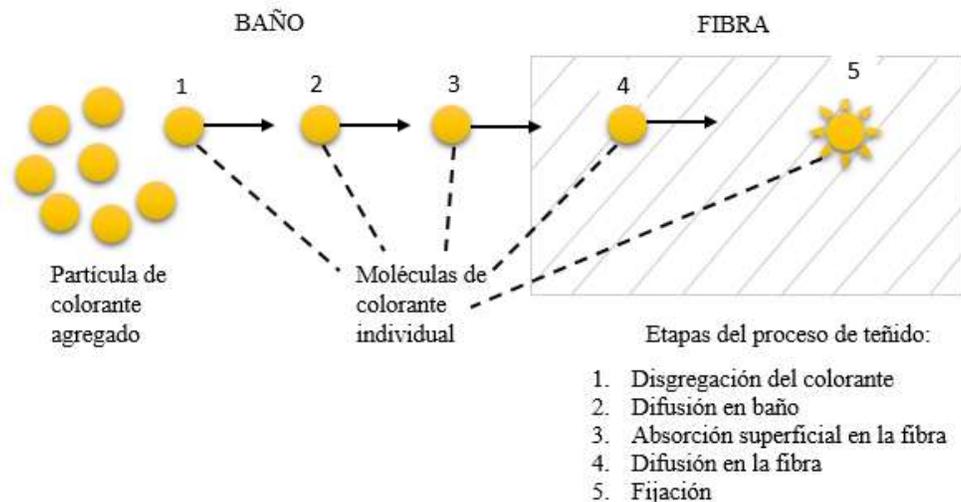
### **e) Fijación**

Es la última etapa donde se da el establecimiento de los enlaces de la fibra y el colorante estableciendo la fijación; para ello el proceso de teñido necesita algunas condiciones para que el colorante se impregne por completo en la fibra sin dañar su estructura interna, por consiguiente se da dos principios de tintura (Carvallo, 2000).

- Por afinidad entre colorante y fibra; donde el colorante pasa del baño de tintura a la fibra, hasta saturarla y permanecer fijado en ella.
- Por impregnación de la fibra; donde el colorante es absorbido por el material textil.

**Figura 4**

*Etapas de Proceso de Teñido*



*Nota:* Transferencia del colorante en la fibra.

Fuente: adaptado de Carvallo (2000)

## 2.2.8. PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE TEÑIDO

### a) Efecto de temperatura

La temperatura juega un papel muy importante en la cinética del teñido; un aumento de temperatura acelera el proceso de teñido, debido a que en los segmentos de las cadenas en las regiones amorfas de la fibra crea una mayor movilidad y de esta manera aumenta la aceptación del colorante (Costa, 2010). Es de suma importancia controlar la temperatura en el proceso de teñido ya que de ello depende la correcta igualación de los teñidos (Cegarra Sanchez, et al., 1981). Además, al aumentar la temperatura incrementa el grado de desorden en la fibra y la velocidad de adsorción aumenta, lo que facilita la penetración del colorante; pero, también crece la velocidad de desorción, por tanto, el agotamiento del baño se da a un tiempo fijo y a una temperatura óptima. Por otra lado, la elevación de la temperatura puede descomponer el colorante y destruir parcialmente la fibra (Marcano, 2018). Ponce de Leon Caceres & Valdivia Cardenas (2014) mencionan que el teñido de la lana debe iniciarse a 40 o 50 °C y que a partir de 60 °C la velocidad se incrementa sensiblemente con la temperatura.

### **b) Influencia del tiempo de contacto fibra y baño**

El tiempo es controlado desde el periodo inicial de calentamiento hasta el agotamiento del colorante, se requiere un tiempo prudente cuando el baño este a temperatura de ebullición para que el colorante penetre satisfactoriamente a la fibra y la migración del colorante sea homogénea; el tiempo normal para alcanzar esta etapa es de uno a dos horas, ya que los tiempos prolongados ocasionan la degradación de la fibra (Costa, 2010). Para el teñido de fibra de alpaca es importante que el tiempo este entre 20 minutos a una hora (Pazos, 2017).

Es el periodo de tiempo donde el colorante y la fibra interactúan accediendo la migración de las moléculas del colorante hacia la fibra; así también, es de suma importancia saber cuándo termina la difusión y en qué momento inicia la fijación (Cegarra Sanchez, et al., 1981).

### **c) Influencia de la afinidad del colorante**

La estructura molecular del colorante define la afinidad de esta con las fibras textiles; por ello se debe conocer la naturaleza química del colorante y de la fibra, para asignarle el tratamiento idóneo en el proceso de teñido (Cegarra Sanchez, et al.,1981). Debido a que los colorantes presentan diferentes grupos funcionales capaces de interaccionar con la fibra, es complicado presagiar la atracción que existe entre la fibra y las moléculas del colorante. El colorante y fibra poseen grupos capaces de interaccionar por atracción polar y no polar (Costa, 2010).

### **d) pH del baño tintóreo**

El pH del baño tintóreo influye bastante en la capacidad del proceso de teñido, en la intensidad y variación del color; debido a que el nivel de acidez, basicidad o neutralidad define el comportamiento del colorante. La disminución del pH reduce la reacción de la fibra y el colorante, pero aumenta la velocidad de agotamiento del baño (Cegarra Sanchez, et al., 1981). En fibras proteicas, la carga positiva de la fibra eleva la adsorción de ácido conforme el pH del baño disminuye (Costa, 2010).

### **e) Efectos de las sales**

Las sales generan un efecto igualante, debido a que al inicio de la tintura los aniones de la sal lidian con los aniones colorantes, de esta manera el agotamiento del baño es más lento; a

consecuencia disminuye la alta afinidad del colorante por la fibra, por ello es necesario tener en cuenta la dosis de sal más conveniente para la intensidad del teñido. Así también las bajas concentraciones de sal aumentan la difusión del colorante hacia la fibra, pero en concentraciones altas produce un efecto contrario (Cegarra Sanchez, et al., 1981).

#### **f) Relación de baño**

Es conocida como razón licor; es la relación entre el volumen del líquido y el peso del sustrato a teñir. Lo recomendable es emplear una relación de baño donde el sustrato a teñir este totalmente cubierta por el líquido para que de esta manera le brinde mayor movilidad (Cegarra Sanchez, et al., 1981).

#### **g) Influencia de movimiento fibra y baño**

La relación que existe en el movimiento relativo entre la fibra y el baño tintóreo influye directamente en la velocidad de teñido, ello se debe a que al existir una mayor agitación y circulación del baño el contacto aumenta entre la fibra y colorante. Por consiguiente, cuanto más se mueva el baño a través de la fibra, se reducirán los tiempos para alcanzar el equilibrio del sistema, es decir, lograr agotamientos altos, con elevados niveles de solidez e igualación (Cegarra Sanchez, et al., 1981).

#### **h) Mordentado**

El mordentado es la acción de agregar el mordiente en el agua junto con la fibra; el cual puede realizarse anterior o posterior al teñido y en pequeñas cantidades ya que podrían dañar a la fibra. En este proceso la sal se disgrega, y el metal queda como catión; el cual se une a la fibra textil y forma un complejo con la molécula del colorante. El metal determina la tonalidad final de la fibra (Paredes Martínez, 2002).

El mordentado puede realizarse durante, antes o después del teñido; esto implica agregar el mordiente en agua caliente junto con la fibra, la cual puede estar teñida o no (Pazos, 2017). Existen tres métodos:

**Método directo.** fue utilizado desde nuestros ancestros, es el método más simple y de mayor efecto; consiste en introducir el mordiente directamente al baño tintóreo junto a la fibra (Pazos, 2017). Este método es recomendable para las fibras proteicas (lana, pelo de alpaca, pelo

de llama, etc.), puesto que estas fibras poseen un alto grado de afinidad por los colorantes naturales (Marrone, 2014).

**Premordentado.** Este proceso se realiza previamente al teñido, preparando la fibra anticipadamente (Marrone, 2014). Como primera instancia se disuelve el mordiente en agua tibia, la cual contiene un mordiente en suficiente cantidad para que cubra a la fibra; luego se introduce la fibra sin teñir en dicha solución, posteriormente se deja calentar hasta el punto de ebullición (temperatura ideal 80 °C) agitando constantemente por un lapso de media a una hora (Pazos, 2017). Es necesario aplicar este método en caso de que se deba teñir fibras de origen celulósico como el algodón, bambú, lino, etc. (Marrone, 2014).

**Postmordentado.** este proceso consiste en colocar la fibra previamente teñida y/o Premordentado en la solución del agua tibia con un mordiente; la finalidad de este método es cambiar la tonalidad del color o reforzar la solidez al lavado (Pazos, 2017). Se usa generalmente para obtener colores secundarios, ya que se puede teñir una cantidad determinada de fibra y sumergirla en diferentes baños de mordiente (Marrone, 2014).

#### **i) Influencia de la calidad de agua**

Para garantizar un teñido correcto el agua debe reunir ciertas condiciones como: (1) ausencia de metales (cobre, magnesio y hierro), debido a que estos generan un color amarillento y perjudiciales en el blanqueo, (2) el agua debe ser blanda, porque las sales de calcio y magnesio producen aglomeraciones de colorante y precipitaciones y (3) que el agua tenga una elevada transparencia (Carvallo, 2000).

### **2.2.9. TRATAMIENTO PRE-TINTURA**

Previo al proceso de teñido, el material a teñirse deberá pasar por tratamientos como el lavado y blanqueado; donde se limpiará profundamente de las impurezas que pueda contener; como polvos, trazas de tierra y grasas (Costa, 2010).

#### **a) Lavado**

En los procesos textiles húmedos, las operaciones que se realizan con mayor frecuencia son los enjuagues y lavados. A menudo están conectados a tratamientos clave y su función es remover las materias insolubles del sustrato que pueden estar en emulsión o solución con otras impurezas; para ello, es muy importante el uso de tensoactivos (detergentes) en el lavado, de

esta manera acelerar la humectación del sustrato y facilitar la eliminación de la suciedad (Lockuan Lavado F. E., 2012).

#### **b) Blanqueado**

Se realiza el blanqueo para eliminar las impurezas del sustrato y obtener un grado de blanco, esto con la finalidad de homogenizar las variaciones no deseadas de tono en los teñidos. Los agentes utilizados son: el hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$ ) y el peróxido de hidrogeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), y los dos requieren la adición de hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) en el baño de blanqueo para conseguir un medio alcalino, lo cual favorece la formación del ion blanqueador (Lockuan Lavado F. E., 2012).

#### **2.2.10. MORDIENTES**

Un mordiente es una sustancia que puede ser de origen natural o sintético, que debe tener afinidad con el colorante y la fibra, es decir, que tenga la fuerza para fijar el colorante en la fibra, y que este sea uniforme y estable al color (Storey, 1989). En las antiguas civilizaciones se usaban cenizas, hojas de palta y corteza de nogal como mordiente, y en la actualidad se hace el uso del ácido cítrico, crémor tártaro y de sales que son solubles en agua como; alumbre, cobre, hierro y estaño; así mismo sirven para definir las tonalidades de color de los teñidos (Dos Santos Afonso & Maier, 2013).

#### **a) Sulfato de aluminio o alumbre**

Pizarro Losilla (2007), define al alumbre como un sulfato hidratado de aluminio y potasio cuya fórmula es  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12(\text{H}_2\text{O})$ . La piedra de alumbre es un mineral, sal a base de sulfato de potasio (Saez, 2019). Estos son capaces de fijar los colorantes sobre las fibras textiles sin dañarlas.

El mordiente sulfato de aluminio (alumbre) es la sustancia que presenta menos contaminación que los demás mordientes, pero con más poder de fijación del color en la fibra, es usado para teñidos de colores claros, se debe tener cuidado con la cantidad de alumbre que se deba usar ya que al excederse la cantidad, el hilo y/o la fibra quedaran pegajosas; se puede empezar con 250 g de alumbre por cada  $\frac{1}{2}$  kg de tela o hilo (Tintes Naturales, 2019).

**Características:** Es un mineral frágil y transparente, se encuentra en estado sólido, pero muy solubles en agua caliente y fácilmente alterables; muy poco frecuente en la naturaleza en estado puro (Pizarro Losilla, 2007).

**Composición:** Tiene la fórmula de  $KAl(SO_4)_{12}(H_2O)$  y su composición es S: 13,52 %, H<sub>2</sub>O: 45,53 %, H: 5,10 %, Al: 5,69 %, O: 67,45 %, K: 8,24 % (Saez, 2019).

#### **b) Crémor tártaro**

El crémor tártaro o Bitartrato de Potasio como se conoce comúnmente; es el producto de una neutralización parcial del Ácido Tartárico y es una sal ácida natural de ciertas frutas. El crémor tártaro se obtiene mediante procesamiento industrial del tratamiento de soluciones de ácido tartárico obtenidas en la fabricación de este ácido, o bien del procesamiento de argoles o costras obtenidas de las cubas de fermentación de vinos (Tecnología en Alimentos, 2021).

**Características:** Se presenta con un aspecto de polvo blanco, fino, y con sabor ligeramente ácido, es inodoro, poco soluble en agua y poco hidróscopio; tiene efectos estabilizadores en colores, posee la capacidad de preservación estable, es poco soluble en altas y bajas temperaturas (Tecnología en Alimentos, 2021).

**Composición:** El crémor tártaro es la sal ácida básica cuya fórmula es:  $K_2C_4H_4O_6$ , existe la presencia de arsénico menores a 1 ppm, cobre menor a 1 ppm, hierro menor a 10 ppm y cloruros 183 ppm máximo (Tecnología en Alimentos, 2021).

#### **c) Ácido cítrico**

Ácido cítrico (2-hidroxi-1,2,3- propanotricarboxílico) se puede considerar como un ácido orgánico natural, pero también se puede sintetizar en el laboratorio. Se logra encontrar en casi todos los tejidos animales y vegetales. Se muestra en forma de ácido de frutas como en limones, naranjas, lima, toronja, piña, ciruela, guisantes, melocotón; también en los huesos, músculos y sangre de animales (Muñoz Villa, et al., 2014).

**Características:** Físicamente es un polvo cristalino blanco que puede presentarse de manera anhidra o como monohidrato, considerado un triácido carboxílico y su densidad es de  $1665 \text{ kg/m}^3$ ;  $1,665 \text{ g/cm}^3$  (Muñoz Villa, et al., 2014).

**Composición:** tiene la siguiente composición C6-H8-O7 (carbono, hidrogeno y oxigeno).

## 2.2.11. MÁQUINA DE TEÑIDO

### a) Máquina de tinte para textiles Datacolor AHIBA IR

La Figura 5, muestra el equipo utilizado a nivel Laboratorio para la ejecución de las pruebas de teñido. Cuenta con calentamiento a través de lámparas infrarrojas y sistema de refrigerado mediante la salida de aire, en el interior contiene un sensor de temperatura. Para obtener resultados aceptables, una máquina de tintura debe seguir la curva programada con la mayor precisión posible, independientemente de la temperatura o la carga de recipientes; datacolor AHIBA maximiza la eficiencia de los laboratorios de teñido más exigentes (Ponce de Leon Caceres & Valdivia Cardenas, 2014).

### Figura 5

*Máquina de Teñido Datacolor AHIBA IR.*



*Nota:* Teñidor de muestras.

Fuente: Direct industry (2020)

## 2.2.12. ALPACA

Las alpacas pertenecen a la familia de mamíferos rumiantes del orden de los artiodáctilos, suborden tilopodos, que comprenden los géneros de camelus, lama y vicugna; de acuerdo a estudios con ADN mitocondrial, la alpaca (*Vicugna pacos*) deriva de la vicuña (*Vicugna vicugna*) y del guanaco (*Lama guanicoe*), luego de un proceso de domesticación que dio inicio en los andes centrales de Sudamérica hace 6000 años (Mencia, 2007).

La alpaca (*Vicugna pacos*), tiene una mayor existencia numérica entre los camélidos en el Perú y muy cotizada por la producción de fibra debido a su finura. Este animal tiene el cuello erguido y delgado, de dorso curvo, ojos grandes y vivaces, el hocicó puntiagudo y corto, extremidades esbeltas y un llamativo y finísimo pelaje; miden alrededor de 1.20 y 1.50 metros y pesan aproximadamente entre 45 y 79 kg; en cuanto a su fibra su rendimiento es de 70 % y se obtiene de 1.5 a 3 kg de fibra por alpaca esquilada (Cavenago Benites & Córdova Valencia , 2014). La fibra de alpaca en su composición tiene carbono, oxígeno, nitrógeno, hidrógeno y azufre; el porcentaje se muestra en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Composición Elemental de la Fibra de Alpaca*

COMPONENTE	%
Carbono	50
Oxígeno	20
Nitrógeno	18
Hidrógeno	7
Azufre	5

*Nota:* Fibra natural proteica.

Fuente: Adaptado de Díaz (2011).

En las alpacas existen dos razas: (1) la raza Huacaya, el cual presenta fibras finas, perpendiculares al cuerpo, de corta longitud y presenta ondulación; (2) la raza Suri, se caracteriza por poseer las fibras más finas que la raza Huacaya, agrupadas en mechales largas espirales y crecen paralelas al cuerpo (Brenes, Madrigal, Pérez , & Valladares, 2001).

La crianza de alpacas en el Perú está concentrada en la zona sur del país en unidades agropecuarias dispersas, a manos de pequeños productores con el 81.76 % de la población nacional (Cavenago Benites & Córdova Valencia , 2014). La distribución de la población nacional de alpacas se muestra en la Tabla 5.

**Tabla 5***Población Nacional de Alpacas por Regiones*

Regiones	Animales
Puno	1,459,903
Cuzco	545,459
Arequipa	468,392
Huancavelica	308,586
Ayacucho	230,910

Fuente: Adaptado de Censo Nacional Agropecuario CENAGRO (2012)

**2.2.13. FIBRA DE ALPACA**

La fibra de alpaca es una de las más lujosas a nivel mundial en el sector textil. Su pelo tiene una finura y dureza única, así como su capacidad térmica, su suavidad y resistencia haciéndola más exclusiva que otras fibras. La longitud de la fibra oscila entre 150 a 300 mm, con una finura de entre 15 a 26 micras (vellón) y de 35 a 50 micras (pelo). La densidad de la fibra es 1.31 g/cm<sup>3</sup> (Lockuan, 2013), presenta una gran diversidad de colores desde el blanco hasta los tonos grises a marrones y negro. En la composición química existe diferencia entre la fibra Suri y Huacaya, el aminoácido Cistina es el elemento que se encuentra en mayor proporción en la fibra Suri y la fibra Huacaya posee mayor contenido del aminoácido Arginina (Solis, 2010).

**2.2.14. CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA DE ALPACA****a) Características morfológicas de la fibra**

Cada fibra es segregada en un folículo piloso de la piel de la alpaca, bajo observación microscópica la superficie de la fibra se conforma por placas superpuestas llamadas escamas las que están direccionadas desde la raíz hacia la punta de la fibra; estas escamas son muy pequeñas y menos protuberantes, es decir con bordes sobresalientes (Rojas Tapia, 2011). El tejido cortical de la fibra de alpaca es la parte que recibe el tinte cuando la fibra es sometida a teñido (Cavenago Benites & Córdova Valencia, 2014).

## **b) Características químicas de la fibra**

La fibra de alpaca en su estructura contiene a la proteína compuesta de varios aminoácidos, lo que significa que su estructura depende de la buena salud de la alpaca; la proteína que lo compone es compleja llamada queratina, que es una proteína fibrosa, protectora y en gran medida insoluble (Escobedo Velando, 1999)

Norma Hollen en su libro describe que la queratina de las fibras proteicas contiene al carbono (50 %), hidrogeno (7 %), oxígeno (23 %), nitrógeno (17 %) y azufre (3 %) en su composición química (Hollen, 2002). La fibra de alpaca se diferencia por tener un mayor contenido de azufre 4.19 % (Cavenago Benites & Córdova Valencia , 2014).

### **2.2.15. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA FIBRA DE ALPACA**

#### **a) Finura**

Para Bustinza la finura de la fibra de alpaca es su característica métrica más significativa el cual se expresa en micrómetros o micras ( $\mu\text{m}$ ), afecta e influye mucho en su valor industrial (Bustinza Choque, 2001). Esta propiedad determina el tipo de hilado que se pueda transformar en las líneas de hilatura. La finura de la fibra de alpaca varía de acuerdo a la edad del animal, la raza y de la ubicación corporal del animal de donde proviene la fibra (Sobero, 1996).

#### **b) Longitud**

La longitud de fibra y la longitud de mecha tienen un rol importante como factor de calidad, debido a que estas características condescienden clasificar si es idónea para el proceso textil en el sistema de peinado o en el cardado para la hilatura (Bustinza Choque, 2001). La longitud es muy importante en el proceso de hilado, del mismo modo en la propiedad mecánica de los productos manufacturados (hilo y tela), los hilos son más finos y sólidos a medida que la fibra es más larga (Sobero, 1996). La longitud de mecha del vellón de la alpaca, en la raza Suri, es más larga que en la Huacaya (Bustinza Choque, 2001).

#### **c) Brillo o lustre**

Esta propiedad varía de acuerdo a la raza de la alpaca; la raza Huacaya tiene un lustre de plata similar a las lanas medias, a diferencia de la raza Suri que posee un lustre de oro semejante al mohair; esta propiedad es consecuencia de la refracción de la luz sobre la superficie libre de

las células cuticulares de la fibra (escamas presentes en las fibras a base de queratina), y brindan diferentes grados de brillo, fenómeno al que se le llama lustre (Bustinza Choque, 2001).

#### **d) Resistencia**

La resistencia de la fibra juega un papel muy importante en proceso de hilado, ya que la resistencia del hilado depende del mismo. La resistencia significa que una fibra tiene la capacidad de resistirse a la rotura por tracción al ser aplicada a una determinada fuerza y se mide en gramos por fuerza (Quispe, 2011). La resistencia en promedio es mayor en la fibra Huacaya que en la fibra Suri (Bustinza Choque, 2001).

#### **e) Elongación o elasticidad**

La elongación o elasticidad es la mayor longitud en que una fibra pueda ser estirada al someterla a una determinada fuerza, después de ello pueda recuperar su estado inicial; la elasticidad es mayor en la fibra de la alpaca Huacaya que en la raza suri (Quispe, 2011).

#### **f) Conductividad térmica**

Esta propiedad refiere a la capacidad que tienen las fibras de retener el calor, por ello las personas que utilicen prendas tejidos de hilo de alpaca tienen la sensación de calor; esto se da por la presencia de modulación y micro sacos de aire en la fibra que actúan como un buen aislante térmico, también hacen que las prendas sean más ligeras de peso (Quispe, 2011).

#### **g) Higroscopicidad**

Es la capacidad de la fibra de absorber vapor de agua en un ambiente húmedo y perder en una seca, siendo capaz de absorber agua hasta un 50 % de su peso, lo que significa que tiene un 50 % de higroscopicidad, lo cual está directamente relacionado con el comportamiento de la fibra en los procesos de teñido y acabado (Zarate Zavaleta, 2012). La fibra de la alpaca Huacaya es más higroscópica que la fibra de la alpaca Suri (Quispe, 2011).

#### **h) Rendimiento**

El rendimiento se efectúa posterior a la separación de impurezas y del lavado; por tanto el rendimiento del vellón de alpaca está entre un 80 % y 90 % (Quispe, 2011).

### **i) Inflamabilidad**

La fibra de alpaca no tiene inflamabilidad, es decir no combustiona sino está en contacto directo con el fuego (Asociación Civil Alpaca del Perú, 2021).

### **j) Encogimiento**

Las prendas de fibra de alpaca pueden encogerse cuando se expone al calor, agua tibia o agua de temperaturas cambiantes; así mismo, la fricción puede hacer que se fieltre y pierda su forma (Barlau, 2021).

### **k) Rizamiento u ondulación**

Es una característica de las fibras finas, son útiles para la selección y mejoramiento de las alpacas. El diámetro de la fibra está directamente correlacionado con las fibras rizadas y sus cualidades textiles son mayores de las no rizadas, debido a su capacidad de elasticidad y torsión durante el hilado (Zarate Zavaleta, 2012).

### **l) Afieltramiento**

“La fibra de alpaca tiene una menor tendencia al afieltramiento si es que la comparamos con la lana y otras fibras animales” (Asociación Civil Alpaca del Perú, 2021).

## **2.2.16. PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA FIBRA DE ALPACA**

### **a) Acción del agua en la fibra**

Los enlaces de hidrogeno junto con los enlaces iónicos entre los grupos terminales de aminoácidos ácidos (COO-) y básicos (NH<sub>3</sub><sup>+</sup>) de las cadenas laterales, ayudan a estabilizar la estructura de la queratina seca; a medida que la queratina va absorbiendo agua (hasta un 34 % de su peso en seco) ambos tipos de enlaces se van rompiendo. Asimismo, los enlaces hidrofóbicos entre cadenas tienen lugar solamente en presencia de un exceso contenido de agua, mientras que los enlaces disulfuro no se ven afectado por la presencia de agua (Rosas Espejo, 2010). En un medio acuoso la fibra proteica es más susceptible al daño químico, debido a la posible ionización de las cadenas proteicas y de esta manera atraer pequeñas moléculas de álcalis y ácidos; teniendo en cuenta que los medios alcalinos son más dañinos que los medios ácidos para la fibra proteica (Cegarra Sanchez, 1997).

#### **b) Acción de los álcalis en la fibra**

Los álcalis funcionan primordialmente sobre la queratina hidrolizando la cadena polipeptídica, atacando cualquier resto aminoácido y creando nuevos enlaces transversales (Gacén Guillen, 1989). La reacción del álcali con los enlaces disulfuro hace que las proteínas que contienen cistina sean sensibles (Rosas Espejo, 2010). La fibra proteica al estar en un medio alcalino pierde resistencia, tiende a ser amarillo, es más áspero al tacto, devaluándose su calidad comercial; y es por ello, que se deben controlar las condiciones de todos los procesos en medio alcalino (Cegarra Sanchez, 1997). Los álcalis fuertes como el hidróxido de sodio en solución al 5 % destruyen por completo la fibra proteica (Ponce de Leon Caceres & Valdivia Cardenas, 2014).

#### **c) Acción de las sales metálicas sobre la fibra**

Las fibras proteicas al ser sometidas en soluciones de sales metálicas, tienden a formar sales básicas, tales como el sulfato de aluminio, sulfato ferroso y sulfato de cromo. A una temperatura de ebullición se descomponen estas sales con formación de hidróxido metálico y una sal básica que se impregna en los poros de la fibra quedando libre en la solución del ácido mineral (Rosas Espejo, 2010).

#### **d) Acción de parafinado en el hilado**

Es importante considerar el contenido de aceite del parafinado, ya que puede dificultar y ocasionar problemas en el bobinado y en la tintura de los hilados obstruyendo la difusión del colorante (Lockuán Lavado, 2012).

#### **e) Acción de suavizantes en el hilado**

Los agentes suavizantes aplicados al hilado de alpaca son higroscópicos o lubricantes, que facilitan el deslizamiento de la fibra dentro de la estructura del hilo, facilitando la deformación y el arrugado (Lockuan Lavado F. , 2012).

### **2.2.17. SUSTRATOS DE LA FIBRA DE ALPACA**

Es el material destinado a teñir, que pueden presentarse como fibras, hilos, tejidos o incluso prendas.

### **a) Fibras**

Son un conjunto de filamentos o hebras susceptibles de ser usados para formar hilos. Los factores que influyen en el teñido son: Tipo, estructura química, grado de blancura, madurez (en el caso del algodón) y afinidad por el colorante (Hollen, 2002).

### **b) Hilos**

Los hilos son la transformación de la fibra de alpaca en hebras largas y resistentes, el proceso consiste en el lavado, cardado, peinado e hilado (retorcer los filamentos) de la fibra; los hilos pueden estar compuestos por varios cabos según el título del hilo. Los factores que influyen en el teñido son: Intensidad de torsión, pilosidad, presencia de impurezas (Lockuán Lavado, 2012).

### **c) Tejidos**

Existen dos tipos de tejidos: (1) tejido plano que se caracteriza por el entrelazamiento de los hilos en dos direcciones: una vertical llamado urdimbre y la otra horizontal llamado trama, y este entrelazamiento forma una tela, dicho entrelazamiento es transformado en un telar ya sea artesanal o industrial; (2) tejido punto que se caracteriza por el entrelazamiento de los hilos en forma de mallas para formar una tela que es elástica, pueden ser tejidos a mano y/o en máquina (rectilínea y/o circular). Los factores que influyen en el teñido son: Tipo de tejido, factor de cobertura, densidad de hilos o mallas (Hollen, 2002).

## **2.2.18. SOLIDEZ DEL COLOR**

La solidez de color es la resistencia de un material teñido a perder o cambiar su color, debido al hecho de ser sometido a diversos agentes y acciones del exterior, en consecuencia, se da la degradación del color y la transferencia sobre otros textiles (Vicente Alonso, 2015).

La American Association of Textile Chemists and Colorists (AATCC) define a la solidez del color como, “la firmeza de un sustrato textil a cambiar en sus propiedades de color como; perder el color frente a las causas exteriores y su transferencia de color frente a otros materiales, debido al uso, análisis y procesamiento” (Lockuan Lavado F. E., 2012, pág. 149). Para determinar la solidez de color se realizan varias pruebas, los más importantes son; solidez al lavado, solidez al frote y solidez a la luz, los procedimientos para estas pruebas están establecidas en las Normas Técnicas Peruanas (NTP) y en las normas AATCC.

### **a) Solidez al lavado**

El ensayo de la solidez al lavado consiste en que la muestra sea agitada mecánicamente junto con una muestra testigo de color blanco de preferencia algodón, en una solución de agua blanda con detergente y/o jabón, teniendo en cuenta el tiempo y la temperatura establecida, luego se procede con el enjuague y el secado. Al final del ensayo con el instrumento de la escala de grises son evaluados el cambio de tono de la muestra original y el nivel de manchado de la muestra testigo respecto a su color blanco inicial (Costa, 2010). El método de lavado ya sea convencional o en lavandería industrial, depende principalmente de la fibra y del tipo de tejido que tiene una tela o prenda de vestir (Obando Portillo, 2013).

Según la Norma Técnica Peruana NTP 231.008 esta prueba consiste en determinar el cambio de color y la transferencia del mismo que se efectúa de una muestra de tejido sobre tejidos testigos blancos en solución de jabón. El cambio y transferencia de color se compara con la escala Grises correspondiente (INACAL, 2019).

### **b) Solidez al frote**

El ensayo de solidez al frote determina el grado de transferencia de color de las muestras teñidas a otros sustratos a la acción del frote (Lockuan Lavado F. E., 2012). Los teñidos con una baja solidez al frote ocasionan la transferencia de color (manchado) a los materiales con los que estén en contacto, básicamente materiales sin tinte o de tonos bajos durante el uso o lavado del consumidor (Obando Portillo, 2013).

Según la Norma Técnica Peruana NTP 231.042 esta prueba se realiza en condiciones controladas, se frota una nueva muestra de tejido artesanal con un tejido blanco (tela blanca de algodón). Se hace dos ensayos, uno frotando con un testigo seco y otro con un tejido testigo húmedo (INACAL, 2019).

### **c) Solidez a la luz**

La solidez a la luz es la resistencia de un sustrato teñido al cambio del color, debido a la exposición de la luz solar o a la luz artificial. Los materiales textiles teñidos en el transcurso de su uso están expuestas a la exposición de la luz solar, la cual ocasiona la degradación del color (Costa, 2010).

Según la Norma Técnica Peruana NTP 231.007 esta prueba consiste en exponer la muestra del tejido artesanal a la luz solar durante 12 horas, a razón de 4 horas diarias, bajo condiciones determinadas, protegida de la lluvia (INACAL, 2019).

### **2.2.19. ESCALA DE GRISES DE COMPARACIÓN**

Para evaluar el cambio o pérdida de color se emplea la escala de grises para cambio de color que está dado por la NTP 231.005 y en caso del manchado o transferencia de color se emplea la escala de grises para descarga señalado en la NTP 231.004 (Obando Portillo, 2013).

La escala de grises es una lámina de cartón que se basa de cinco pares de muestras elaboradas con material opaco de color gris que ejercen para evaluar las disimilitudes de color percibidas y están clasificadas en los siguientes valores de 5, 4, 3, 2, 1, de excelente a pobre según corresponda su solidez. En esta escala también puede ubicarse puntos intermedios de acuerdo a la diferencia de color percibidas; por ejemplo: 4.5, 3.5, 2.5, 1.5, a esta escala se le conoce como la escala de nueve puntos por contener las cinco notas y las cuatro intermedias (Costa, 2010).

La evaluación de las muestras se realiza visualmente teniendo como referencia la escala de gris apropiada y también que la muestra original teñida y la muestra donde se realizó la prueba estén orientados en la misma dirección (Lockuan Lavado F. E., 2012).

Según la norma técnica peruana 231.004 la valoración de la escala de grises se clasifica de la siguiente manera:

- Calificación aceptable en escala de grises:
  - (5 – 4.5) = Muy Buena.
  - (4 – 3.4) = Bueno.
  - (3) = Suficiente.
- Calificación no aceptable en escala de grises:
  - (2.3 – 2) = Regular.
  - (1.2 – 1) = Escasa.

### a) Evaluación de la diferencia de color (AE\*) en el sistema CIELAB mediante espectrofotómetro

El sistema de evaluación del color CIELAB también es una técnica para evaluar la solidez del color, que se utiliza normalmente con mayor frecuencia para establecer las tolerancias una vez que se han establecido los límites de tono: intensidad del color y claridad. La búsqueda de un espacio de color uniforme también tiene por objeto permitir la evaluación de diferencias de color a través de la medición de distancia geométrica que separa los puntos de color dentro de un espacio; todo se realiza mediante el equipo espectrofotómetro (Lockuan Lavado F. E., 2012).

### 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- **Mordiente:** Es una sustancia que tiene la capacidad para fijar el colorante en la fibra, y que este sea uniforme y estable al color (Dos santos y Maier, 1992).
- **Rizomas de cúrcuma (*cúrcuma longa*):** Tallo subterráneo de la cúrcuma que crece horizontalmente (Cordova, 2017).
- **Curcumina:** colorante natural que procede de los rizomas de la cúrcuma (Cordova, 2017).
- **Escala de grises:** Es una escala empleada en la imagen digital en la que el valor de cada píxel posee un valor equivalente a una graduación de gris, sirve para determinar la solides de color de un material textil (Costa, 2010).
- **Fibra:** Es un conjunto de filamentos o hebras dispuestos de ser usados para formar hilos (Luckuan, 2013).
- **Tela testigo:** Es la tela que se usará para la prueba de solidez al frote, la cual es de algodón (Lockuan Lavado F. E., 2012).
- **Multifibra:** Es un tejido normalizado para evaluar la transferencia de color de materiales textiles, presenta zonas de urdimbres diferenciadas por su composición (Lockuan Lavado F. E., 2012).
- **Huacaya:** Una raza de alpaca, el cual tiene una fibra similar a los ovinos de raza merino (Lockuan, 2013).
- **Teñido:** Proceso químico donde un colorante es fijado en los textiles y otros materiales, con el fin de darle un color al material textil (Costa, 2010).

- **Curva de teñido:** Es un gráfico en 2D de temperatura vs. tiempo, en el cual se refleja todo el proceso de teñido y/o lavado con sus respectivos parámetros, son usados en las plantas tintoreras (Lockuan Lavado F. E., 2012).
- **Solidez del color:** Resistencia que tiene un material textil teñido a su color, al momento de exponer a factores externos (Lockuan Lavado F. E., 2012).
- **Relación de baño:** Es la relación que existe entre la cantidad de hilado que se va teñir y el baño tintóreo utilizado (Costa, 2010).

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La ejecución de la parte experimental del presente trabajo de investigación se desarrolló en los siguientes lugares:

- **Laboratorio de control de calidad del CITE Textil Camélidos Arequipa**, ubicado en la calle 3 Mz. I' Lt. 4 I Etapa Parque Industrial de Río Seco, distrito de Cerro Colorado - Arequipa, donde se llevó a cabo la extracción de colorante, el teñido de las muestras y la evaluación de la solidez del color al lavado, al frote en seco y a la luz.

**Figura 6**

*Mapa de Arequipa, Ubicación del Lugar de Ejecución*



Fuente: Adaptado de google Maps y Mapas del Perú (2021)

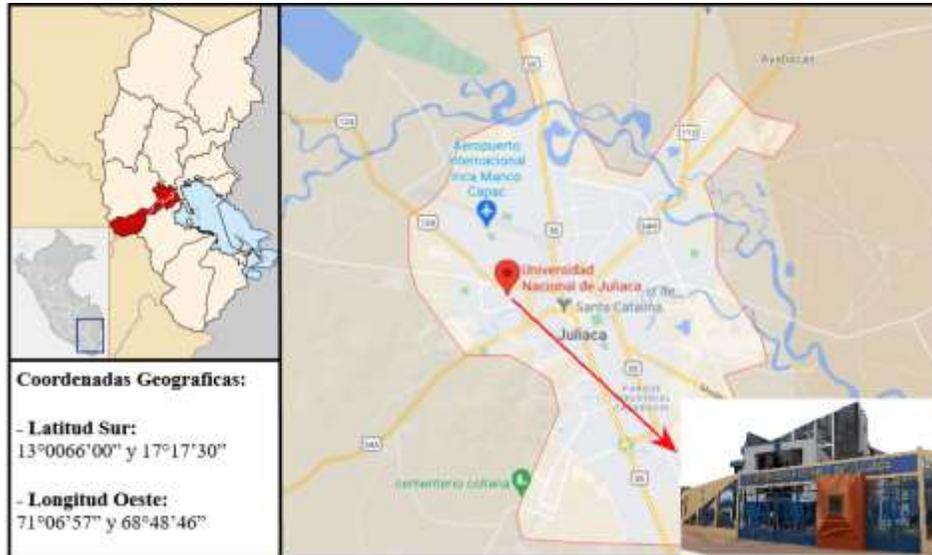
#### Datos geográficos:

- Altitud: 2328 msnm
- Temperatura ambiente media: 14.5 a 25 °C
- Humedad relativa: 27 a 70 %
- Radiación solar: 850 a 950 W/m<sup>2</sup>

- **Laboratorio físico textil de la escuela profesional de Ingeniería Textil y de Confecciones de la Universidad Nacional de Juliaca**, ubicado en el Jr. Manco Inca Urb. La Capilla, Juliaca; donde se desarrolló la clasificación, deshidratación y triturado del colorante de la cúrcuma (*cúrcuma longa*).

### Figura 7

Mapa de Juliaca, Ubicación del Lugar de Ejecución



Fuente: Adaptado de google Maps y Mapas del Perú (2021)

#### Datos geográficos:

- Altitud: 2824 msnm
- Temperatura ambiente media: - 4 a 18.08 °C
- Humedad relativa: 56.7 %
- Radiación solar: 7,087 kWh/m<sup>2</sup>/día.

### 3.2. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de tipo experimental, cuyo propósito es manipular deliberadamente una o más variables independientes para estudiar sus efectos (Hernández Sampieri, et al., 2014). “El experimento es un procedimiento riguroso usado para comprobar hipótesis causales, mediante la manipulación de variables independientes” (Vara Horna, 2012); en tal sentido se manipuló las dimensiones de la variable independiente teniendo el control total sobre estos para obtener una alta solidez del color al lavado, al frote en seco y a la luz. Según su

propósito es una investigación básica, ya que sirve como cimiento a la investigación aplicada o tecnológica (Ñaupas Paita , et al., 2014).

El nivel de investigación es explicativo, cuyo propósito es “explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables” (Hernández Sampieri, et al., 2014), donde se explica los efectos en la solidez del color del teñido del hilado de alpaca manipulando las variables independientes.

#### **a) Enfoque de la investigación**

El enfoque de la investigación es cuantitativo, debido a que la recolección de datos para probar la hipótesis se basa en la medición numérica y el análisis estadístico (Hernández Sampieri, et al., 2014).

#### **b) Método de investigación**

El método de la presente investigación es hipotético-inductivo; el cual parte de la observación y experimentación de fenómenos particulares, para establecer relaciones y explicaciones generales (Martínez Ruiz, 2012), en tal sentido, en la presente investigación se realizó la experimentación del efecto de cuatro factores de teñido (Relación planta/sustrato, Concentración de Mordiente, Temperatura de teñido y Tiempo de teñido) en la solidez del color al lavado, al frote en seco y a la luz solar.

### **3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.3.1. POBLACIÓN**

Para la presente investigación, la población en estudio fue la longitud de hilado producida en la comunidad de Conduriri en el año 2020; los teñidos fueron realizados en dicho material de acuerdo al diseño experimental de la investigación. Así también, para la obtención del colorante, se consideró la población de la planta herbácea cúrcuma (*cúrcuma longa*) específicamente los rizomas de dicha planta.

#### **a) Criterios de selección de inclusión:**

- Hilados de fibra de alpaca Huacaya color blanco
- Hilado de dos cabos y elaborado artesanalmente
- Rizomas de cúrcuma en estado maduro

- Rizomas de cúrcuma de mayor tamaño

**b) Criterios de selección de exclusión:**

- Hilados de fibras sintéticos y/o celulósicos
- Hilado de color diferente al blanco
- Hilados de titulación muy gruesa y con canas
- Rizomas de cúrcuma dañadas y malogradas

### **3.3.2. MUESTRA**

**a) Tipo de muestreo**

El muestreo es de tipo no probabilístico de selección intencional, se realizó considerando el conocimiento y los criterios de quien efectúa la investigación; el criterio de selección intencional se adecúa a la naturaleza y los objetivos de la investigación (Vara Horna, 2012). Por tanto, para la ejecución de los experimentos se tomó una muestra de 10 kg de hilado de alpaca artesanal de una asociación de artesanos de la comunidad de Conduriri, Puno; dicha cantidad se dividió en pequeñas madejas de hilado de 40 metros de longitud, con un peso promedio de 7 a 8 gramos, de los cuales para la experimentación se estableció aleatoriamente 38 madejas (unidades) de hilado de acuerdo al diseño de experimentos.

**b) Tamaño de la muestra**

Se calculó el tamaño de muestra según el diseño experimental, tomando en cuenta los factores y los niveles de la variable independiente. Para poder determinar el efecto de la relación planta/sustrato, concentración de mordiente, temperatura y tiempo del teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) en la solidez del color del hilado de alpaca, se utilizó el diseño experimental factorial completo  $2^4$  con puntos centrales; teniendo cuatro factores con dos niveles lo cual resulta 16 tratamientos con dos replicas más seis puntos centrales haciendo un total de 38 tratamientos, por ende, se tomaron 38 muestras de madejas (unidades) de hilado de alpaca para la experimentación, lo cual se detalla en la Tabla 6.

**Tabla 6**

*Tamaño de Muestra Según el Diseño de Experimento Factorial*

Pruebas de solidez del color	Nº de tratamientos	Nº de repeticiones	Nº de puntos centrales	Total
Solidez al lavado, al frote en seco y a la luz	16	2	6	38

*Nota:* A cada muestra se le hizo los tres ensayos de solidez del color.

Fuente: Elaboración propia

**c) Características de la muestra**

- Muestras de hilado de fibra de alpaca Huacaya color blanco.
- Muestras de hilado de titulación media y de dos cabos.
- Muestras de hilado en madejas con un peso promedio 7 a 8 g y una longitud de 40 metros, el cálculo se muestra en la Tabla 8.
- Muestras de hilado lavadas con detergente textil.

**3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

**3.4.1. TÉCNICAS**

- **Observacional experimental:** es una técnica que procesa datos en condiciones relativamente controladas por el investigador; particularmente porque éste puede manipular la o las variables (Vara Horna, 2012). En la presente investigación se realizó la experimentación del teñido de hilado de alpaca con cúrcuma (*cúrcuma longa*), donde se manipulo los parámetros de teñido para obtener una alta solidez del color.

**3.4.2. INSTRUMENTOS**

En la investigación se determinó el efecto del teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) en la solidez del color; por esta razón para la evaluación de la solidez del color al lavado, al frote en seco y a la luz se utilizó la escala de grises de cambio de color y la escala de grises de transferencia de color que están dadas por las Normas Técnicas Peruanas. A continuación, para el registro de los datos se usó una hoja o ficha de registros.

**Hoja o ficha de registros:** esta ficha de registros esta dado de acuerdo al diseño de la investigación, donde se registró los datos de cada experimento, así como la interacción de los

parámetros de teñido; asimismo se registraron los resultados obtenidos de las pruebas de solidez del color que fueron evaluados con la escala de grises según Normas Técnicas Peruanas dadas por INACAL.

**Validación y confiabilidad del instrumento:** El instrumento ficha de registros fue validado por juicio de expertos en el área de teñidos e investigación, obteniéndose un puntaje promedio de 18.13, lo cual significa que la ficha de registro para la recolección de los datos de solidez del color al lavado, al frote en seco y a la luz es válido y aplicable en la presente investigación. Para el análisis de la confiabilidad del instrumento se realizó pruebas piloto; se ejecutó el teñido de 12 muestras de hilado de alpaca y se evaluó la solidez del color al lavado, al frote en seco y a la luz. Luego se analizó la confiabilidad con el Alfa de Cronbach en el paquete estadístico Minitab 19, el cual resulta 0.787; ello significa que el instrumento tiene una excelente confiabilidad, donde los resultados obtenidos responden al propósito de la investigación.

### **3.5. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS**

#### **3.5.1. SUSTRATO TEXTIL Y MATERIAL DE TEÑIDO**

**Hilo de alpaca:** Se utilizó hilo de alpaca Huacaya color blanco de título Nm 6/2, se adquirió 10 kg de hilado en el mes de diciembre del 2020, de una asociación de artesanos de la comunidad de Coduriri, provincia del Collao, región Puno.

**Rizomas de cúrcuma (*cúrcuma longa*):** Los rizomas fueron recolectados en el mes de agosto del 2020; ya que en dicho mes los rizomas alcanzan su madurez óptima y la producción es alta. Dichos rizomas se recolectaron del distrito San Juan del oro, provincia de Sandía, región Puno.

#### **3.5.2. EQUIPOS Y MATERIALES DE LABORATORIO**

Los materiales y equipos utilizados en el laboratorio para la presente investigación son: máquina de teñir muestras marca SGS (USTC) modelo AHIBA IR (capacidad máxima de 20 tubos de acero, RPM 20 “programable”, temperatura máxima de 140 °C, método de teñido por rayos infrarrojos), estufa eléctrica marca J.P. SELECTA (programable T° y t), balanza analítica marca SARTORIUS (1000 g), equipo para el ensayo de solidez al frote electrónico Crockmeter marca SDLATLAS (programable el número de ciclos), máquina para el ensayo de solidez al lavado water colour fastness tester marca SAMKOON (controlador automático T° y t), cámara

de luces color inspection cabinet modelo PCE – CIC 11 (tipos de luz: A/F, D65, TL84/F11, UV, CWF y TL83/U30), madejero eléctrico marca MESDAN, termómetro H-B Instrument B60300-0100 (temperatura máxima 150 °C), vasos de precipitados de 200 mL y 100 mL, pipetas electrónicas de 2 mL y 12 mL, jarra marca REY (1000 mL), espátula, varilla, recipientes de acero inoxidable, estufa a gas (dos hornillas), tela multifibra N° 42 (6 bandas de 1.5 cm y ancho 10 cm), tela testigo de algodón marca SDLATLAS (2”x2”), hilo acrílico 100% (Nm 2/30).

### **3.5.3. REACTIVOS Y PRODUCTOS AUXILIARES**

Los reactivos y productos auxiliares utilizados en la presente investigación son: agua blanda, detergente líquido alpacel, sulfato de aluminio alumbre  $KAl(SO_4)_{212}(H_2O)$ , ácido cítrico  $C_6H_8O_7$ , crémor tártaro  $KC_4H_5O_6$ , sulfato de cobre (II)  $CuSO_4$ , sulfato de hierro (II)  $FeSO_4$  y sulfato de amonio  $(NH_4)_2SO_4$ .

### **3.5.4. OTROS EQUIPOS Y MATERIALES**

Los equipos y materiales adicionales que se usaron en la presente investigación son: cámara fotográfica marca Sony, triturador eléctrico marca Oster, rallador metálico, cernidor de plástico (25 cm de diámetro), envase de vidrio de 1500 ml, papel aluminio de 10 metros de largo, etiquetas autoadhesivas de diferentes colores, cinta masking de 2 cm de ancho, cinta de embalaje de 5 cm y 2 cm de ancho, cartulina negra (2 láminas), caja de cartón de 15 cm de altura (40 cm x 30 cm de base), vidrio de 40 cm x 30 cm, hilo de Título 24/1 Ne. (blanco, fucsia, verde, café y turquesa), tijera metálica, marcador permanente FT 700 PROARTE trazo 0.6 mm, cuaderno de apuntes, lapiceros, regla de 30 cm, guantes y mascarillas quirúrgicas.

## **3.6. PROCEDIMIENTO TÉCNICO DEL EXPERIMENTO**

El procedimiento técnico de la presente investigación se basa, en la deficiencia que existe en los procesos de teñido con colorantes naturales, lo cual es determinante en la solidez del color del producto final. El presente trabajo se llevó a cabo a una temperatura ambiente promedio del día 23 °C y a una humedad relativa de 35 % de la ciudad de Arequipa.

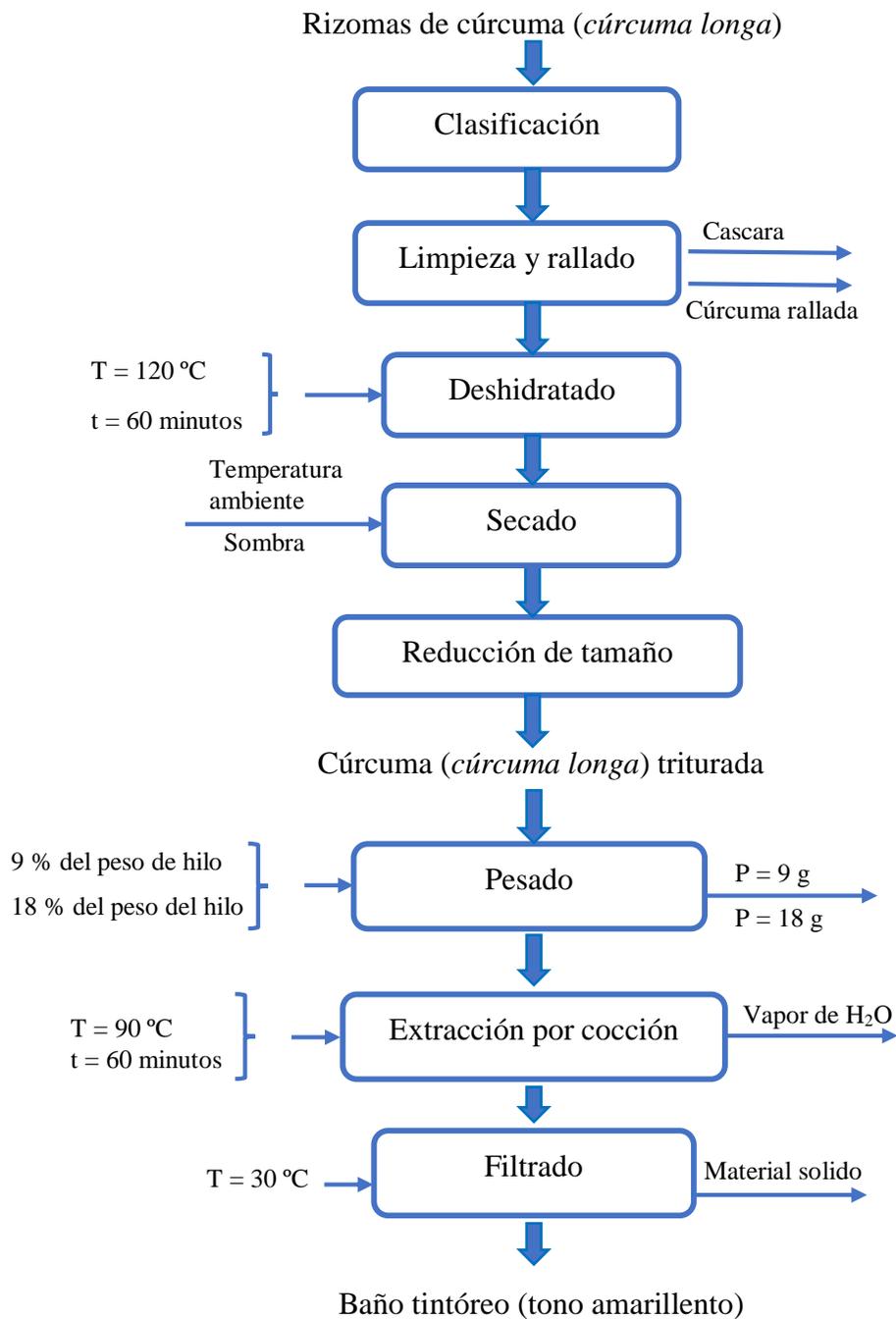
### **3.6.1. EXTRACCIÓN DEL COLORANTE DE LA CÚRCUMA (*cúrcuma longa*) EN LÍQUIDO**

La cúrcuma de la variedad “Perú” tienen una forma alargada, otras seccionadas y ovaleadas. El colorante que contiene en la cúrcuma es la curcumina el cual le atribuye el característico color amarillo. Asimismo, en el estudio realizado por Rosa Aguirre la cúrcuma de

variedad “Perú” contiene 4.5 % de curcumina (Aguirre Medrano, 1986). En la Figura 8, se muestra el diagrama de flujo de la extracción del colorante de la cúrcuma.

**Figura 8**

*Diagrama de Flujo de la Extracción del Colorante de la Cúrcuma*



Fuente: Elaboración propia

### a) Clasificación, limpieza y rallado de la cúrcuma

En la clasificación se seleccionó los rizomas en buen estado y los más maduros, luego se procedió a lavarlos para sacarle el contenido de tierra de la superficie, de esta manera poder extraerle la cascara y luego se procedió a rallarlos con la ayuda de un rallador metálico.

### b) Deshidratación y secado

Una vez rallado los rizomas de la cúrcuma (*cúrcuma longa*) se efectuó la deshidratación en la estufa haciendo uso de papel aluminio, donde se colocó la cúrcuma rallada y se puso dentro de la estufa a una temperatura de 120 °C por 60 minutos; todo ello se realizó con el propósito de preservar la capacidad tintórea de la planta y extraer la humedad. Después se llevó el proceso de secado a sombra durante cinco días con la finalidad de eliminar todo el contenido de agua que queda en la cúrcuma rallada y de esta manera facilitar el proceso de triturado.

### c) Reducción de tamaño (trituración)

Los rizomas de cúrcuma deshidratados y secos, fueron triturados haciendo uso de la trituradora eléctrica hasta obtener cúrcuma en pequeñas partículas, lo cual se depositó en un envase de vidrio.

- Rendimiento de la planta cúrcuma:

$$\text{Rendimiento de la curcuma (\%)} = \frac{\text{peso cúrcuma triturada}}{\text{peso cúrcuma rallada}} \times 100$$

$$\text{Rendimiento de la curcuma (\%)} = \frac{225 \text{ g}}{650 \text{ g}} \times 100$$

$$\text{Rendimiento de la curcuma (\%)} = 34.6 \%$$

Por lo tanto, de 650 g de cúrcuma rallada se logró obtener el 34.6 % de cúrcuma triturada seca lo que equivale a 225 g.

En la Figura 9, se observa la secuencia fotográfica del proceso de limpieza, deshidratado y triturado del colorante.

## Figura 9

### Secuencia Fotográfica del Proceso de Limpieza, Deshidratado y Triturado de la Cúrcuma



*Nota:* Reducción de tamaño en una trituradora eléctrica.

Fuente: Elaboración propia

#### d) Pesado

Se procedió a pesar la cantidad requerida de cúrcuma triturada, en este proceso es necesario tener en cuenta la relación planta/sustrato, y en la presente investigación se empleó 9%, 13.5% (punto central) y 18% de colorante para 100 g de hilado de alpaca con una RB: 1/20, también es importante saber que para extraer un colorante natural por cocción se requiere medio litro de agua adicional a la relación de baño, debido a que se evaporan en el momento de la extracción.

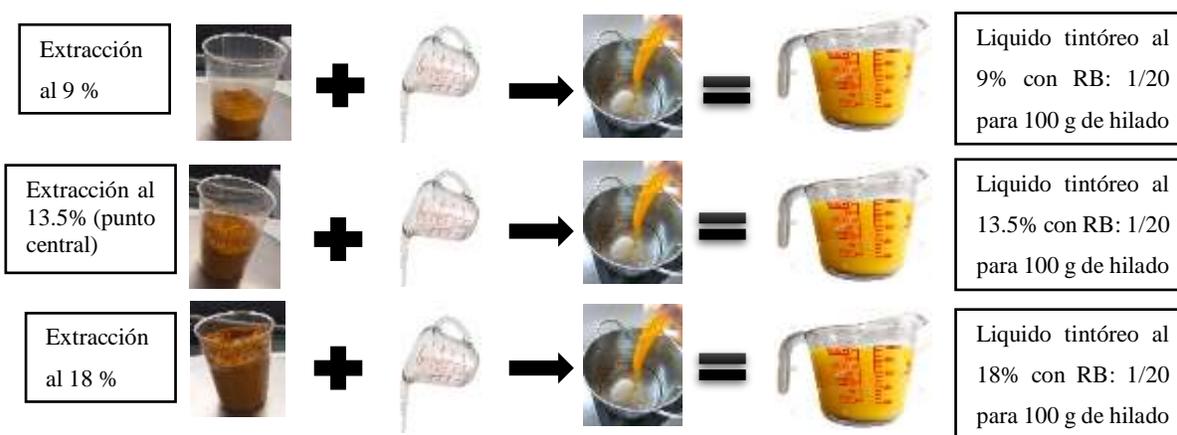
#### e) Extracción del colorante de la cúrcuma (*cúrcuma longa*) por el método de cocción

Según las referencias bibliográficas se sabe que el colorante encontrado en los rizomas de la cúrcuma es la curcumina el cual le atribuye ese color amarillo-naranja. Para el proceso de extracción del colorante de las partículas secas de los rizomas de cúrcuma se utilizó el método

de extracción sólido-líquido por cocción. Una vez realizado el pesado del colorante, se procedió a agregar la cantidad requerida de colorante en 2 L y medio de agua blanda, en un recipiente de acero inoxidable, para luego llevarlo a temperatura de ebullición de 90 °C, una vez llegado a dicha temperatura se deja hervir por una hora a fuego lento, en la Figura 10, se muestra la extracción del colorante de la cúrcuma para las tres relaciones planta/sustrato.

**Figura 10**

*Extracción del Colorante al 9 %, 13.5 % y 18 % por el Método Cocción*

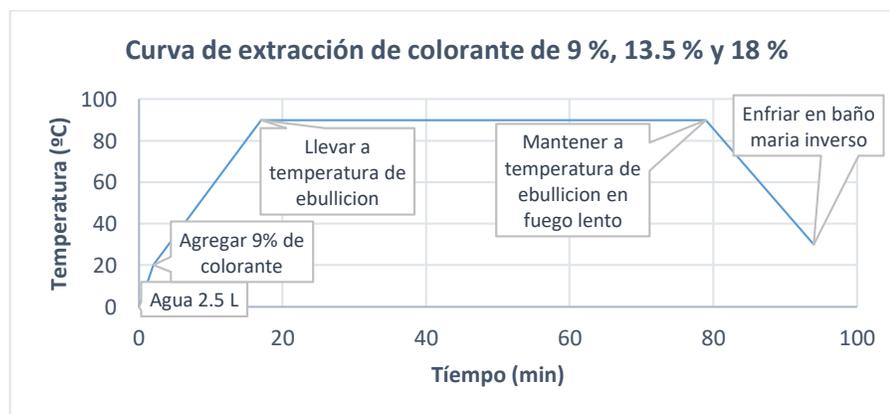


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 11, se puede observar la curva de extracción del colorante de las partículas secas de la cúrcuma.

**Figura 11**

*Curva de Extracción de Colorante de la Cúrcuma Para el 9 %, 13.5% y 18%*



*Nota:* El grafico representa las condiciones en que se extrajo el colorante.

Fuente: Elaboración propia

## f) Filtrado

La solución extraída se dejó enfriar en baño maría invertida hasta llegar a 30 °C, luego se realizó el filtrado con la ayuda de un cernidor de plástico, de esta manera se separó el líquido tintóreo del residuo sólido orgánico.

- Rendimiento global del colorante (cantidad de curcumina)

Para calcular el rendimiento de extracción, en la balanza analítica se pesó una placa de Petri, luego se agregó 20 mL de la solución del colorante extraída con una relación planta/sustrato de 18 %. Después la placa de Petri con la solución se puso en una estufa a 60 °C durante 48 horas; luego de ese periodo de tiempo se verificó que el solvente se haya evaporado en su totalidad y se pesó la placa de Petri ya con el colorante seco. El rendimiento se determinó usando la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{masa del extracto seco}}{\text{masa materia prima}} \times 100 \quad (1)$$

La masa de la solución extraída se determinó usando la siguiente ecuación:

$$\text{masa del extracto seco} = (\text{peso placa de Petri con extracto seco} - \text{peso de placa de Petri}) \times 20 \dots (2)$$

$$\text{masa de extracto seco} = (250.203 \text{ g} - 250 \text{ g}) \times 20 \dots (2)$$

$$\text{masa de extracto seco} = 4.06 \text{ g} \dots (2)$$

Determinación del rendimiento del colorante:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{4.06 \text{ g}}{18 \text{ g}} \times 100 \dots (1)$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = 22.56 \% \dots (1)$$

En la presente investigación para determinar el rendimiento se utilizó el colorante extraído con una relación planta/sustrato de 18 % lo que equivale a 18 g de colorante de cúrcuma en pequeñas partículas para 100 g de hilado y de acuerdo a los cálculos realizados el colorante extraído para el experimento tiene un rendimiento de 22.56 % de curcumina; dicho valor se encuentra en un rango aceptable al realizar una comparación con el colorante de la cochinilla

que es el más comercial de los colorantes naturales con un rendimiento de 32 % de carmín (Begazo Calderon & Bendita Jilapa, 2018).

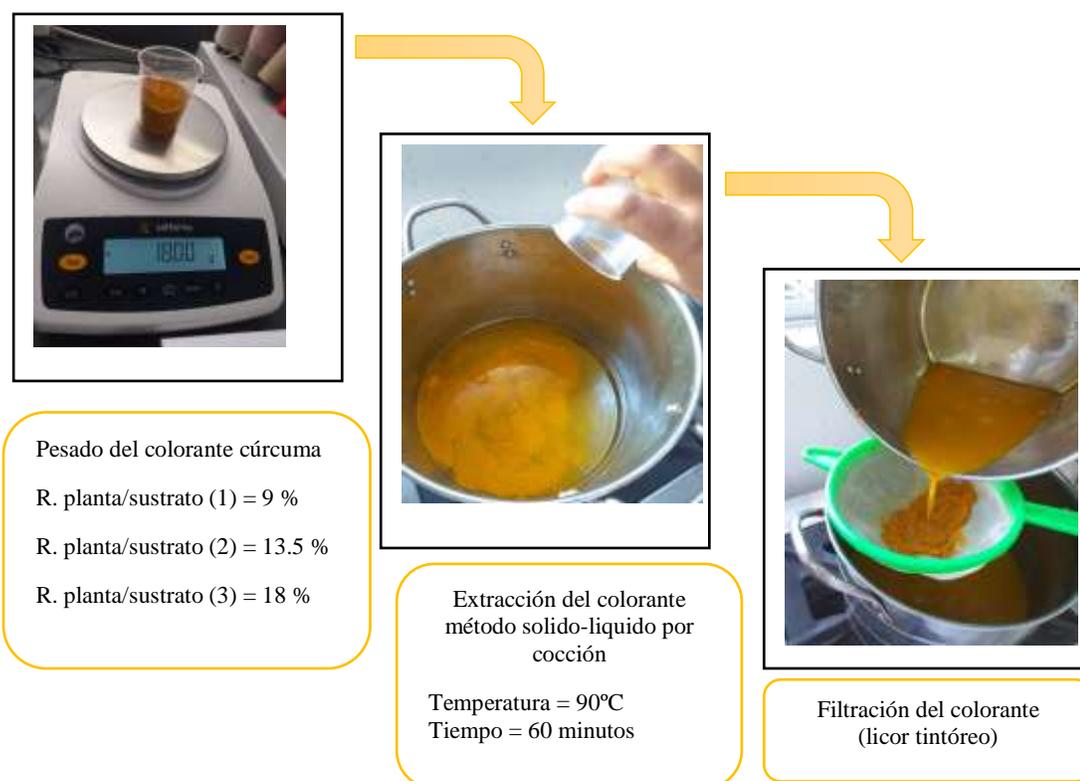
Debido a que el colorante de la cúrcuma tiene un alto rendimiento se puede afirmar que es escalable para los artesanos tintoreros, es decir se puede usar para teñidos a gran escala en el sector de artesanía, sin embargo, para escalas industriales se debería formular un nuevo estudio.

### g) Baño tintóreo

El líquido filtrado fue colocado en un recipiente de plástico (jarra), para luego utilizarlo en el proceso de teñido del hilado de alpaca, la Figura 12, muestra el proceso de extracción.

**Figura 12**

*Secuencia Fotográfica del Proceso de Extracción del Colorante*



*Nota:* Se obtuvo tres concentraciones de licor tintóreo.

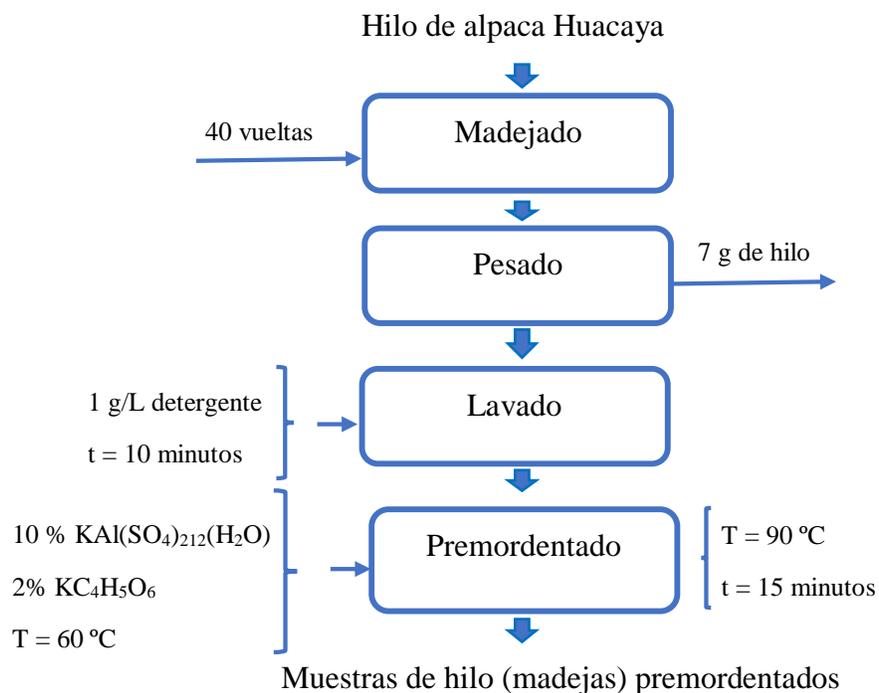
Fuente: Elaboración propia

### 3.6.2. ACONDICIONAMIENTO DEL HILO DE ALPACA PARA EL TEÑIDO

Antes de efectuar el teñido se realizó el acondicionamiento del hilado de alpaca para facilitar el proceso de teñido. La Figura 13, muestra el diagrama de flujo.

**Figura 13**

*Diagrama de Flujo Acondicionamiento del Hilo de Alpaca*



*Nota:* Premordentado con alumbre  $\text{KC}_4\text{H}_5\text{O}_6$  y crémor tártaro  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_{212}(\text{H}_2\text{O})$ .

Fuente: Elaboración propia

#### a) Madejado

Se elaboró pequeñas madejas de hilo de alpaca Huacaya con un peso promedio alrededor de 7 g y una longitud de 40 metros lo que equivale a 40 vueltas en el madejero, de acuerdo al volumen de los recipientes de acero del equipo de teñido de muestras. La identificación del tratamiento de cada madeja se realizó con hilo acrílico formando diferentes nudos; para elaboración de estas madejas se utilizó un madejero eléctrico. Asimismo, en esta etapa se realizó el cálculo de la titulación del hilado de alpaca adquirida del sector de Conduriri, Puno.

- Cálculo de la titulación del hilado artesanal, ver Tabla 7.

**Tabla 7**

*Longitud y Peso de las Muestras Para el Cálculo de Titulación*

Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Longitud	10 m									
Peso	1.79 g	1.78 g	1.86 g	1.84 g	1.80 g	1.81 g	1.78 g	1.83 g	1.85 g	1.84g
Promedio longitud										10 m
Promedio peso										1.818 g

Fuente: Elaboración propia

$$Nm = \frac{Longitud}{Peso} = \frac{10 m}{1.818 g} \rightarrow Nm = 5.5 = 6 Nm$$

El hilado de alpaca utilizado para la experimentación tiene un título Nm 6/2.

#### **b) Pesado**

Una vez elaborado e identificado las madejas, se realizó el pesado en una balanza analítica, para efectuar los cálculos respectivos en cuanto a la relación de baño y cantidad de mordiente que se va emplear para cada tratamiento, debido a que las madejas no tienen un peso único.

- Cálculo de relación de baño y cantidad de mordiente

La relación de baño 1/20, quiere decir que por 1 g de hilado de alpaca se requiere 20 mL de volumen tintóreo.

$$RB (1/20) = (\text{peso del hilado}) \times 20$$

#### **Tratamiento 1**

$$\text{Peso hilado} = 6.78 g$$

$$RB (1/20) = (6.78 g) \times 20$$

$$RB (1/20) = 135.6 mL$$

Para el tratamiento 1 que tiene una muestra de hilado con un peso de 6.78 g, se requiere 135.6 mL de volumen tintóreo; ahora para el cálculo de la cantidad de mordiente se multiplica el volumen de baño tintóreo por la concentración de mordiente, en este caso 1g/L.

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

$$\text{Cantidad de mordiente} = 135.6 \text{ mL} \times 1 \text{ g/L}$$

$$\text{Cantidad de mordiente} = 0.1356 \text{ g}$$

Se realizó estos cálculos para cada uno de los tratamientos y se muestran en la Tabla 8.

**Tabla 8**

*Cálculo de la Cantidad de Baño Tintóreo y Cantidad de Mordiente Para Cada Tratamiento*

Tratamiento	Peso de hilado para la REPLICA I (g)	Peso de hilado para la REPLICA II (g)	Relación planta/sustrato (%)	Concentración de mordiente (g/L)	Cantidad de baño tintóreo R:B 1/20 (mL)		Cantidad de mordiente (g)	
					REPLICA I	REPLICA II	REPLICA I	REPLICA II
1	6.78	6.88	18	1	135.6	137.6	0.1356	0.1376
2	6.93	6.85	9	1	138.6	137.0	0.1386	0.1370
3	6.84	6.82	18	3	136.8	136.4	0.4104	0.4092
4	6.99	6.7	9	3	139.8	134.0	0.4194	0.4020
5	6.80	6.45	18	1	136.0	129.0	0.1360	0.1290
6	6.34	7.09	9	1	126.8	141.8	0.1268	0.1418
7	6.70	7.01	18	3	134.0	140.2	0.4020	0.4206
8	6.65	7.08	9	3	133.0	141.6	0.3990	0.4248
9	7.05	6.80	18	1	141.0	136.0	0.1410	0.1360
10	7.04	6.99	9	1	140.8	139.8	0.1408	0.1398
11	6.82	7.1	18	3	136.4	142.0	0.4092	0.4260
12	7.12	6.82	9	3	142.4	136.4	0.4272	0.4092
13	6.70	6.37	18	1	134.0	127.4	0.1340	0.1274
14	7.08	6.9	9	1	141.6	138.0	0.1416	0.1380
15	7.10	6.47	18	3	142.0	129.4	0.4260	0.3882
16	7.08	6.43	9	3	141.6	128.6	0.4248	0.3858
17	6.94	6.75	13.5	2	138.8	135.0	0.2776	0.2700
18	6.80	7.11	13.5	2	136.0	142.2	0.2720	0.2844
19	6.84	6.29	13.5	2	136.8	125.8	0.2736	0.2516

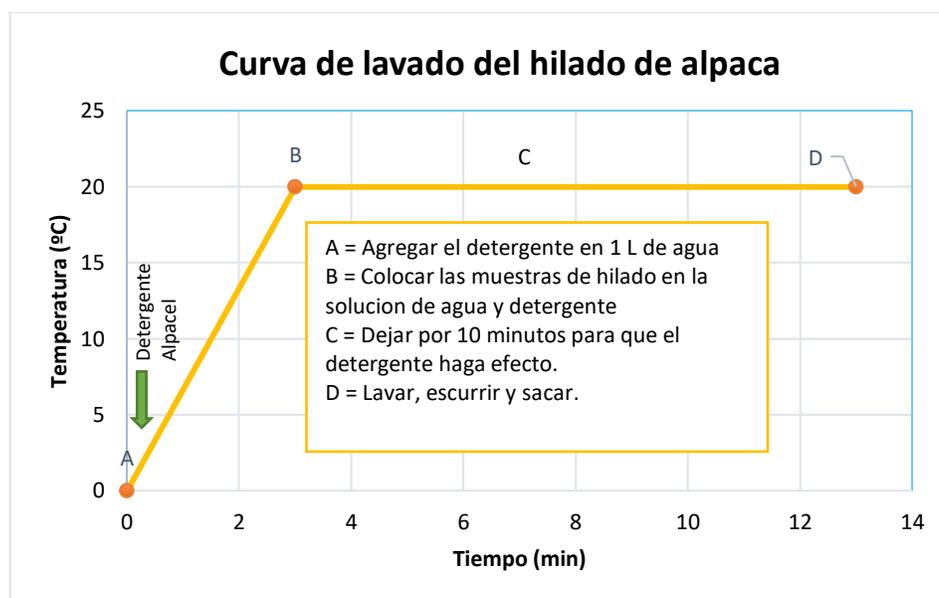
Fuente: Elaboración propia

### c) Lavado

El lavado del hilado de alpaca es de suma importancia antes del teñido, debido a que se le da mayor hidrofibrilidad al hilado a la hora del teñido; asimismo, para eliminar aceites, suciedad e impurezas que contenga, se usó 1g de detergente liquido alpapel en 1000 mL de agua a temperatura ambiente para 60 g de hilado, y estuvo sumergido hasta que el agua quede por encima del hilado durante 10 minutos; la Figura 14, muestra la curva de lavado.

**Figura 14**

*Curva de Lavado del Hilado Alpaca*



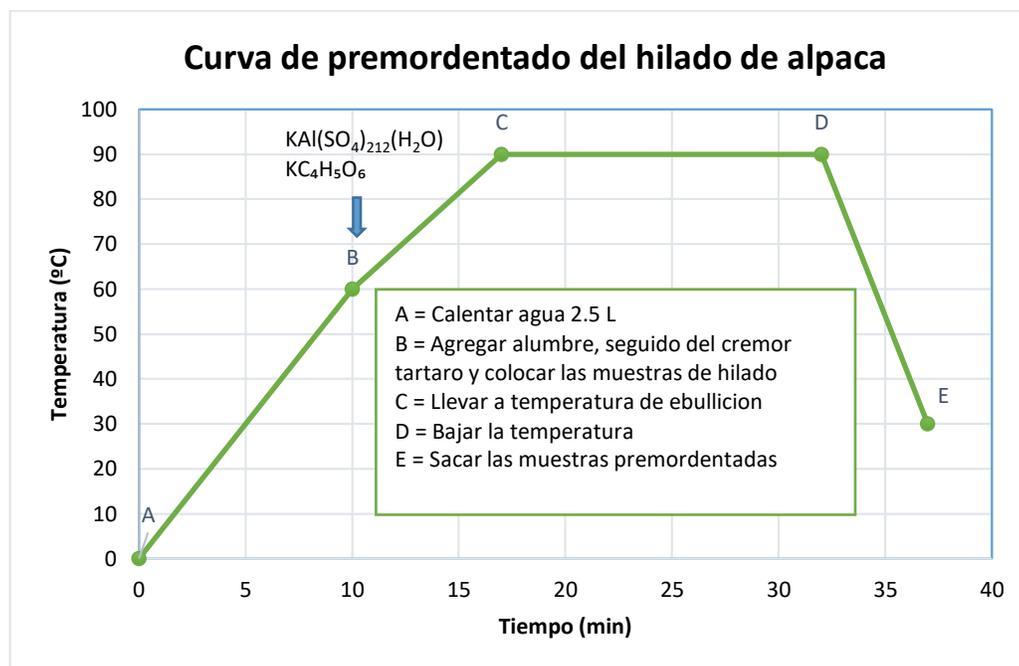
Fuente: Elaboración propia

### d) Premordentado

Inmediatamente después del lavado se realizó el proceso de Premordentado para darle uniformidad y brillo al material teñido; donde, en un recipiente de acero inoxidable se puso 2.5 L de agua, se llevó a una temperatura de 60 °C y se agregó los mordientes; primero se disolvió el alumbre (sulfato de aluminio) seguidamente el crémor tártaro, una vez disueltas se colocó las madejas de hilado de alpaca ya lavadas y se llevó a temperatura de ebullición (90°C), se mantuvo en estas condiciones durante 15 minutos. El porcentaje de mordiente usado está en relación con la cantidad de hilado y se usó 10 % de alumbre y 2 % de crémor tártaro, en la Figura 15 se muestra la curva que se utilizó para el premordentado.

**Figura 15**

*Curva de Premordentado de las Muestras del Hilado Alpaca*



*Nota:* Temperatura de ebullición 90°C.

Fuente: Elaboración propia

La Figura 16, muestra el procedimiento fotográfico del acondicionamiento del hilado de alpaca para el teñido.

**Figura 16**

*Secuencia Fotográfica del Proceso de Acondicionamiento del Hilado de Alpaca Para el Teñido*



*Nota:* Premordentado a 90 °C y lavado a 20 °C.

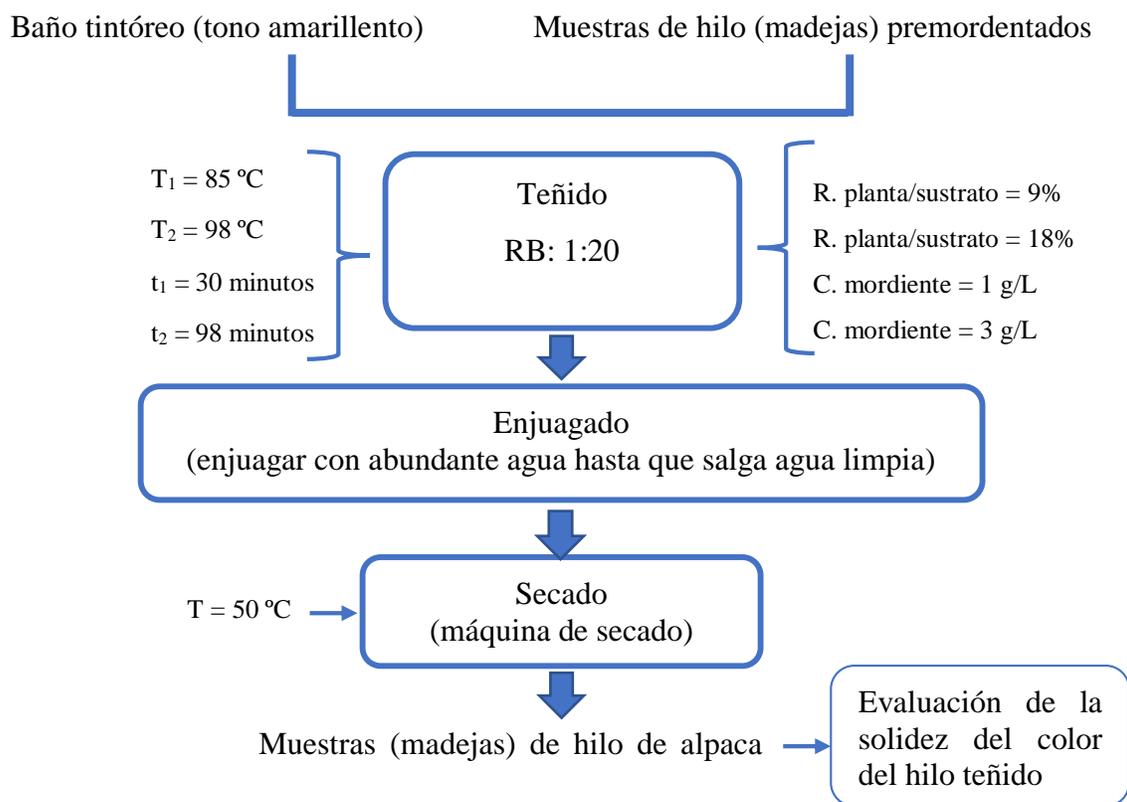
*Fuente:* Elaboración propia

### 3.6.3. TEÑIDO DEL HILADO DE ALPACA CON CÚRCUMA (*cúrcuma longa*)

En la Figura 17, se puede observar el diagrama de flujo del teñido del hilado de alpaca con cúrcuma, donde se detalla claramente la secuencia del proceso, además en la Figura 18 se muestra la secuencia fotográfica del proceso de teñido; cabe mencionar que el teñido se realiza por agotamiento del baño.

**Figura 17**

*Diagrama de Flujo del Teñido del Hilado de Alpaca con Cúrcuma*



*Nota:* Gradiente de teñido 3 °C/min.

Fuente: Elaboración propia

#### a) Preparación del baño de teñido

El proceso de teñido de las madejas de hilo de alpaca se llevó a cabo en la máquina IR de teñir muestras (Data color) provisto de vasos de acero con sus respectivas tapas. El baño tintóreo ya extraído se trasvasa a los vasos de prueba de acuerdo al volumen de baño de los tratamientos, luego se le agregó el mordiente ácido cítrico con la ayuda de la pipeta electrónica

y finalmente se colocó las madejas de hilado de alpaca. se utilizó ocho vasos en cada corrida y se tapó herméticamente.

Una vez colocado las muestras de hilado, el mordiente, el baño tintóreo en los vasos y cerrado herméticamente; se montó los vasos en la máquina de teñido de muestras, donde se controló la gradiente de teñido, el tiempo de teñido y la temperatura de teñido.

Previo al proceso de teñido se realizó varias pruebas piloto con la finalidad de establecer los parámetros de los siguientes factores:

**Relación planta/sustrato:** La cantidad de planta tintórea es un factor muy importante ya que determina la intensidad del color en la fibra. Se realizó una prueba piloto con base en la revisión de la literatura y guías técnicas de teñido, donde, se utilizó relaciones de planta/sustrato de 100 %, 50 %, 25 %, 18 % y 9 % de los cuales 18 % y 9 % mostraron altas solidez de color; del cual se concluyó que al utilizar una alta relación planta/sustrato, la solidez del color es baja y ello se debe al agotamiento del baño y a la sobresaturación del colorante en el hilado; esto basado en la experiencia del asesor especialista en línea húmeda y teñidos del CITE textil Camélicos Arequipa, los manuales de teñido y el libro de Mirko Costa; de acuerdo a los resultados obtenidos de la prueba piloto, se trabajó con relaciones de 9 % y 18 % los cuales están relacionados con la cantidad de hilado; es decir, se usó el 9 % y 18 % de polvo de cúrcuma respecto al peso del hilado.

$$\text{Colorante en (g)} = (R.\text{planta/sustrato}) * (\text{Peso hilado})$$

$$\text{Colorante en (g)} = (18\%) * (100)$$

$$\text{Colorante en (g)} = 18\text{ g}$$

**Concentración de mordiente:** El mordiente juega un papel muy importante en el teñido ya que de esto depende la fijación del colorante en la fibra. Es por ello que en la presente investigación se hicieron pruebas piloto de teñido con diferentes mordientes (sulfato de aluminio alumbre  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12(\text{H}_2\text{O})$ , ácido cítrico  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ , crémor tártaro  $\text{KC}_4\text{H}_5\text{O}_6$ , sulfato de cobre (II)  $\text{CuSO}_4$ , sulfato de hierro (II)  $\text{FeSO}_4$  y sulfato de amonio  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) en diferentes cantidades, con la finalidad de determinar los parámetros para la experimentación. En los resultados piloto se obtuvo que los mordientes sulfato de aluminio (alumbre) y ácido cítrico tuvieron una mayor

solidez del color; por lo cual se optó por el ácido cítrico debido a la baja contaminación que presenta en las aguas residuales del teñido y se trabajó en cantidades de 1 g/L y 3 g/L teniendo como base las guías técnicas y la experiencia de un especialista en línea húmeda y teñidos.

**Temperatura de teñido:** Para este proceso de teñido se trabajó con temperaturas de 85 y 98 °C para evaluar a que temperaturas se da la mejor fijación del colorante hacia la fibra. Se tomó en cuenta estos parámetros porque el hilado de fibra de alpaca a temperaturas mayores a 100 °C tienden a dañarse, es decir, pierden la resistencia a la tracción y se vuelve delicada frente a la temperatura, debido a que es una fibra proteínica y la temperatura la descompone; estos parámetros se establecieron de acuerdo a la revisión de la literatura y la consulta a un especialista en línea húmeda y teñidos.

**Tiempo de teñido:** El tiempo de teñido tiene mucha relación con el agotamiento del colorante en toda la superficie de la fibra, para la presente investigación se trabajó en tiempos de 30 y 50 minutos, tomándose en cuenta la revisión de la literatura (guías técnicas de teñido y antecedentes) y la experiencia del especialista en línea húmeda y teñidos.

#### **b) Enjuagado**

Después de teñir las muestras de hilado de alpaca se procedió a enjuagarlos con abundante agua hasta dejar este sin restos de color, para de esta manera eliminar todo el colorante que no se logró fijar en el hilado.

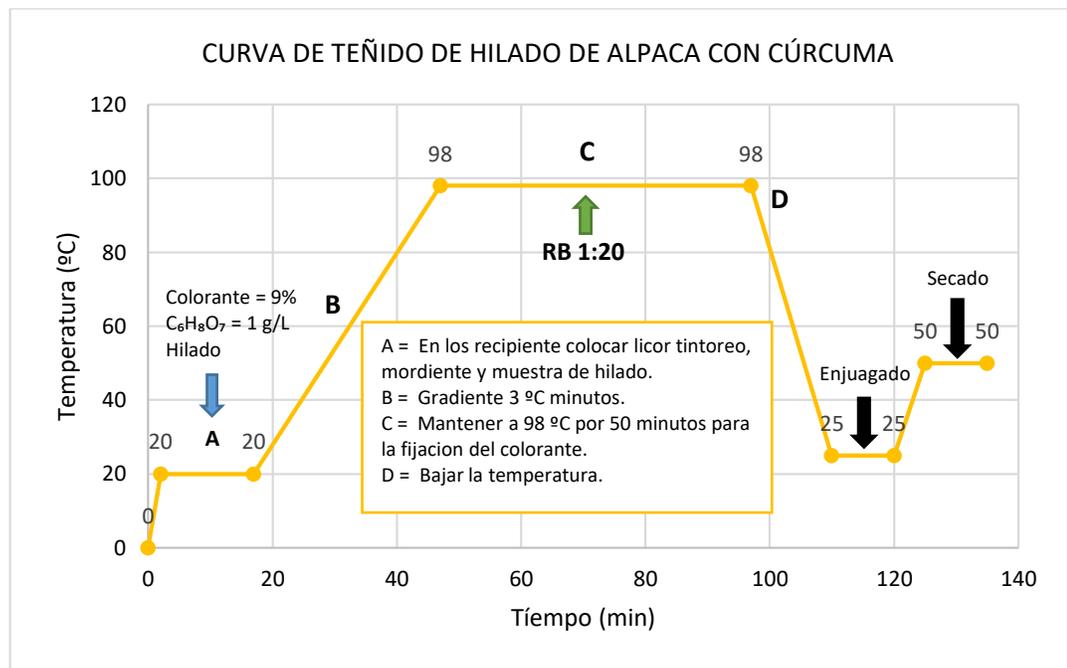
#### **c) Secado**

Las muestras de hilado ya enjuagadas, fueron colocadas en una secadora textil acondicionado a una temperatura de 50 °C, de esta manera logró el secado de las muestras de hilado teñidos para su respectiva evaluación.

En la Figura 18, se observa la curva del proceso de teñido de uno de los tratamientos del diseño experimental, la curva del proceso de teñido es similar para los demás tratamientos, siendo la única diferencia los parámetros de teñido.

**Figura 18**

*Curva del Proceso Teñido del Hilado de Alpaca con Cúrcuma*



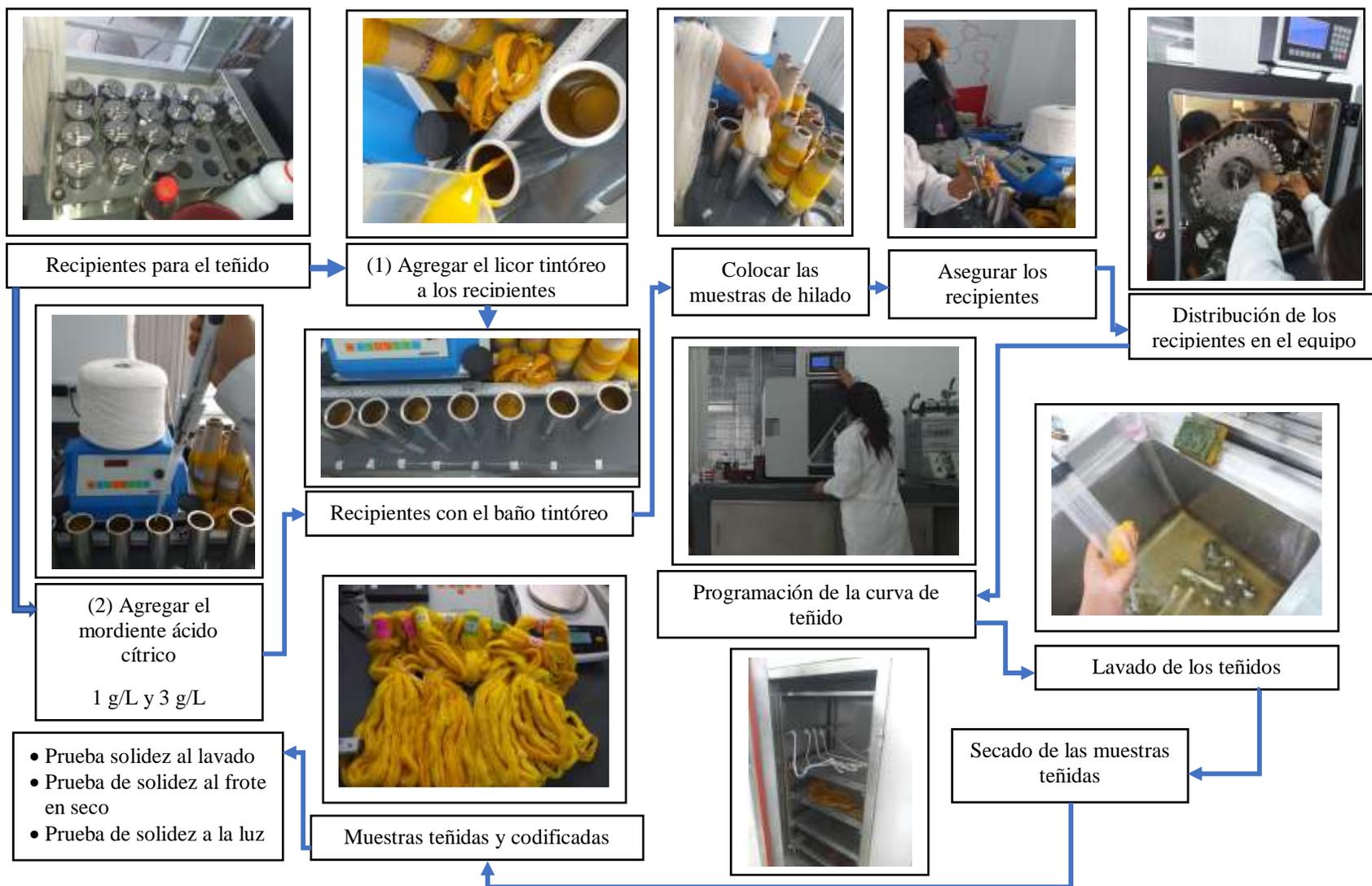
*Nota:* Los parámetros varían según tratamiento, ácido cítrico ( $C_6H_8O_7$ ).

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 19, se observa la secuencia fotográfica del proceso de teñido.

**Figura 19**

*Secuencia Fotográfica del Proceso de Teñido del Hilado de Alpaca con Cúrcuma (cúrcuma longa)*



Fuente: Elaboración propia

### 3.6.4. EVALUACIÓN DE LA SOLIDEZ DEL COLOR EN LOS TEÑIDOS MEDIANTE PRUEBAS DE SOLIDEZ.

#### a) Solidez al lavado

Según la Norma Técnica Peruana 231.008: 2015, esta prueba consiste en determinar el cambio de color y la transferencia del mismo que se efectúa de una muestra de tejido sobre tejidos testigos blancos (multifibra) en solución de detergente líquido. El cambio y transferencia de color se compara con la escala Grises correspondiente (INACAL, 2019). En la presente investigación se llevó a cabo el siguiente procedimiento según la NTP 231.008. Las condiciones en que se efectúan los ensayos están sintetizadas en la Tabla 9.

**Tabla 9**

*Condiciones de Ensayo Para Solidez al Lavado*

Opción	1A	1B	2A	3A	4A	5A
Temperatura °C ( $\pm 2$ °C)	40	31	49	71	71	49
Volumen total (mL)	200	150	150	50	50	150
% detergente solido del volumen total	0.37	0.37	0.15	0.15	0.15	0.15
% detergente liquido del volumen total	0.56	0.56	0.23	0.23	0.23	0.23
% de cloro del volumen total	-	-	-	-	0.015	0.027
Nº de esferas de acero	10	-	50	100	100	50
Nº de esferas de caucho	-	10	-	-	-	-
Tiempo (minutos)	45	20	45	45	45	45

*Nota:* Rango de variación más 2 grados o menos 2 grados de la temperatura establecida ( $\pm 2$  °C).

Fuente: Elaboración propia.

### **Procedimiento:**

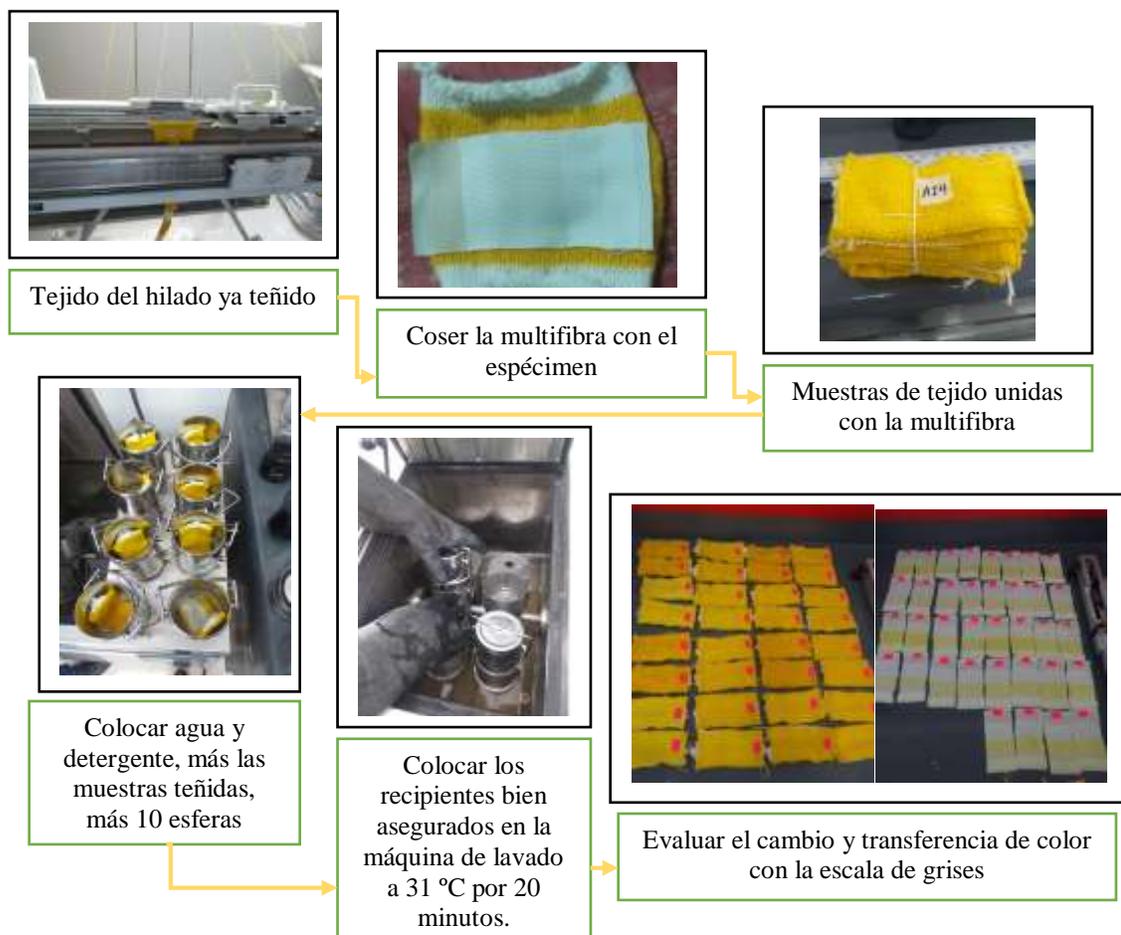
De la Tabla 9, se optó por la opción 1B, debido a que este ensayo es para la evaluación de la solidez de los textiles que se espera obtener luego de repetidos lavados a mano a temperatura fría. Los especímenes deben mostrar un cambio de color similar producido por cinco típicos lavados delicado a mano a  $27\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , para ello se realizó el siguiente procedimiento:

- Las muestras de hilo teñido se procedieron a tejer en una máquina rectilínea, debidamente identificada de un tamaño de 5 cm x 10 cm. luego se procedió a cortar la tela multifibra (contiene lana, acrílico, poliéster, nylon, algodón y acetato) en tamaños de 5 cm de ancho.
- Después se procedió a coser o engrapar la tela multifibra con el espécimen centrados por los cuatro lados, el espécimen debe estar en contacto con la multifibra por el lado de la cara, las seis bandas de fibra deben estar paralelas a lo ancho de la dirección del espécimen. Luego se preparó una solución de 0.84 mL de detergente líquido alpacel en 150 mL de agua.
- En un frasco de la máquina para lavado se colocó la solución anterior, se le agregó 10 esferas, se colocó el espécimen a ensayar y se aseguró herméticamente, para luego colocarlos en la máquina, y después se programó la máquina a una temperatura de  $31\text{ }^{\circ}\text{C}$  y a un tiempo de 20 minutos.
- Una vez realizado el ensayo de solidez al lavado, se procedió a enjuagar los especímenes en abundante agua por un minuto, luego se centrifugó para extraer toda el agua y se dejó secar a temperatura ambiente en la sombra.

En la Figura 20, se muestra la secuencia fotográfica.

**Figura 20**

*Secuencia Fotográfica del Ensayo de Solidez al Frote en Seco*



*Nota:* Tejido punto en máquina manual, multifibra N° 42 dado por normas ISO y AATCC.

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se evaluó el cambio de color con la muestra original por comparación de escala de grises para cambio de color establecida en la NTP 231.005 y así también evaluar la transferencia de color (manchado) de la multifibra con el original por comparación de la escala de grises de manchado establecida en la NTP 231.004.

## Figura 21

### *Escala de Grises Para Transferencia y Cambio de Color*



*Nota:* Escala de grises con valores de 1 a 5.

Fuente: Elaboración propia

#### **b) Solidez al frote en seco**

Según la Norma Técnica Peruana 231.042 esta prueba se realiza en condiciones controladas, se frota una muestra de tejido artesanal o hilo enrollado con un tejido testigo blanco (tela blanca de algodón). Se hace dos ensayos, uno frotando con un testigo seco y otro con un testigo húmedo (INACAL, 2019). En la presente investigación se realizó la prueba de solidez al frote en seco, haciendo uso de un testigo seco y tomando en cuenta el siguiente procedimiento según NTP 231.042:

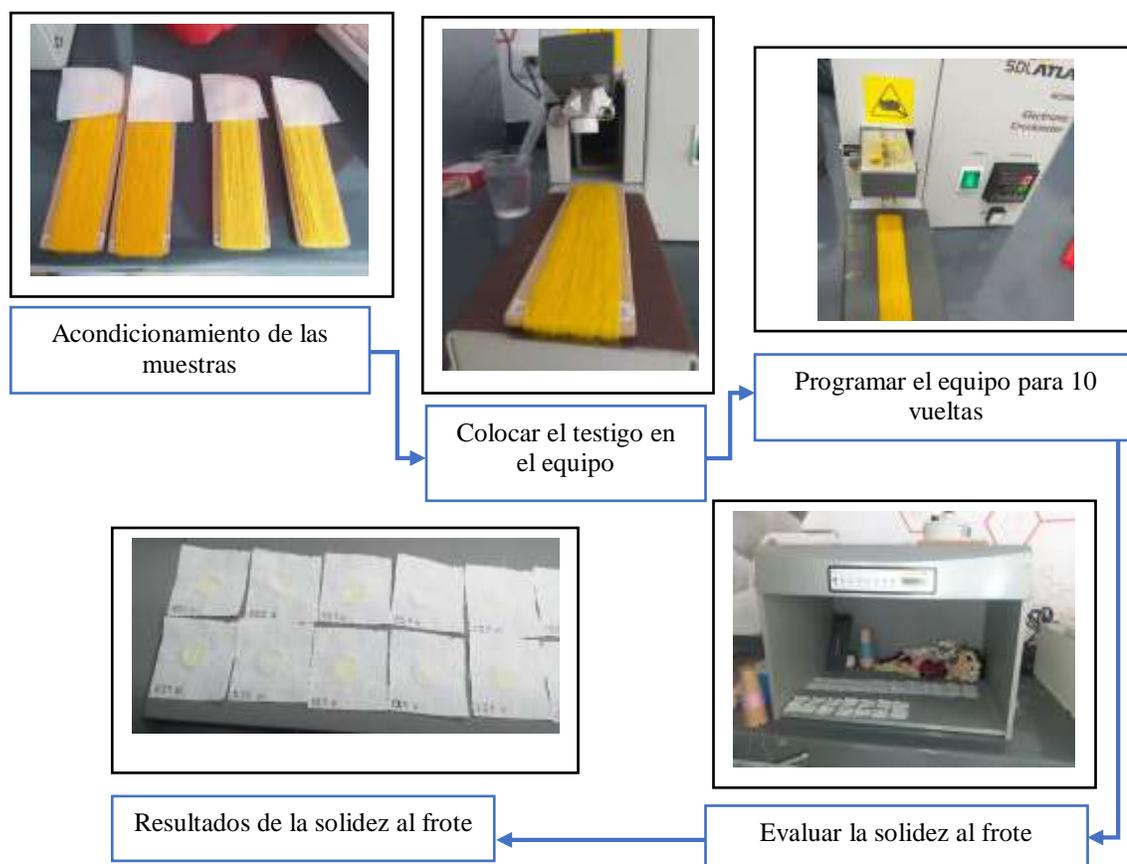
#### **Procedimiento:**

- Para muestras de hilado, la norma recomienda realizar un tejido o enrollar el hilo muy apretado en una forma adecuada de mínimo 5 cm x 13 cm en la dirección longitudinal y bien estirado, en la presente investigación se enrolló el hilado en un cartón prensado de las dimensiones mencionadas anteriormente.
- Se colocó el espécimen en la base del Crockmeter, dejándola estirada sobre el papel abrasivo (lija) con el lado largo en el sentido de la frotación.

- Se colocó un cuadrado de tejido testigo blanco, con el dibujo paralelo en la dirección de frotación, se sujetó con un clip metálico espiral para mantener en su lugar el testigo.
- Se programó el equipo para 10 vueltas, lo que significa que el brazo ira hacia adelante y atrás 20 veces realizando la fricción con el espécimen.
- Una vez realizado el frote, se retiró el tejido testigo blanco y se procedió a limpiarlo de materiales peludos, cepillados o lijados lo cual podría interferir en la calificación e identificar el tratamiento.
- Finalmente se procedió a evaluar la cantidad de color transferido del espécimen al tejido testigo blanco que se está examinando mediante la escala de grises de transferencia de color establecida en la NTP 231.004, la Figura 22, muestra el procedimiento.

**Figura 22**

*Secuencia Fotográfica del Ensayo de Solidez al Frote en Seco*



*Nota:* Telas testigo establecidas por normas ISO y AATCC.

Fuente: Elaboración propia

### **c) Solidez a la luz**

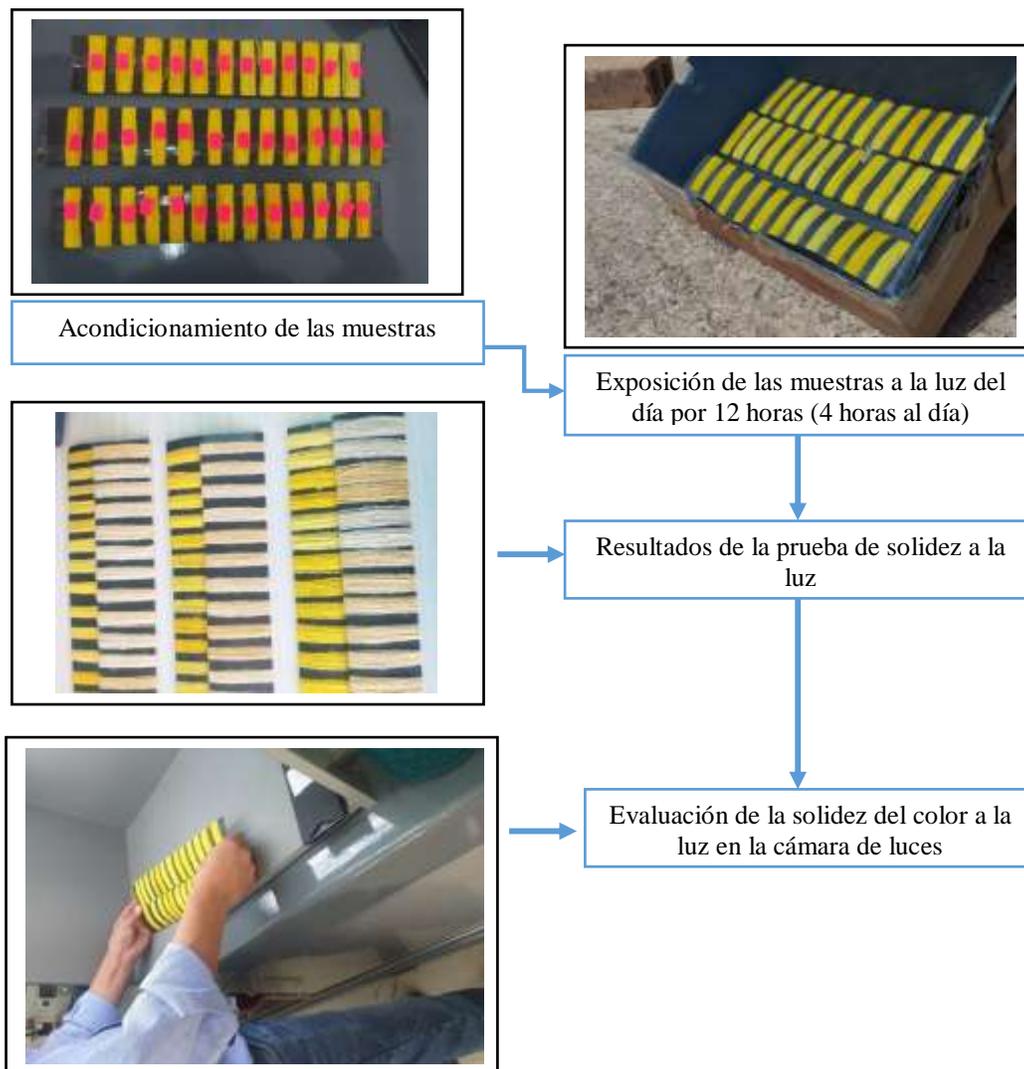
Según la Norma Técnica Peruana 231.007 método de ensayo de la solidez del color a la luz del día, consiste en exponer la muestra del tejido artesanal a la luz solar durante 12 horas, a razón de 4 horas diarias, bajo condiciones determinadas, protegida de la lluvia (INACAL, 2019). En la presente investigación se realizó el procedimiento de acuerdo a la NTP 231.007 y en la Figura 23, se muestra la secuencia fotográfica.

#### **Procedimiento:**

- Se preparó un ensayo conjunto para la prueba (para la exposición a la luz del día) y testigo (para la comparación), donde los hilados teñidos fueron enrollados sobre una tira de cartulina, cada muestra debe tener un área de 1 cm x 6 cm debidamente identificados.
- Se elaboró una caja de exposición con fondo gris y se colocó las muestras enrolladas en un cartón, se recubrió con vidrio común a más de 5 cm de los especímenes, se le hizo agujeros a la caja para que tenga una ventilación apropiada. Luego se colocó la caja a la luz del día evitando que las sombras de los objetos cercanos caigan sobre las muestras expuestas y se evitó la presencia de gases industriales. Asimismo, cabe mencionar que la caja se colocó formando un ángulo con la horizontal cuyo valor sea igual al de la latitud de la localidad donde se efectúa la exposición durante cuatro horas por tres días y a temperatura ambiente según norma.
- Una vez pasado los tres días de exposición a la luz del día, se procedió a evaluar la solidez del color con la ayuda de la escala de grises de cambio de color establecido en la NTP 231.005, comparando la muestra expuesta a la luz y la muestra testigo dándole el valor que le corresponde.

**Figura 23**

*Secuencia Fotográfica del Ensayo de Solidez al Frote en Seco*



Fuente: Elaboración propia

### **3.7. PROCESO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

#### **3.7.1. DISEÑO EXPERIMENTAL**

El diseño experimental está referido al efecto de la relación planta/sustrato, concentración de mordiente, temperatura y tiempo del teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) en la solidez del color del hilado de alpaca. Para evaluar dicho efecto es necesario recurrir a un diseño experimental, teniendo en cuenta las experiencias realizadas en las pruebas piloto preliminares, y de esta manera poder definir los parámetros que permitan llegar al objetivo de la presente investigación.

Para la presente investigación se empleó el diseño factorial completo  $2^k$  con puntos centrales, el cual permite investigar todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores y obtener una información de varios factores a la vez realizando un mínimo significativo de experiencias (Montgomery, 2004); la matriz se compone por k columnas y  $2^k$  de filas. Donde se considera cuatro factores con dos niveles, obteniéndose así 16 tratamientos con dos réplicas y tres ensayos de los puntos centrales por replica, Tabla 10 muestra el diseño experimental.

**Tabla 10**

*Matriz del Diseño con los Experimentos Conformados*

N° Tratamiento	Combinación de Tratamientos	Factores codificados			
		Relación planta/sustrato	Concentración de Mordiente	Temperatura de teñido	Tiempo de teñido
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>1</b>	<i>(I)</i>	18	1	85	50
<b>2</b>	<i>a</i>	9	1	85	50
<b>3</b>	<i>b</i>	18	3	85	50
<b>4</b>	<i>ab</i>	9	3	85	50
<b>5</b>	<i>c</i>	18	1	98	50
<b>6</b>	<i>ac</i>	9	1	98	50
<b>7</b>	<i>bc</i>	18	1	98	50
<b>8</b>	<i>abc</i>	9	1	98	50
<b>9</b>	<i>d</i>	18	3	85	30
<b>10</b>	<i>ad</i>	9	3	85	30
<b>11</b>	<i>bd</i>	18	1	85	30
<b>12</b>	<i>abd</i>	9	1	85	30
<b>13</b>	<i>cd</i>	18	1	98	30
<b>14</b>	<i>acd</i>	9	1	98	30
<b>15</b>	<i>bcd</i>	18	3	98	30
<b>16</b>	<i>abcd</i>	9	3	98	30
<b>17</b>	<i>CT1</i>	<b>13.5</b>	<b>2</b>	<b>91.5</b>	<b>40</b>
<b>18</b>	<i>CT2</i>	<b>13.5</b>	<b>2</b>	<b>91.5</b>	<b>40</b>
<b>19</b>	<i>CT3</i>	<b>13.5</b>	<b>2</b>	<b>91.5</b>	<b>40</b>

Fuente: Elaboración propia

La interacción de los diferentes factores promueve experimentos muy eficientes, debido, a que cada observación provee información sobre todos los factores y es factible ver las respuestas de un factor en diferentes niveles de otro factor en el mismo experimento. La respuesta a cualquier factor observado en diferentes condiciones indica si los factores actúan en las unidades experimentales de manera independiente (Hoyos Mallqui, 2016).

### 3.7.2. VARIABLES DEL PROCESO DE TEÑIDO NATURAL DEL HILADO DE ALPACA CON CÚRCUMA

#### a) Variables de entrada: Teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*)

**Tabla 11**

*Dimensiones de Entrada del Proceso de Teñido*

DIMENSIONES	Nivel inferior	Punto	Nivel superior
	(-1)	intermedio	(+1)
A Relación planta/sustrato	9 %	13.5 %	18 %
B Concentración de mordiente	1 g/L	2 g/L	3 g/L
C Temperatura de teñido	85 °C	91.5 °C	98 °C
D Tiempo de teñido	30 minutos	40 minutos	50 minutos

Fuente: Elaboración propia

#### b) Variables de respuesta: Solidez del color

**Tabla 12**

*Dimensiones de Respuesta del Proceso de Teñido*

DIMENSIONES	Medición
Solidez del color al lavado	Grado de solidez según la escala de grises de transferencia de color.
Solidez del color al frote en seco	Grado de solidez según la escala de grises de transferencia de color.
Solidez del color a la luz	Grado de solidez según la escala de grises de cambio de color.

Fuente: Elaboración propia

### 3.7.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

Para el análisis de los datos estadísticos obtenidos mediante la escala de grises de cambio de color establecido en la NTP 231.005 y la escala de grises de transferencia de color establecida en la NTP 231.004, los cuales son datos cuantitativos; se utilizó el software estadístico MINITAB 19, donde se realizó las pruebas de los supuestos del ANOVA (normalidad, igualdad de varianzas y el test de independencia) con un nivel de significancia 0.05; también se realizó la prueba ANOVA (Análisis de varianza multifactorial, Tabla 13) del diseño de experimento factorial completo  $2^k$  con puntos centrales con un nivel de significancia de 0.05; ello con la finalidad de aceptar o rechazar las hipótesis de investigación, los cuales se presentaron en tablas y gráficos para un análisis detallado de los efectos. Asimismo, para determinar las diferencias significativas entre los tratamientos se realizó la prueba de Tukey, con un intervalo de confianza de 95 %.

#### Planteamiento de hipótesis

- **Hipótesis nula ( $H_0$ ):** No hay diferencias entre las medias de los diferentes grupos:  
 $\mu_1 = \mu_2 \dots = \mu_k = \mu$
- **Hipótesis alterna ( $H_1$ ):** Al menos un par de medias son significativamente distintas la una de la otra.

**Nivel de significancia ( $\alpha$ ):** 5 % (0.05)

**Prueba estadística:** Análisis de la Varianza (ANOVA)

**Tabla 13***Análisis de Varianza de un Diseño Factorial  $2^k$* 

Fuente de variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	$F_0$	Valor P
<b>K efectos principales</b>					
A	1	$SC_A$	$CM_A$	$CM_A/CM_E$	$P(F>F_0)$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
K	1	$SC_K$	$CM_K$	$CM_K/CM_E$	$P(F>F_0)$
<b>Interacciones de 2 factores</b>					
AB	1	$SC_{AB}$	$CM_{AB}$	$CM_{AB}/CM_E$	$P(F>F_0)$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
JK	1	$SC_{JK}$	$CM_{JK}$	$CM_{JK}/CM_E$	$P(F>F_0)$
<b>Interacciones de k factores</b>					
ABC ... K	1	$SC_{ABC...K}$	$CM_{ABC...K}$	$CM_{ABC...K}/CM_E$	$P(F>F_0)$
Error	$2^k(n-1)$	$SC_E$	$CM_E$		
Total	$n2^k-1$	$SC_T$			

*Nota:* ANOVA para k factores.

Fuente: Adaptado de Douglas C. Montgomery (2004)

**Regla de decisión**

A un nivel de significación del 5 % valor  $P < 0.05$  entonces se rechaza la Hipótesis Nula y se acepta la hipótesis Alternativa

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. SUPUESTOS DE ANÁLISIS DE VARIANZA

Para la presente investigación antes de efectuar el análisis de varianza, se analizó los siguientes supuestos de ANOVA: normalidad de los datos, la homogeneidad de varianzas y la independencia de los datos.

##### a) Supuestos de ANOVA para la dimensión solidez del color al lavado

- Prueba de Normalidad

Para determinar la normalidad de los datos se usó la prueba de Ryan-Joiner, que es similar a Shapiro-Wilk para datos menores a 50, nivel de significancia 0.05.

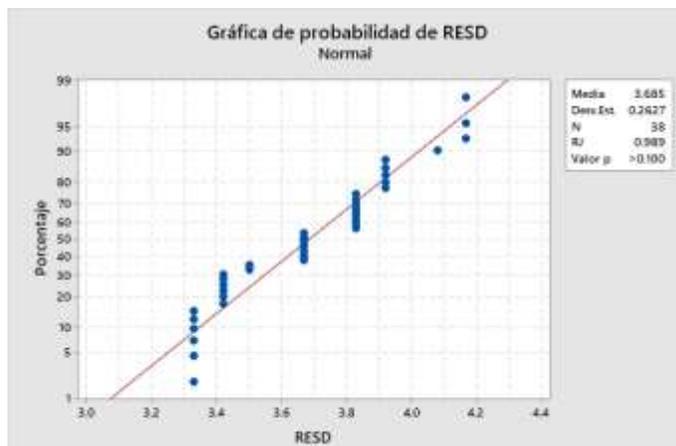
##### Hipótesis de normalidad

**H<sub>0</sub>:** Los datos presentan una distribución normal valor  $P > 0.05$

**H<sub>1</sub>:** Los datos no presentan una distribución normal valor  $P < 0.05$

##### Figura 24

*Grafica de Normalidad de los Residuos Para la Solidez del Color al Lavado*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 14***Resultados de la Prueba de Ryan-Joiner Para la Solidez del Color al Lavado*

	Media	Desviación Estándar	N	RJ	Valor p
Solidez al lavado	3.685	0.2627	38	0.989	>0.100

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 24 y en la Tabla 14, se observa claramente que el valor P de la prueba Ryan-Joiner es 0.989 lo cual es mayor al nivel de significancia 0.05; por lo que se concluye que los datos de la solidez al lavado presentan una distribución normal, esto significa que los datos cumplen el supuesto de normalidad; por ende, están aptos para realizar el análisis de varianza.

- **Prueba de Igualdad de Varianzas**

Para determinar la igualdad de varianzas de los datos se usó la prueba de Levene.

**Hipótesis de la prueba de igualdad de varianzas**

**H<sub>0</sub>:** Los niveles de los factores presentan varianzas constantes valor  $P > 0.05$

**H<sub>1</sub>:** Los niveles de los factores no presentan varianzas constantes valor  $P < 0.05$

**Tabla 15***Resultados de la Prueba de Levene Para la Solidez del Color al Lavado*

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0.736
Levene	2.25	0.144

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 15, se observa para la prueba Levene un valor  $P = 0.144$  lo cual es mayor al nivel de significancia 0.05; en conclusión, se acepta hipótesis nula, por tanto, los niveles de los factores presentan varianzas constantes; lo que significa que se está cumpliendo el supuesto de homogeneidad de varianzas y es apto para realizar el análisis de varianza.

- **Test de Independencia**

Para realizar el test de independencia se usó el estadístico Durbin-Watson.

### Hipótesis del estadístico Durbin-Watson

**H<sub>0</sub>:** Los datos no tienen autocorrelación

**H<sub>1</sub>:** Los datos tienen correlación

Si  $d < d_L$       Se rechaza  $H_0$   
Si  $d > d_U$       No se rechaza  $H_0$   
Si  $d_L \leq d \leq d_U$  Sin decisión

### Resultados del estadístico Durbin-Watson

Estadístico Durbin-Watson = 2.71365

Analizando y comparando el resultado (Estadístico Durbin-Watson = 2.71365) con la tabla A8 del anexo 5 (Límites para prueba de Durbin-Watson) no se rechaza la hipótesis nula, por tanto, los datos no tienen autocorrelación, lo que significa que son independientes y con esto se estaría cumpliendo el supuesto de independencia y es apto para realizar el análisis de varianza.

#### b) Supuestos de ANOVA para la variable solidez del color al frote en seco

- **Prueba de Normalidad**

Para determinar la normalidad de los datos se usó la prueba de Ryan-Joiner, que es similar a Shapiro-Wilk para datos menores a 50, nivel de significancia 0.05.

#### Hipótesis de normalidad

**H<sub>0</sub>:** Los datos presentan una distribución normal valor  $P > 0.05$

**H<sub>1</sub>:** Los datos no presentan una distribución normal valor  $P < 0.05$

**Tabla 16**

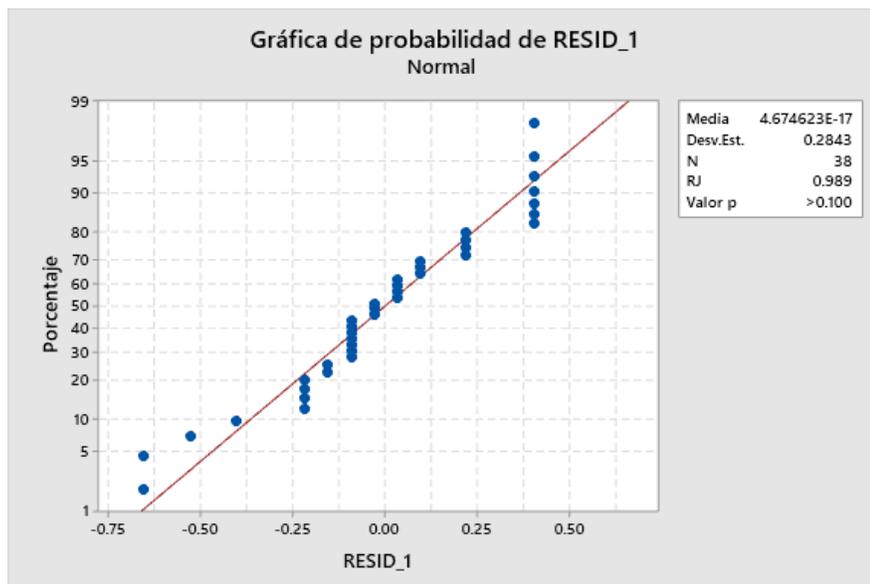
*Resultados de la Prueba de Ryan-Joiner Para la Solidez del Color al frote en Seco*

	Media	Desviación Estándar	N	RJ	Valor p
Solidez al frote en seco	4.674623E-17	0.2843	38	0.989	>0.100

Fuente: elaboración propia

**Figura 25**

*Grafica de Normalidad de los Residuos de Solidez del Color al Frote en Seco*



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 25 y en la Tabla 16, se puede observar claramente que el valor P de la prueba Ryan-Joiner es 0.989 lo cual es mayor al nivel de significancia 0.05; por lo que se concluye que los datos de la solidez al frote en seco presentan una distribución normal, ello significa que los datos cumplen el supuesto de normalidad, por ende, están aptos para realizar el análisis de varianza.

- **Prueba de Igualdad de Varianzas**

Para determinar la igualdad de varianzas de los datos se usó la prueba de Levene.

**Hipótesis de la prueba de igualdad de varianzas**

**H<sub>0</sub>:** Los niveles de los factores presentan varianzas constantes valor  $P > 0.05$

**H<sub>1</sub>:** Los niveles de los factores no presentan varianzas constantes valor  $P < 0.05$

**Tabla 17***Resultados de la Prueba de Levene Para la Solidez del Color al Frote en Seco*

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0.865
Levene	1.12	0.378

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 17, se observa para la prueba Levene un valor P de 0.378 lo cual es mayor al nivel de significancia 0.05; en conclusión, se acepta hipótesis nula, por tanto, los niveles de los factores presentan varianzas constantes, lo que significa que se está cumpliendo el supuesto de homogeneidad de varianzas y es apto para realizar el análisis de varianza.

- **Test de Independencia**

Para realizar el test de independencia se usó el estadístico Durbin-Watson.

**Hipótesis del estadístico Durbin-Watson****H<sub>0</sub>**: Los datos no tienen autocorrelación**H<sub>1</sub>**: Los datos tienen correlaciónSi  $d < d_L$  Se rechaza  $H_0$ Si  $d > d_U$  No se rechaza  $H_0$ Si  $d_L \leq d \leq d_U$  Sin decisión**Resultados del estadístico Durbin-Watson**

Estadístico Durbin-Watson = 2.39457

Analizando y comparando el resultado (Estadístico Durbin-Watson = 2.39457) con la tabla A8 del anexo 5 (Limites para prueba de Durbin-Watson) no se rechaza la hipótesis nula, por tanto, los datos no tienen autocorrelación, lo que significa que son independientes y con esto se estaría cumpliendo el supuesto de independencia y es apto para realizar el análisis de varianza.

c) **Supuestos de ANOVA para la dimensión solidez del color a la luz**

• **Prueba de Normalidad**

Para determinar la normalidad de los datos se usó la prueba de Ryan-Joiner, que es similar a Shapiro-Wilk para datos menores a 50, nivel de significancia 0.05.

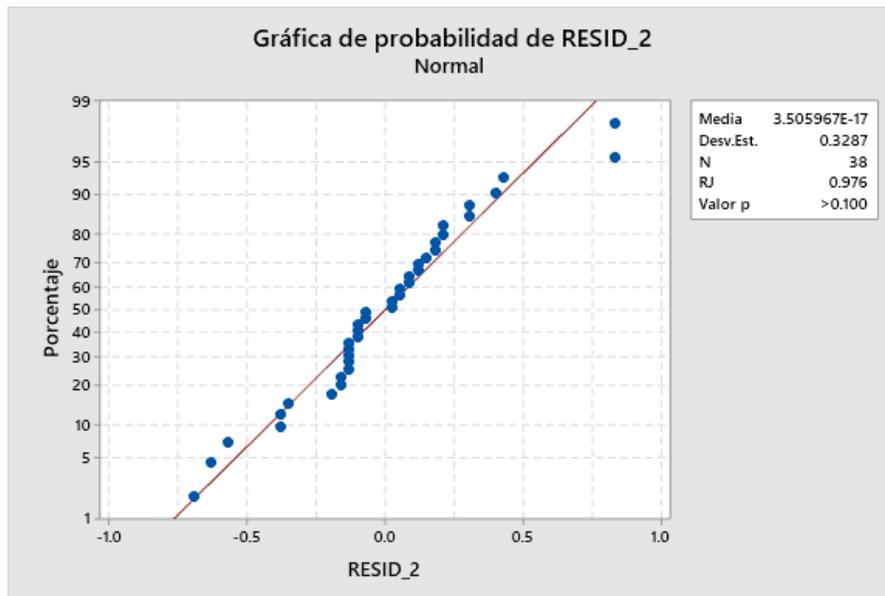
**Hipótesis de normalidad**

**H<sub>0</sub>**: Los datos presentan una distribución normal valor  $P > 0.05$

**H<sub>1</sub>**: Los datos no presentan una distribución normal valor  $P < 0.05$

**Figura 26**

*Gráfica de Normalidad de los Residuos de Solidez del Color a la Luz*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 18**

*Resultados de la Prueba de Ryan-Joiner Para la Solidez del Color a la Luz*

	Media	Desviación Estándar	N	RJ	Valor p
Solidez a la luz	3.505967E-17	0.3287	38	0.976	>0.100

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 26 y en la Tabla 18, se puede observar claramente que el valor P de la prueba Ryan-Joiner es 0.976 lo cual es mayor al nivel de significancia 0.05; por lo que se concluye que los datos de la solidez a la luz presentan una distribución normal, esto significa que los datos cumplen el supuesto de normalidad; por ende, están aptos para realizar el análisis de varianza.

- **Prueba de Igualdad de Varianzas**

Para determinar la igualdad de varianzas de los datos se usó la prueba de Levene.

**Hipótesis de la prueba de igualdad de varianzas**

**H<sub>0</sub>:** Los niveles de los factores presentan varianzas constantes valor  $P > 0.05$

**H<sub>1</sub>:** Los niveles de los factores no presentan varianzas constantes valor  $P < 0.05$

**Tabla 19**

*Resultados de la Prueba de Levene Para la Sólides del Color a la Luz*

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0.865
Levene	1.12	0.465

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 19, se observa para la prueba Levene un valor P de 0.465 lo cual es mayor al nivel de significancia 0.05; en conclusión, se acepta hipótesis nula, por tanto, los niveles de los factores presentan varianzas constantes, lo que significa que se está cumpliendo el supuesto de homogeneidad de varianzas y es apto para realizar el análisis de varianza.

- **Test de Independencia**

Para realizar el test de independencia se usó el estadístico Durbin-Watson.

**Hipótesis del estadístico Durbin-Watson**

**H<sub>0</sub>:** Los datos no tienen autocorrelación

**H<sub>1</sub>:** Los datos tienen correlación

- Si  $d < d_L$       Se rechaza  $H_0$
- Si  $d > d_U$       No se rechaza  $H_0$
- Si  $d_L \leq d \leq d_U$  Sin decisión

## Resultados del estadístico Durbin-Watson

Estadístico Durbin-Watson = 1.63820

Analizando y comparando el resultado (Estadístico Durbin-Watson = 1.63820) con la tabla A8 del anexo 5 (Límites para prueba de Durbin-Watson) se concluye sin decisión, por tanto, no se puede afirmar si los datos tienen autocorrelación.

## 4.2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN POR OBJETIVOS

### 4.2.1. DETERMINACIÓN DEL EFECTO DEL TEÑIDO NATURAL CON CÚRCUMA (*cúrcuma longa*) EN LA SOLIDEZ DEL COLOR DEL HILADO DE ALPACA PARA LA ARTESANÍA TEXTIL, PUNO 2020.

#### a) CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS GENERAL

- El teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) tiene efectos significativos en la solidez del color del hilado de alpaca.

#### Planteamiento de hipótesis

- **Hipótesis nula ( $H_0$ ):** El teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) no tiene efectos significativos en la solidez del color del hilado de alpaca.
- **Hipótesis alterna ( $H_1$ ):** El teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) tiene efectos significativos en la solidez del color del hilado de alpaca.

Nivel de significancia ( $\alpha$ ): 5 % (0.05)

**Prueba estadística:** Análisis de la Varianza (ANOVA)  $F_0 = \frac{CMA}{CME} \rightarrow P(F > F_0)$ , ver Tabla 13.

**Tabla 20***Análisis de Varianza del Modelo Completo Para la Solidez del Color*

<b>FACTOR</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
Modelo	11	1.18889	0.108081	8.18	0.000
Lineal	4	0.63402	0.158505	12.00	0.000
A: Relación planta/sustrato	1	0.45204	0.452042	34.21	0.000
B: Concentración mordiente	1	0.01517	0.015167	1.15	0.294
C: Temperatura de teñido	1	0.00006	0.000059	0.00	0.947
D: Tiempo de teñido	1	0.16675	0.166753	12.62	0.001
Interacciones de 2 términos	6	0.55168	0.091947	6.96	0.000
AB	1	0.00525	0.005253	0.40	0.534
AC	1	0.35350	0.353500	26.76	0.000
AD	1	0.00217	0.002167	0.16	0.689
BC	1	0.01459	0.014592	1.10	0.303
BD	1	0.00064	0.000642	0.05	0.827
CD	1	0.17553	0.175528	13.29	0.001
Curvatura	1	0.00318	0.003184	0.24	0.628
Error	26	0.34352	0.013212		
Falta de ajuste	5	0.18241	0.036483	4.76	0.005
Error puro	21	0.16111	0.007672		
Total	37	1.53241			

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 20, muestra los resultados del Análisis de la Varianza para la solidez del color del hilado de alpaca teñido con cúrcuma (*cúrcuma longa*). Con un nivel de significancia de 5 % y un valor P = 0.000 el modelo del experimento es significativo, así mismo con una probabilidad de error del 0 % (valor P = 0.000) el factor de relación planta/sustrato y el tiempo de teñido con una probabilidad de error del 1 % (valor P = 0.001) tienen efectos significativos en la solidez del color del hilado de alpaca teñido con cúrcuma; mientras que los factores concentración de mordiente y temperatura de teñido no tienen un efecto significativo en la solidez del color. La interacción de los factores (modelo: 2 términos) Relación planta/sustrato vs. temperatura de

teñido y temperatura de teñido vs. tiempo de teñido tienen efectos significativos en la solidez del color, en tanto las demás interacciones de 2 términos no tienen efectos significativos en la solidez del color.

### Regla de decisión

Con un nivel de significancia del 5 % y un P valor = 0.000 del modelo, el cual es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna y se declara que el teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) tiene efectos significativos en la solidez del color del hilado de alpaca.

### Conclusión

A un nivel de significancia del 5 %, el modelo del experimento (P valor = 0.000) del teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) tiene un efecto significativo en la solidez del color del hilado de alpaca, lo que significa que el experimento realizado para teñir hilado de alpaca con cúrcuma (*cúrcuma longa*) tomando en cuenta los factores relación planta/sustrato, concentración de mordiente, temperatura de teñido y tiempo de teñido es significativo e influyen en la solidez del color.

### Tabla 21

*Resumen del Modelo del Experimento*

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.114945	77.58 %	68.10 %	51.19 %

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 21, se observa un R cuadrado igual a 77.58 % lo cual es mayor al 75 %, ello indica que el modelo lineal se ajusta bien a los datos y que existe variabilidad de los datos de la solidez del color en torno a su media.

La ecuación de regresión en unidades no codificadas del presente experimento tomando en cuenta 2 interacciones se muestra a continuación:

$$\text{Solidez del color} = 2.73 + 0.3154 A + 0.335 B + 0.0097 C - 0.1081 D - 0.00285 AB - 0.003593 AC - 0.000183 AD - 0.00329 BC - 0.00045 BD + 0.001139 CD - 0.0251 \text{ Pt Ctral}$$

#### 4.2.2. DETERMINACIÓN DEL EFECTO DEL TEÑIDO NATURAL CON CÚRCUMA (*cúrcuma longa*) EN LA SOLIDEZ DEL COLOR AL LAVADO DEL HILADO DE ALPACA

##### a) RESULTADOS DESCRIPTIVOS

**Tabla 22**

*Resultados descriptivos de la solidez del color al lavado*

Tratamientos de acuerdo al diseño experimental	Solidez del color al lavado				
	Escala de grises				
	Calificación aceptable			Calificación no aceptable	
	Muy Buena (5 – 4/5)	Buena (4 – 3/4)	Suficiente (3)	Regular (2- 2/3)	Escasa (1- 1/2)
T1 = (18%, 1 g/L, 85°C, 50 min)			X		
T2 = (9%, 1 g/L, 85°C, 50 min.)		X			
T3 = (18%, 3 g/L, 85°C, 50 min.)			X		
T4 = (9%, 3 g/L, 85°C, 50 min.)			X		
T5 = (18%, 1 g/L, 98 °C, 50 min.)			X		
T6 = (9%, 1 g/L, 98 °C, 50 min.)		X			
T7 = (18%, 1 g/L, 98 °C, 50 min.)			X		
T8 = (9%, 1 g/L, 98 °C, 50 min.)		X			
T9 = (18%, 3 g/L, 85°C, 30 min.)		X			
T10 = (9%, 3 g/L, 85 °C, 30 min.)		X			
T11 = (18%, 1 g/L, 85°C, 30 min.)		X			
T12 = (9%, 1 g/L, 85°C, 30 min.)		X			
T13 = (18%, 1 g/L, 98 °C, 30 min.)			X		
T14 = (9%, 1 g/L, 98 °C, 30 min.)		X			
T15 = (18%, 3 g/L, 98 °C, 30 min.)			X		
T16 = (9%, 3 g/L, 98 °C, 30 min.)		X			
T17 = (13.5%, 2g/L, 91.5 °C, 40min.)		X			

*Nota:* Tratamiento (T).

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 22, se observa que los resultados de solidez del color al lavado de los experimentos realizados se encuentran en la calificación aceptable en la escala de grises, lo que significa que el teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) usando los parámetros de teñido de cada tratamiento resultan aceptables en cuanto a la solidez del color al lavado; siendo así que los tratamientos T2, T6, T8, T9, T10, T11, T12, T14, T16 y T17 tienen una buena solidez del color al lavado, esto significa que las prendas elaboradas con este hilado teñido tienen una buena resistencia del color al ser expuestas a agentes externos de lavados. Así mismo los tratamientos T1, T3, T4, T5, T7, T13 y T15 tienen suficiente solidez del color al lavado; por tanto, se deduce que una prenda elaborada de hilos teñidos con cúrcuma tiene una resistencia del color al lavado aceptable. Por consiguiente, estas prendas pasan el control de calidad en cuanto a solidez del color al lavado y pueden salir al mercado.

#### **b) CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS ESPECIFICA 1**

El teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) tiene un efecto significativo en la solidez del color al lavado del hilado de alpaca.

#### **Planteamiento de hipótesis**

Se plantea las hipótesis de acuerdo a las dimensiones de la variable independiente: *teñido natural con cúrcuma (cúrcuma longa)*.

##### ***Relación planta/sustrato***

- **Hipótesis nula ( $H_0$ ):** La relación planta/sustrato no tiene un efecto significativo en la solidez del color al lavado del hilado de alpaca.
- **Hipótesis alterna ( $H_1$ ):** La relación planta/sustrato tiene un efecto significativo en la solidez del color al lavado del hilado de alpaca.

##### ***Concentración de mordiente***

- **Hipótesis nula ( $H_0$ ):** La concentración de mordiente no tiene un efecto significativo en la solidez del color al lavado del hilado de alpaca.
- **Hipótesis alterna ( $H_1$ ):** La concentración de mordiente tiene un efecto significativo en la solidez del color al lavado del hilado de alpaca.

### *Temperatura de teñido*

- **Hipótesis nula ( $H_0$ ):** La temperatura de teñido no tiene un efecto significativo en la solidez del color al lavado del hilado de alpaca.
- **Hipótesis alterna ( $H_1$ ):** La temperatura de teñido tiene un efecto significativo en la solidez del color al lavado del hilado de alpaca.

### *Tiempo de teñido*

- **Hipótesis nula ( $H_0$ ):** El tiempo de teñido no tiene un efecto significativo en la solidez del color al lavado del hilado de alpaca.
- **Hipótesis alterna ( $H_1$ ):** El tiempo de teñido tiene un efecto significativo en la solidez del color al lavado del hilado de alpaca.

**Nivel de significancia ( $\alpha$ ):** 5 % (0.05)

**Prueba estadística:** Análisis de la Varianza (ANOVA)

$$F_0 = \frac{CMA}{CME} \rightarrow P(F > F_0), \text{ ver Tabla 13, Análisis de varianza de un diseño factorial } 2^k.$$

**Tabla 23**

*Análisis de la Varianza Para la Solidez del Color al Lavado del Hilado de Alpaca Teñido con Cúrcuma (cúrcuma longa).*

<b>FACTOR</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
Modelo	11	2.40433	0.21858	38.09	0.000
Lineal	4	1.68619	0.42155	73.45	0.000
A: Relación planta/sustrato	1	1.09150	1.09150	190.19	0.000
B: Concentración mordiente	1	0.01088	0.01088	1.90	0.180
C: Temperatura de teñido	1	0.21615	0.21615	37.66	0.000
D: Tiempo de teñido	1	0.36765	0.36765	64.06	0.000
Interacciones de 2 términos	6	0.53514	0.08919	15.54	0.000
AB	1	0.00228	0.00228	0.40	0.534
AC	1	0.40275	0.40275	70.18	0.000
AD	1	0.01575	0.01575	2.74	0.110
BC	1	0.00633	0.00633	1.10	0.303
BD	1	0.02703	0.02703	4.71	0.039
CD	1	0.08100	0.08100	14.11	0.001
Curvatura	1	0.18300	0.18300	31.89	0.000
Error	26	0.14922	0.00574		
Falta de ajuste	5	0.11922	0.02384	16.69	0.000
Error puro	21	0.03000	0.00143		
Total	37	2.55355			

---

$R^2 = 94.16 \%$   $R^2_{aju} = 91.68 \%$  Nivel de significancia 5 %

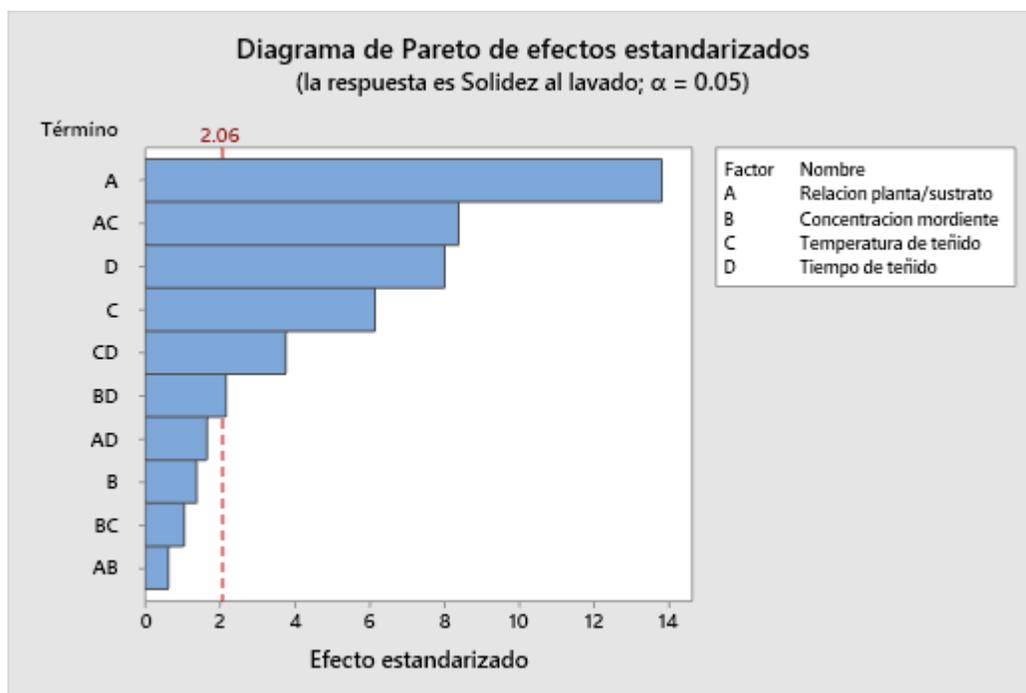
Fuente: Elaboración propia

La Tabla 23, muestra los resultados del Análisis de la Varianza para la solidez del color al lavado del hilado de alpaca teñido con cúrcuma (*cúrcuma longa*) al 5 % de nivel de significancia, del cual con una probabilidad de error del 0 % (valor p = 0.000) los factores de relación planta/sustrato, temperatura de teñido y tiempo de teñido tienen efectos significativos en la solidez del color al lavado del hilado de alpaca teñido con cúrcuma, mientras que el factor concentración de mordiente no tiene efecto significativo en la solidez del color al lavado. La

interacción de los factores (modelo: 2 términos) Relación planta/sustrato vs. temperatura de teñido, concentración de mordiente vs. tiempo de teñido y temperatura de teñido vs. tiempo de teñido tienen efectos significativos en la solidez del color al lavado, mientras que las demás interacciones de 2 términos no tienen efectos significativos sobre la solidez del color al lavado; también se puede observar el  $R^2 = 94.16\%$  y  $R^2_{aju} = 91.68\%$ , lo que significa que el modelo lineal se ajusta bien a los datos y que existe variabilidad en los datos de la solidez del color al lavado. Lo mencionado anteriormente se puede observar en la Figura 28.

**Figura 27**

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



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 27, se muestran en forma ordenada los factores más influyentes sobre la solidez del color al lavado, el diagrama contiene una línea vertical cuya ubicación depende del intervalo de confianza dado en el estudio (95 % para la presente investigación); por lo que se interpreta que todo efecto que sobrepase la línea es significativo en la investigación. En la Tabla 23 como en la Figura 27, se muestran claramente que tres factores de la variable independiente son altamente significativos. El factor relación planta/sustrato es el que tiene mayor efecto en la

solidez del color al lavado, seguido del tiempo de teñido y la temperatura de teñido; esto significa que un cambio en los niveles de estos factores tendrá un efecto más relevante que las otras; sin embargo, el factor concentración de mordiente no tiene efecto en la solidez del color al lavado. La interacción entre los factores temperatura de teñido con relación planta/sustrato y con tiempo de teñido tienen efectos significativos en la solidez del color al lavado.

### **Regla de decisión**

- Con un nivel de significancia del 5 % P valor = 0.000 lo cual es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna y se declara que la relación planta/sustrato tiene un efecto significativo en la solidez del color al lavado del hilado de alpaca.
- Con un nivel de significancia del 5 % P valor = 0.180 lo cual es mayor a 0.05, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna y se declara que la concentración de mordiente no tiene un efecto significativo en la solidez del color al lavado del hilado de alpaca.
- Con un nivel de significancia del 5 % P valor = 0.000 lo cual es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna y se declara que la temperatura de teñido tiene un efecto significativo en la solidez del color al lavado del hilado de alpaca.
- Con un nivel de significancia del 5 % P valor = 0.000 lo cual es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna y se declara que el tiempo de teñido tiene un efecto significativo en la solidez del color al lavado del hilado de alpaca.

### **Conclusión**

A un nivel de significancia del 5%, la relación planta/sustrato (P valor = 0.00), la temperatura (P valor = 0.00) y el tiempo (P valor = 0.00) del teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) tienen un efecto significativo en la solidez del color al lavado del hilado de alpaca, lo que significa que estos parámetros influyen de manera significativa en el teñido para obtener una alta solidez del color al lavado.

### c) EFECTOS ESTIMADOS PARA LA SOLIDEZ DEL COLOR AL LAVADO

Los efectos de las dimensiones relación planta/sustrato, concentración de mordiente, temperatura de teñido y tiempo de teñido en la solidez del color al lavado del hilo teñido se muestran en la Tabla 24 y la Figura 28.

**Tabla 24**

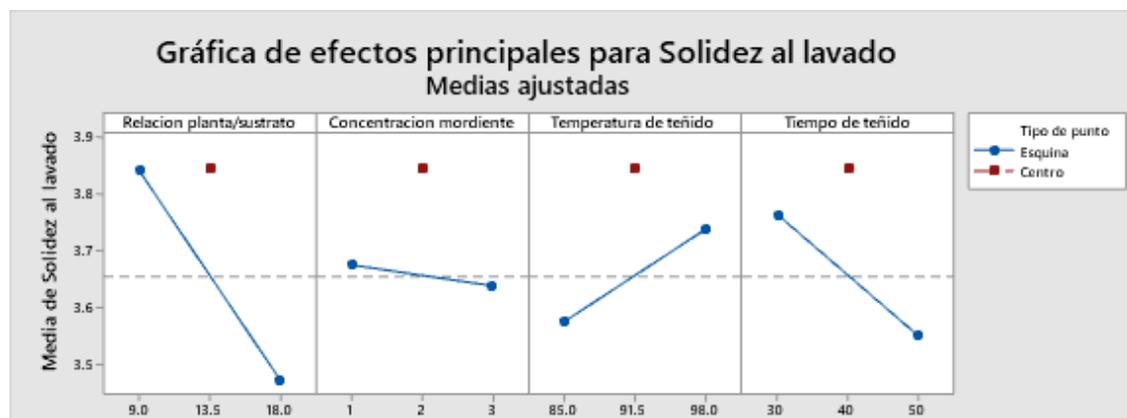
*Efectos Estimados Para la Solidez del Color al Lavado*

Término	Efecto
Relación planta/sustrato	-0.3694
Concentración mordiente	-0.0369
Temperatura de teñido	0.1644
Tiempo de teñido	-0.2144

Fuente: Elaboración propia

**Figura 28**

*Gráfico de Efectos Principales para la Solidez del Color al Lavado*



Fuente: Elaboración propia

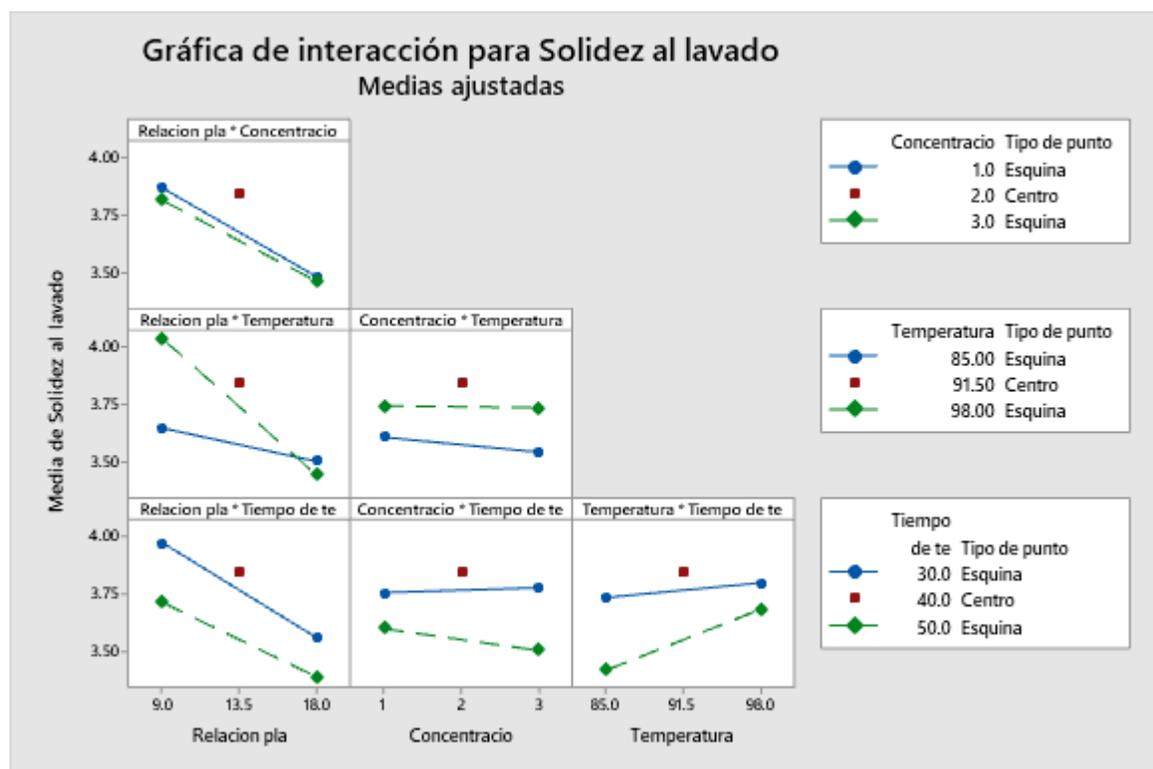
De los resultados de la Tabla 24 y la Figura 28, se indica que:

- Cuando el factor relación planta/sustrato aumenta de 9 % a 18 %, la solidez del color al lavado del hilo teñido disminuye en promedio -0.3694; lo que significa que tiene un efecto inverso en la solidez del color al lavado.

- Cuando el factor concentración de mordiente varía de 1 g/L a 3 g/L, la solidez del color al lavado del hilo teñido disminuye en promedio -0.0369; lo que expresa que tiene un efecto inverso en la solidez del color al lavado.
- En cambio, cuando el factor temperatura de teñido aumenta de 85 °C a 98 °C, la solidez del color al lavado del hilo teñido aumenta en promedio 0.1644; lo cual indica tener un efecto directo en la solidez del color al lavado.
- Cuando se produce un aumento en el tiempo de teñido de 30 minutos a 50 minutos, la solidez del color al lavado del hilo teñido disminuye en promedio -0.2144, lo cual indica tener un efecto inverso en la solidez del color al lavado.

**Figura 29**

*Grafica de Interacción Para la Solidez del Color al Lavado*



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 29, se observa la interacción de las dimensiones, donde se visualiza la solidez al lavado en función de la combinación de los factores; se percibe que la interacción de los factores relación planta/sustrato y temperatura de teñido posee mayor solidez que las demás

interacciones, es decir dicha interacción tiene un efecto significativo en la solidez del color al lavado.

**d) DIFERENCIAS ESTADÍSTICAS ENTRE LOS TRATAMIENTOS PARA LA SOLIDEZ AL LAVADO**

Para encontrar las diferencias estadísticas entre los tratamientos, se realizó la prueba de Tukey con un intervalo de confianza de 95 %, ver la Tabla 25.

**Tabla 25**

*Diferencias Estadísticas Entre Tratamientos Para la Solidez del Color al Lavado Según la Prueba de Tukey*

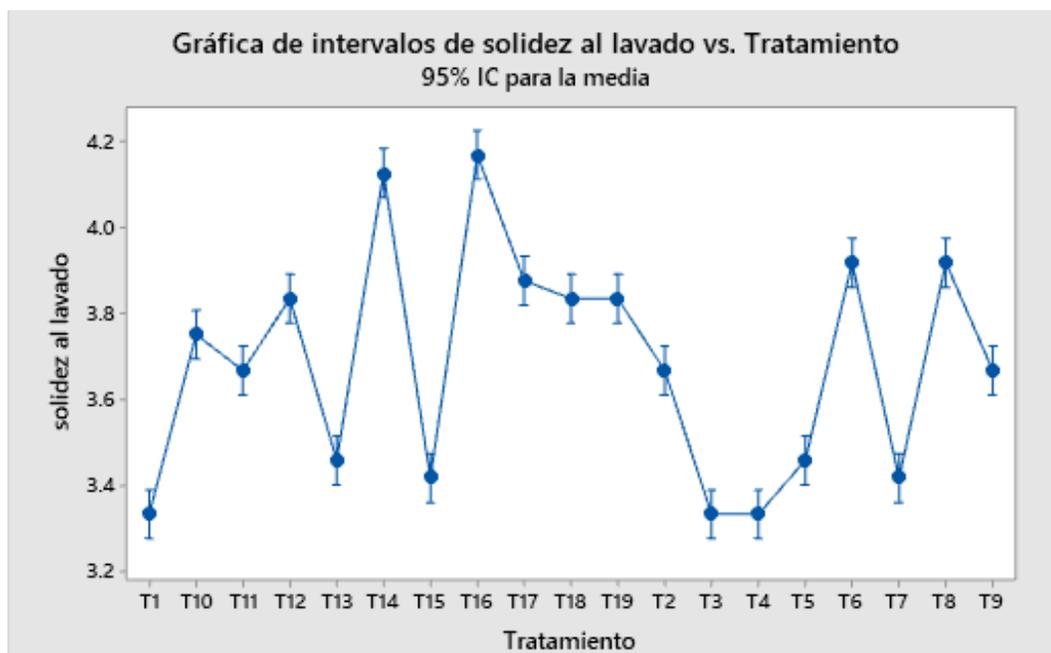
Tratamiento	Repeticiones (N)	Media	Agrupación
T16	2	4.167	A
T14	2	4.1250	A
T8	2	3.917	B
T6	2	3.917	B
T17	2	3.8750	BC
T19	2	3.833	BC
T18	2	3.833	BC
T12	2	3.833	BC
T10	2	3.7500	CD
T9	2	3.667	D
T2	2	3.667	D
T11	2	3.667	D
T5	2	3.4583	E
T13	2	3.4583	E
T7	2	3.417	E
T15	2	3.417	E
T4	2	3.333	E
T3	2	3.333	E
T1	2	3.333	E

*Nota:* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Fuente: Elaboración propia

**Figura 30**

*Grafica de Intervalos de la Solidez del Color al Lavado en Función de los Tratamientos*



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 25, muestra las diferencias estadísticas entre tratamientos por medio de la prueba Tukey, en el cual se logra observar claramente que el tratamiento 16 (hilo de alpaca teñido con una relación planta/sustrato de 9 %, concentración de mordiente 3 g/L, a una temperatura de teñido de 98 °C y 30 minutos en el tiempo de teñido) tiene una alta solidez del color al lavado del hilado teñido con cúrcuma, con una media de 4.167 por lo que lleva el primer literal; así mismo, dicho tratamiento tiene mayor diferencia significativa. De acuerdo a los literales los tratamientos 4 (hilo de alpaca teñido con una relación planta/sustrato de 9 %, concentración de mordiente 3 g/L, a una temperatura de teñido de 85 °C y 50 minutos en el tiempo de teñido), 3 (hilo de alpaca teñido con una relación planta/sustrato de 18 %, concentración de mordiente 3 g/L, a una temperatura de teñido de 85 °C y 50 minutos en el tiempo de teñido) y 1 (hilo de alpaca teñido con una relación planta/sustrato de 18 %, concentración de mordiente 1 g/L, a una temperatura de teñido de 85 °C y 50 minutos en el tiempo de teñido) presentan una baja solidez del color al lavado del hilado teñido con cúrcuma, dicho resultado también se logra observar en la Figura 30.

## e) DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los factores relación planta/sustrato, temperatura y tiempo del teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) tienen efectos significativos en la solidez del color al lavado del hilado de alpaca, y considerando para los factores y niveles con valores de 9 y 18 %, 85 y 98 °C, 30 y 50 minutos respectivamente se obtiene resultados de la solidez del color al lavado mayores a 3.33 de acuerdo a la escala grises dado por la NTP 231.004, asimismo para los factores y niveles con valores de 9 %, 98 °C y 30 minutos respectivamente se obtiene una alta solidez del color al lavado con un resultado de 4.17, lo cual es buena y aceptable según la escala de grises.

Para Mellizo Salinas (2018), los resultados de solidez del color al lavado para el teñido de algodón con cúrcuma que obtuvo; son mayores a 3.75 considerando los factores de concentración de colorante de 8%, con un temperatura de 60 y 100 °C y un tiempo de teñido de 45 y 90 minutos; asimismo, para dichos factores con valores de 8 %, 100 °C y 90 minutos respectivamente se obtuvo una alta solidez al lavado con un resultado de 4.41; dicha diferencia en los resultados se debería a que el autor trabajó con el teñido de algodón y consideró distintos factores y/o niveles a la presente investigación durante el proceso de experimentación, además, el algodón requiere diferentes parámetros para absorber el colorante. Por otro lado para Naveed et al., (2020), los resultados de solidez del color al lavado para el teñido de algodón con la mezcla de cáscara de granada (*Punica Granatum L.*) y rizoma de cúrcuma (*Cúrcuma Longa L.*) que obtuvo están en un rango de 4 – 4.5 considerando una temperatura de 65 °C y un tiempo de teñido 40 minutos, dicho resultado concuerda con la presente investigación, sin embargo, los parámetros usados son diferentes; por tanto, esto se debería a que el autor realizó el teñido en algodón lo cual requiere diferentes parámetros de acuerdo a sus características.

Para Hoyos Mallqui (2016), los resultados de solidez del color al lavado para el teñido de fibra de alpaca con frutos de mío-mío (*cariarí ruscifolia*) que obtuvo; son mayores a 1.22 considerando los factores de mordiente alumbre y ácido sulfúrico H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, pH 4.5 y 3.5, y temperatura 80 °C y 90 °C; del mismo modo, para los factores de mordiente ácido sulfúrico H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, a pH 3.5 y a temperatura 90 °C respectivamente se obtuvo una alta solidez del color al lavado con un resultado de 4.88; por ende, esta diferencia en los resultados se debería a que el autor trabajó con un material tintóreo diferente y consideró distintos factores y/o niveles a la

presente investigación durante el proceso de teñido. Así también comparando con Nina Aguilar (2018), señala que los resultados de solidez de color al lavado del teñido de la fibra de alpaca con inflorescencia de collí son mayores a 4, tomando en cuenta los factores temperatura de 40 °C y tiempo 20 minutos; por otra parte, para los factores temperatura de 84 °C y tiempo 60 minutos se obtuvo una alta solidez del color al lavado con un valor de 5; dicha diferencia en los resultados se debería a que el autor trabajo con distintos niveles en los factores temperatura y tiempo. En tal sentido, todo ello indica que la temperatura de teñido influye de manera significativa en la solidez del color del color al lavado de los teñidos de fibra de alpaca con colorantes naturales, lo cual concuerda con la teoría.

**4.2.3. DETERMINACIÓN DEL EFECTO DEL TEÑIDO NATURAL CON CÚRCUMA (*cúrcuma longa*) EN LA SOLIDEZ DEL COLOR AL FROTE EN SECO DEL HILADO DE ALPACA**

**a) RESULTADOS DESCRIPTIVOS**

**Tabla 26**

*Resultados Descriptivos de la Solidez del Color al Frote en Seco*

<b>Tratamientos de acuerdo al diseño experimental</b>	<b>Solidez del color al frote en seco</b>				
	Escala de grises				
	Calificación aceptable			Calificación no aceptable	
	Muy Buena (5 – 4/5)	Buena (4 – 3/4)	Suficiente (3)	Regular (2- 2/3)	Escasa (1- 1/2)
T1 = (18%, 1 g/L, 85°C, 50 min)		X			
T2 = (9%, 1 g/L, 85°C, 50 min.)	X				
T3 = (18%, 3 g/L, 85°C, 50 min.)		X			
T4 = (9%, 3 g/L, 85°C, 50 min.)		X			
T5 = (18%, 1 g/L, 98 °C, 50 min.)		X			
T6 = (9%, 1 g/L, 98 °C, 50 min.)		X			
T7 = (18%, 1 g/L, 98 °C, 50 min.)		X			
T8 = (9%, 1 g/L, 98 °C, 50 min.)	X				
T9 = (18%, 3 g/L, 85°C, 30 min.)	X				
T10 = (9%, 3 g/L, 85 °C, 30 min.)	X				
T11 = (18%, 1 g/L, 85°C, 30 min.)	X				
T12 = (9%, 1 g/L, 85°C, 30 min.)	X				
T13 = (18%, 1 g/L, 98 °C, 30 min.)		X			
T14 = (9%, 1 g/L, 98 °C, 30 min.)	X				
T15 = (18%, 3 g/L, 98 °C, 30 min.)			X		
T16 = (9%, 3 g/L, 98 °C, 30 min.)	X				
T17 = (13.5%, 2g/L, 91.5 °C, 40min.)		X			

*Nota:* Tratamiento (T).

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 26, se observa que los resultados de solidez del color al frote en seco de los experimentos realizados se encuentran en la calificación aceptable en la escala de grises, lo que significa que el teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) usando los parámetros de teñido de cada tratamiento resultan aceptables en cuanto a la solidez del color al frote en seco; siendo así que los tratamientos T2, T8, T9, T10, T11, T12, T14 y T16 tienen muy buena solidez del color al frote en seco, es decir que no transfieren color al someterlos con otro cuerpo textil. Así mismo, los tratamientos T1, T3, T4, T5, T7, T13 y T17 tienen buena solidez del color al frote en seco, y el T15 tiene suficiente solidez del color al frote en seco; ello significa que las prendas elaboradas con hilado de alpaca teñido con cúrcuma tienen la capacidad de resistencia del color cuando es sometido al frote con cuerpos externos. Por tanto, estas prendas pasan el control de calidad en cuanto a solidez del color al frote en seco y pueden salir al mercado.

## **b) CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2**

El teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) tienen un efecto significativo en la solidez del color al frote en seco del hilado de alpaca.

### **Planteamiento de hipótesis**

Se plantea las hipótesis de acuerdo a las dimensiones de la variable independiente: *teñido natural con cúrcuma (cúrcuma longa)*.

#### ***Relación planta/sustrato***

- **Hipótesis nula ( $H_0$ ):** La relación planta/sustrato no tiene un efecto significativo en la solidez del color al frote en seco del hilado de alpaca.
- **Hipótesis alterna ( $H_1$ ):** La relación planta/sustrato tiene un efecto significativo en la solidez del color al frote en seco del hilado de alpaca.

#### ***Concentración de mordiente***

- **Hipótesis nula ( $H_0$ ):** La concentración de mordiente no tiene un efecto significativo en la solidez del color al frote en seco del hilado de alpaca.
- **Hipótesis alterna ( $H_1$ ):** La concentración de mordiente tiene un efecto significativo en la solidez del color al frote en seco del hilado de alpaca.

### *Temperatura de teñido*

- **Hipótesis nula ( $H_0$ ):** La temperatura de teñido no tiene un efecto significativo en la solidez del color al frote en seco del hilado de alpaca.
- **Hipótesis alterna ( $H_1$ ):** La temperatura de teñido tiene un efecto significativo en la solidez del color al frote en seco del hilado de alpaca.

### *Tiempo de teñido*

- **Hipótesis nula ( $H_0$ ):** El tiempo de teñido no tiene un efecto significativo en la solidez del color al frote en seco del hilado de alpaca.
- **Hipótesis alterna ( $H_1$ ):** El tiempo de teñido tiene un efecto significativo en la solidez del color al frote en seco del hilado de alpaca.

**Nivel de significancia ( $\alpha$ ):** 5 % (0.05)

**Prueba estadística:** Análisis de la Varianza (ANOVA)

$$F_0 = \frac{CMA}{CME} \rightarrow P(F > F_0), \text{ ver Tabla 13, Análisis de varianza de un diseño factorial } 2^k.$$

**Tabla 27**

*Análisis de la Varianza Para la Solidez del Color al Frote en Seco del Hilado de Alpaca Teñido con Cúrcuma (cúrcuma longa).*

<b>FACTOR</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
Modelo	11	6.50055	0.59096	10.77	0.000
Lineal	4	4.93750	1.23438	22.49	0.000
A: Relación planta/sustrato	1	3.12500	3.12500	56.93	0.000
B: Concentración mordiente	1	0.00000	0.00000	0.000	1.000
C: Temperatura de teñido	1	1.53125	1.53125	27.90	0.000
D: Tiempo de teñido	1	0.28125	0.28125	5.12	0.032
Interacciones de 2 términos	6	1.56250	0.26042	4.74	0.002
AB	1	0.03125	0.03125	0.57	0.457
AC	1	1.12500	1.12500	20.50	0.000
AD	1	0.00000	0.00000	0.00	1.000
BC	1	0.00000	0.00000	0.00	1.000
BD	1	0.12500	0.12500	2.28	0.143
CD	1	0.28125	0.28125	5.12	0.032
Curvatura	1	0.00055	0.00055	0.01	0.921
Error	26	1.42708	0.05489		
Falta de ajuste	5	0.96875	0.19375	8.88	0.000
Error puro	21	0.45833	0.02183		
Total	37	7.92763			
$R^2 = 82.00 \%$ $R^2_{aju} = 74.38 \%$			Nivel de significancia 5 %		

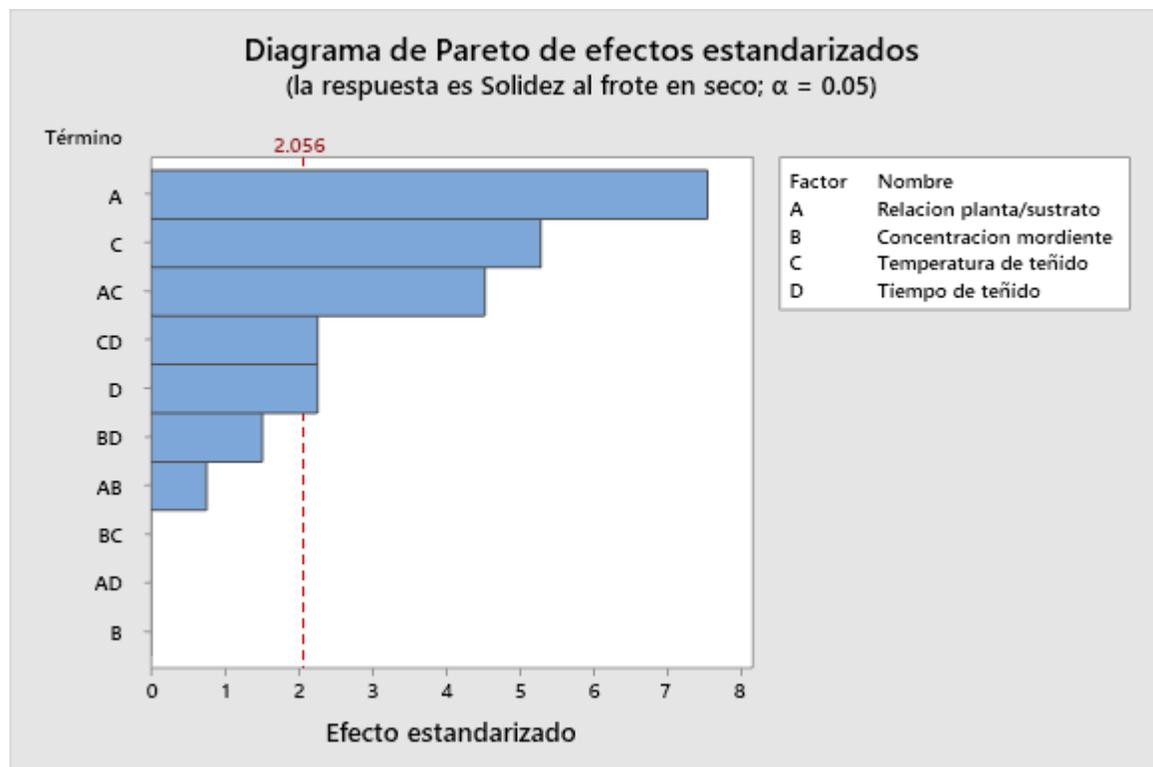
Fuente: Elaboración propia

La Tabla 27, muestra los resultados del Análisis de la Varianza para la solidez del color al frote en seco del hilado de alpaca teñido con cúrcuma (*cúrcuma longa*) al 5 % de nivel de significancia; del cual los factores de relación planta/sustrato y temperatura de teñido con una probabilidad de error del 0 % (valor p = 0.000) y el factor tiempo de teñido con una probabilidad de error del 3.2 % (valor p = 0.032) tienen efectos significativos en la solidez del color al frote en seco del hilado de alpaca teñido con cúrcuma, sin embargo el factor concentración de

mordiente no tiene un efecto significativo en la solidez del color al frote en seco. La interacción de las dimensiones (modelo: 2 términos) Relación planta/sustrato vs. temperatura de teñido y temperatura de teñido vs. tiempo de teñido tienen efectos significativos en la solidez del color al frote en seco, mientras que las demás interacciones de 2 términos no tienen efectos significativos sobre la solidez al frote en seco; también se puede observar el  $R^2 = 82.00\%$  y  $R^2_{aju} = 74.38\%$ , ello significa que el modelo lineal se ajusta bien a los datos y que existe variabilidad en los datos de la solidez al lavado. En relación a lo mencionado anteriormente, también se puede observar gráficamente en el diagrama de Pareto para los efectos estandarizados.

**Figura 31**

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



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 31, se muestran en forma ordenada los factores más influyentes sobre la solidez del color al frote en seco, el diagrama contiene una línea vertical cuya ubicación depende

del intervalo de confianza dado en el estudio (95 % para la presente investigación); por tanto, todo efecto que sobrepase la línea vertical es significativo en la investigación. En la Tabla 27 como en la Figura 31, se muestran claramente que tres factores son significativos; siendo así, que el factor relación planta/sustrato es la que tiene mayor efecto en la solidez del color al frote en seco, seguido de la temperatura de teñido y tiempo de teñido; ello significa que un cambio en los niveles de estos factores tendrá un efecto más relevante que las otras; del mismo modo, la interacción entre los factores relación planta/sustrato y temperatura de teñido son significativos; sin embargo, el factor concentración de mordiente no tiene ningún efecto en la solidez del color al frote en seco.

### **Regla de decisión**

- Con un nivel de significancia del 5 % P valor = 0.000 lo cual es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna y se declara que la relación planta/sustrato tiene efecto en la solidez del color al frote en seco del hilado de alpaca.
- Con un nivel de significancia del 5 % P valor = 1.000 lo cual es mayor a 0.05, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna y se declara que la concentración de mordiente no tiene efecto en la solidez del color al frote en seco del hilado de alpaca.
- Con un nivel de significancia del 5 % P valor = 0.000 lo cual es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna y se declara que la temperatura de teñido tiene efecto en la solidez del color al frote en seco del hilado de alpaca.
- Con un nivel de significancia del 5 % P valor = 0.032 lo cual es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna y se declara que el tiempo de teñido tiene efecto en la solidez del color al frote en seco del hilado de alpaca.

### **Conclusión**

A un nivel de significancia del 5 %, la relación planta/sustrato (P valor = 0.00), la temperatura (P valor = 0.00) y el tiempo (P valor = 0.32) del teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) tienen un efecto significativo en la solidez del color al frote en seco del hilado de alpaca, lo que significa que estos parámetros influyen de manera significativa en el teñido para obtener una alta solidez del color al frote en seco.

**c) EFECTOS ESTIMADOS PARA LA SOLIDEZ DEL COLOR AL FROTE EN SECO**

Los efectos de los factores relación planta/sustrato, concentración de mordiente, temperatura de teñido y tiempo de teñido en la solidez del color al frote en seco del hilo teñido se muestran en la Tabla 28 y la Figura 32.

**Tabla 28**

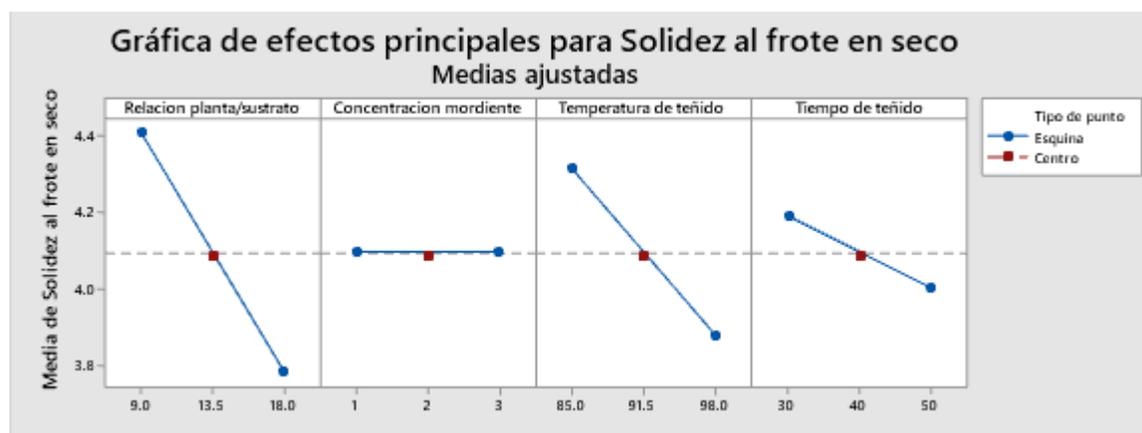
*Efectos Estimados Para la Solidez del Color al Frote en Seco*

<b>Término</b>	<b>Efecto</b>
Relación planta/sustrato	-0.6250
Concentración mordiente	-0.0000
Temperatura de teñido	-0.4375
Tiempo de teñido	-0.1875

Fuente: Elaboración propia

**Figura 32**

*Gráfico de Efectos Principales Para la Solidez del Color al Frote en Seco*



Fuente: Elaboración propia

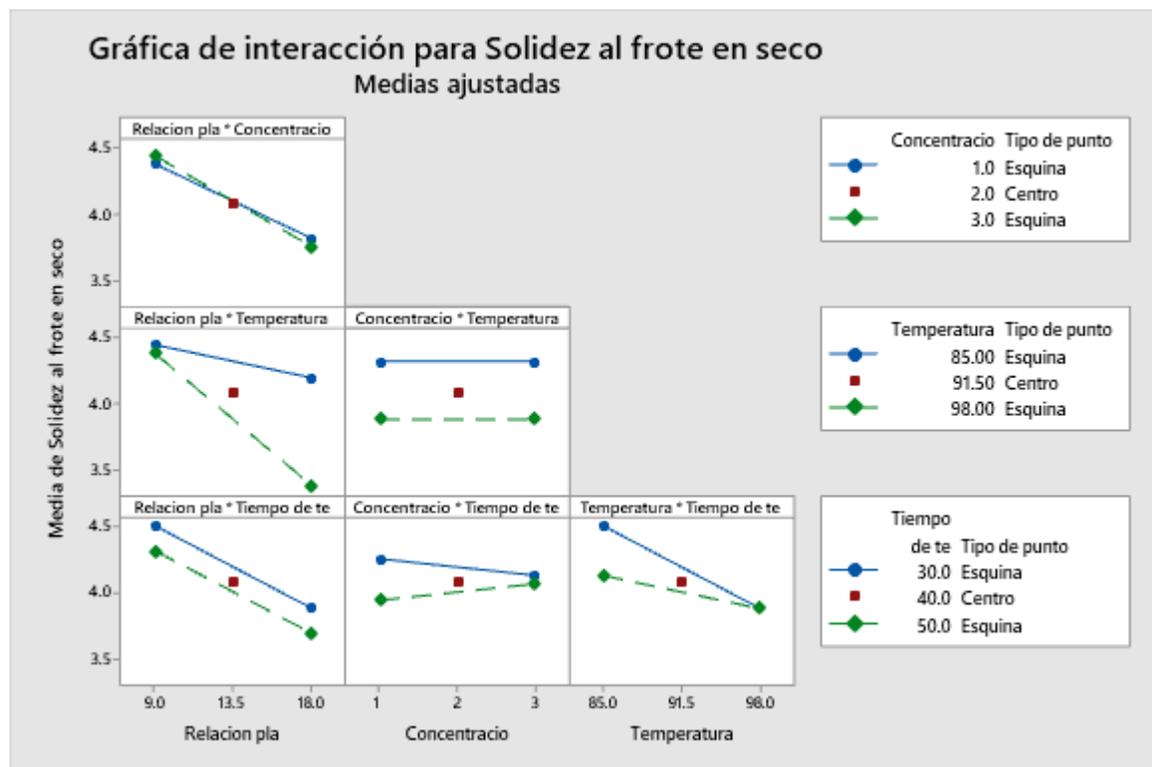
De los resultados de la Tabla 28 y la Figura 32, se indica que:

- Cuando el factor relación planta/sustrato aumenta de 9 % a 18 %, la solidez del color al frote en seco del hilo teñido disminuye en promedio -0.6250; lo que significa que tiene un efecto inverso en la solidez del color al frote en seco.

- Cuando el factor concentración de mordiente varía de 1 g/L a 3 g/L, la solidez del color al frote en seco del hilo teñido disminuye en promedio -0.0000; lo que expresa que no tiene un efecto en la solidez del color al frote en seco.
- De igual forma, cuando el factor temperatura de teñido aumenta de 85 °C a 98 °C, la solidez del color al frote en seco del hilo teñido disminuye en promedio -0.4375; lo cual indica tener un efecto inverso en la solidez del color al frote en seco
- Asimismo, cuando se produce un aumento en el tiempo de teñido de 30 minutos a 50 minutos, la solidez del color al frote en seco del hilo teñido disminuye en promedio -0.1875, lo cual indica tener un efecto inverso en la solidez del color al frote en seco.

**Figura 33**

*Grafica de Interacción Para Solidez del Color al Frote en Seco*



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 33, se observa la interacción de las dimensiones; donde se visualiza la dimensión solidez del color al frote en seco en función de la combinación de los factores, se divisa que la interacción de los factores relación planta/sustrato y temperatura de teñido posee mayor solidez del color al frote en seco que las demás interacciones.

**d) DIFERENCIAS ESTADÍSTICAS ENTRE LOS TRATAMIENTOS PARA LA SOLIDEZ AL FROTE EN SECO**

Para encontrar las diferencias estadísticas entre los tratamientos, se realizó la prueba de Tukey con un intervalo de confianza de 95 %, ver la Tabla 29.

**Tabla 29**

*Diferencias Estadísticas Entre Tratamientos Para la Solidez del Color al Frote en Seco Utilizando la Prueba Tukey*

Tratamiento	Repeticiones (N)	Media	Agrupación
T10	2	4.500	A
T12	2	4.500	A
T8	2	4.500	A
T2	2	4.500	A
T16	2	4.500	A
T14	2	4.500	A
T9	2	4.500	A
T11	2	4.500	A
T4	2	4.250	AB
T19	2	4.250	AB
T6	2	4.000	ABC
T3	2	4.000	ABC
T18	2	4.000	ABC
T17	2	4.000	ABC
T1	2	3.750	BC
T7	2	3.500	CD
T5	2	3.500	CD
T13	2	3.500	CD
T15	2	3.000	D

*Nota:* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

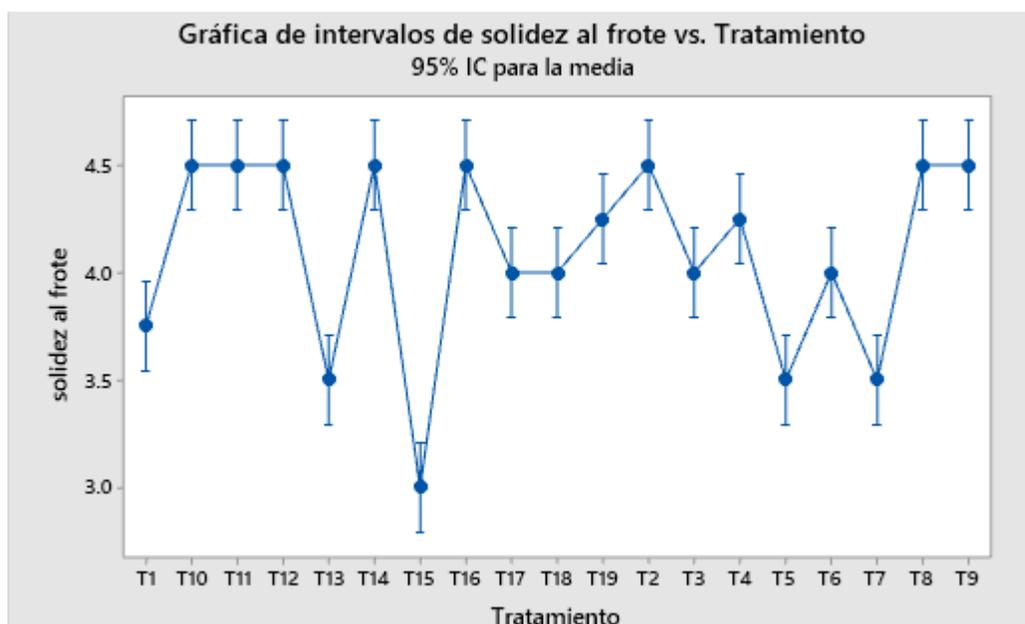
Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 29, se logra observar que los tratamientos 10, 12, 8, 2, 16, 14, 9 y 11 del literal A son significativamente diferentes; esto indica que son los tratamientos que brindan una alta solidez del color al frote en seco por llevar el primer literal; sin embargo, el tratamiento que promete una mejor solidez del color al frote en seco del hilado teñido es el tratamiento 10 (hilado de alpaca teñido con una relación planta/sustrato de 9 %, concentración de mordiente 1 g/L, a

una temperatura de teñido de 85 °C y 30 minutos en el tiempo de teñido) con una media de 4.5. De acuerdo a los literales el tratamiento 15 del literal D (hilo de alpaca teñido con una relación planta/sustrato de 18%, concentración de mordiente 3 g/L, a una temperatura de teñido de 98 °C y 30 minutos en el tiempo de teñido) presenta una baja solidez del color al frote en seco del hilado teñido, dicho resultado también se logra observar en la Figura 34.

**Figura 34**

*Grafica de Intervalos de la Solidez del Color al Frote en Seco en Función de los Tratamientos*



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 29 y la Figura 34, se observa claramente las diferencias significativas entre los tratamientos y así mismo se logra apreciar el tratamiento que presenta una alta y baja solidez del color al frote en seco del hilado teñido con cúrcuma, observándose que los tratamientos 10, 12, 8, 2, 16, 14, 9 y 11 son los óptimos y/o mejores, seguido de los tratamientos 4 y 19, ya que presentan alta solidez del color al frote en seco y el tratamiento 15 es el menos óptimo, debido a que presenta escasa y/o baja solidez del color al frote en seco.

## e) DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los factores relación planta/sustrato, temperatura y tiempo del teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) tienen efectos significativos en la solidez del color al frote en seco del hilado de alpaca; considerando para los factores y niveles con valores de 9 y 18 %, 85 y 98 °C, 30 y 50 minutos respectivamente se obtiene resultados de la solidez del color al frote en seco mayores a 3 de acuerdo a la escala grises dado por la NTP 231.004; por otro lado, para los factores y niveles con valores de 9 %, 85 °C y 30 minutos respectivamente se obtiene una alta solidez al frote en seco con un resultado de 4.5, lo cual es muy buena y aceptable según la escala de grises.

Para Hoyos Mallqui (2016), los resultados de solidez del color al frote en seco para el teñido de fibra de alpaca con frutos de mío-mío (*cariaríá ruscifolia*) que obtuvo; son mayores a 3.07 considerando los factores de mordiente alumbre, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y pH 4.5, 3.5, y temperatura 80 °C, 90 °C; por otro lado, los factores de mordiente alumbre a pH 3.5 y a temperatura de 90°C respectivamente se obtuvo una alta solidez del color al frote en seco con un resultado de 4.97; esta diferencia en los resultados se debería a que el autor trabajó con un material tintóreo diferente y consideró distintos factores y/o niveles a la presente investigación durante el proceso de teñido; por consiguiente, se concuerda con Costa (2010), quien expresa que la temperatura juega un papel muy importante en la cinética del teñido y un aumento de temperatura acelera el proceso de teñido.

Para Cavenago Benites & Córdova Valencia (2014), los resultados de solidez al frote en seco para la fibra de alpaca teñida con colorante Globe Yellow (curcumina) tomando en cuenta el factor concentración de mordiente 5 % obtuvo 2.5, así también para el factor concentración de mordiente 25 % obtuvo una alta solidez del color al frote en seco con un grado de 4.5, dicha diferencia se daría a que el autor trabajo con distintas concentraciones de mordiente en la experimentación, por ende una alta concentración de mordiente ayuda en la solidez del color al frote en seco. Por otro lado para Naveed et al. (2020), los resultados de solidez del color al frote en seco para el teñido de algodón con la mezcla de cáscara de granada (*Punica Granatum L.*) y rizoma de cúrcuma (*Cúrcuma Longa L.*) que obtuvo son mayores a 3 considerando factores de temperatura (35, 45, 55, 65 y 75 ° C), tiempos (20, 40, 50, 60 y 80 minutos) y pH (5, 6, 7 y 8); así mismo, para los factores de temperatura 65 °C, a un tiempo de teñido 40 minutos y pH 3.5

obtuvo alta solidez del color al frote en seco con un resultado de 4.5, con lo que se da consistencia o se afirma a los resultados obtenidos.

#### 4.2.4. DETERMINACIÓN DEL EFECTO DEL TEÑIDO NATURAL CON CÚRCUMA (*cúrcuma longa*) EN LA SOLIDEZ DEL COLOR A LA LUZ DEL HILADO DE ALPACA

##### a) RESULTADOS DESCRIPTIVOS

**Tabla 30**

*Resultados Descriptivos de la Sólides del Color a la Luz*

Tratamientos de acuerdo al diseño experimental	Sólides del color a la luz				
	Escala de grises				
	Calificación aceptable			Calificación no aceptable	
	Muy Buena (5 – 4/5)	Bueno (4 – 3/4)	Suficiente (3)	Regular (2- 2/3)	Escasa (1- 1/2)
T1 = (18%, 1 g/L, 85°C, 50 min)					X
T2 = (9%, 1 g/L, 85°C, 50 min.)					X
T3 = (18%, 3 g/L, 85°C, 50 min.)				X	
T4 = (9%, 3 g/L, 85°C, 50 min.)					X
T5 = (18%, 1 g/L, 98 °C, 50 min.)				X	
T6 = (9%, 1 g/L, 98 °C, 50 min.)				X	
T7 = (18%, 1 g/L, 98 °C, 50 min.)				X	
T8 = (9%, 1 g/L, 98 °C, 50 min.)					X
T9 = (18%, 3 g/L, 85°C, 30 min.)				X	
T10 = (9%, 3 g/L, 85 °C, 30 min.)					X
T11 = (18%, 1 g/L, 85°C, 30 min.)					X
T12 = (9%, 1 g/L, 85°C, 30 min.)					X
T13 = (18%, 1 g/L, 98 °C, 30 min.)				X	
T14 = (9%, 1 g/L, 98 °C, 30 min.)					X
T15 = (18%, 3 g/L, 98 °C, 30 min.)				X	
T16 = (9%, 3 g/L, 98 °C, 30 min.)				X	
T17 = (13.5%, 2 g/L, 91.5 °C, 40 min.)					X

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 30, muestra que los resultados de solidez del color a la luz de los tratamientos experimentales se encuentran en la calificación no aceptable en la escala de grises; ello significa que los resultados de la solidez del color a la luz del teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) usando los parámetros de teñido de cada tratamiento no son aceptables; además cabe mencionar que los tratamientos T3, T5, T6, T7, T9, T13, T15 y T16 se encuentran en la escala regular y los tratamientos T1, T2, T4, T8, T10, T11, T12, T14 y T17 están en la escala escasa; por consiguiente, los hilados de alpaca teñidos con cúrcuma tienen una baja solidez del color a la luz; es decir, la resistencia es baja al momento de exponerlos a la luz del día y pierde color; por ende, las prendas elaboradas de estos hilados no pasan el control de calidad en cuanto a la solidez del color a la luz y no pueden salir al mercado.

### **b) CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS ESPECIFICA 3**

El teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) tienen un efecto significativo en la solidez del color a la luz del hilado de alpaca.

#### **Planteamiento de hipótesis**

Se plantea las hipótesis de acuerdo a las dimensiones de la variable independiente: *teñido natural con cúrcuma (cúrcuma longa)*.

##### ***Relación planta/sustrato***

- **Hipótesis nula (H<sub>0</sub>):** La relación planta/sustrato no tiene un efecto significativo en la solidez del color a la luz del hilado de alpaca.
- **Hipótesis alterna (H<sub>1</sub>):** La relación planta/sustrato tiene un efecto significativo en la solidez del color a la luz del hilado de alpaca.

##### ***Concentración de mordiente***

- **Hipótesis nula (H<sub>0</sub>):** La concentración de mordiente no tiene un efecto significativo en la solidez del color a la luz del hilado de alpaca.
- **Hipótesis alterna (H<sub>1</sub>):** La concentración de mordiente tiene un efecto significativo en la solidez del color a la luz del hilado de alpaca.

### *Temperatura de teñido*

- **Hipótesis nula ( $H_0$ ):** La temperatura de teñido no tiene un efecto significativo en la solidez del color a la luz del hilado de alpaca.
- **Hipótesis alterna ( $H_1$ ):** La temperatura de teñido tiene un efecto significativo en la solidez del color a la luz del hilado de alpaca.

### *Tiempo de teñido*

- **Hipótesis nula ( $H_0$ ):** El tiempo de teñido no tiene un efecto significativo en la solidez del color a la luz del hilado de alpaca.
- **Hipótesis alterna ( $H_1$ ):** El tiempo de teñido tiene un efecto significativo en la solidez del color a la luz del hilado de alpaca.

**Nivel de significancia ( $\alpha$ ):** 5% (0.05)

**Prueba estadística:** Análisis de la Varianza (ANOVA)

$$F_0 = \frac{CMA}{CME} \rightarrow P(F > F_0), \text{ ver Tabla 13, Análisis de varianza de un diseño factorial } 2^k.$$

**Tabla 31**

*Análisis de la Varianza Para la Solidez del Color a la Luz del Hilado de Alpaca Teñido con Cúrcuma (cúrcuma longa).*

<b>FACTOR</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
Modelo	11	2.21971	0.201792	1.68	0.134
Lineal	4	1.34375	0.335937	2.80	0.047
A: Relación planta/sustrato	1	0.63281	0.632812	5.27	0.030
B: Concentración mordiente	1	0.07031	0.070313	0.59	0.451
C: Temperatura de teñido	1	0.63281	0.632812	5.27	0.030
D: Tiempo de teñido	1	0.00781	0.007813	0.07	0.801
Interacciones de 2 términos	6	0.54687	0.091146	0.76	0.608
AB	1	0.00781	0.007812	0.07	0.801
AC	1	0.00781	0.007812	0.07	0.801
AD	1	0.07031	0.070313	0.59	0.451
BC	1	0.19531	0.195312	1.63	0.213
BD	1	0.07031	0.070313	0.59	0.451
CD	1	0.19531	0.195312	1.63	0.213
Curvatura	1	0.32908	0.329084	2.74	0.110
Error	26	3.12240	0.120092		
Falta de ajuste	5	2.28906	0.457812	11.54	0.000
Error puro	21	0.83333	0.039683		
Total	37	5.34211			
$R^2 = 41.55 \%$ $R^2_{aju} = 16.82 \%$			Nivel de significancia 5 %		

Fuente: Elaboración propia

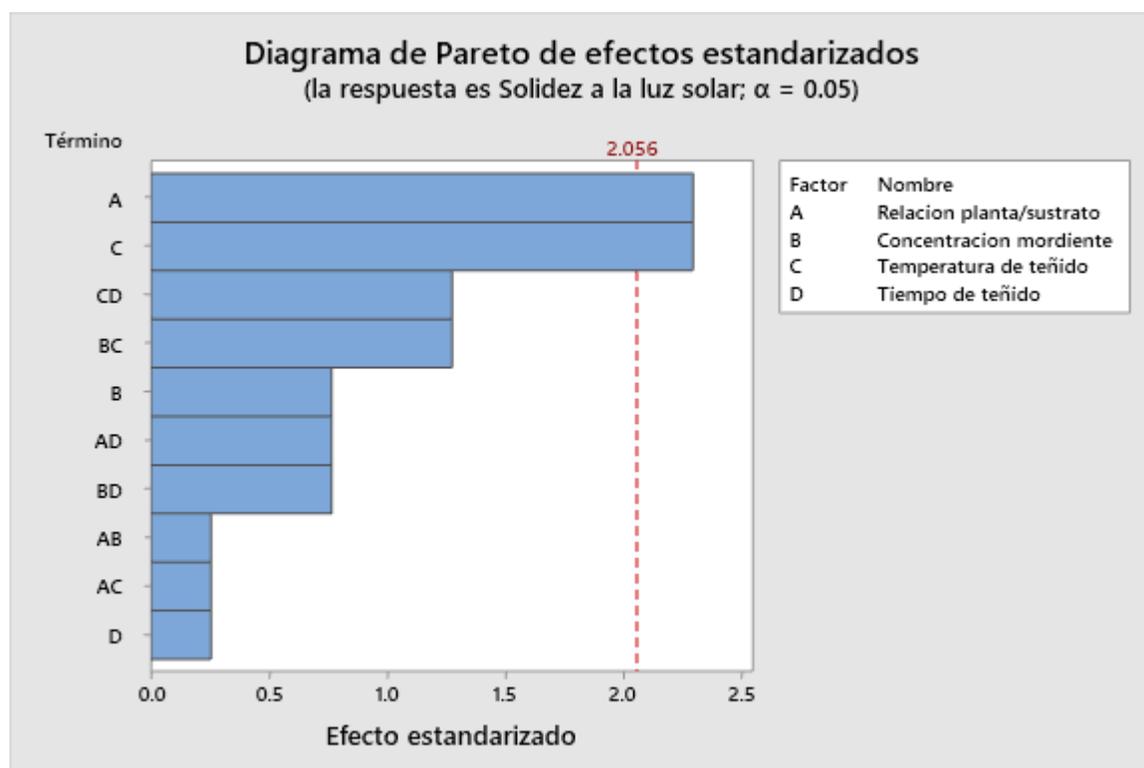
La Tabla 31, muestra los resultados del Análisis de la Varianza para la solidez del color a la luz del hilado de alpaca teñido con cúrcuma (*cúrcuma longa*) con un nivel de significancia del 5 %; del cual con una probabilidad de error del 3% (valor p = 0.030) los factores de relación planta/sustrato y temperatura de teñido tienen efectos significativos en la solidez del color a la luz del hilado de alpaca teñido con cúrcuma; mientras tanto, los factores concentración de mordiente y tiempo de teñido no tienen un efecto significativo en la solidez del color a la luz.

La interacción de las variables (modelo: 2 términos) no tienen efectos significativos sobre la solidez del color a la luz, también se puede observar el  $R^2 = 77.58 \%$  y  $R^2_{aju} = 68.10 \%$ , ello significa que el modelo lineal no se ajusta a los datos.

Lo mencionado anteriormente, se observa gráficamente en el diagrama de Pareto para los efectos estandarizados.

### Figura 35

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



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 31 y la Figura 35, muestran claramente que solo los factores relación planta/sustrato y temperatura de teñido son significativos, lo que conlleva a que un cambio en los niveles de dichos factores tendrá un efecto más significativo que las demás; es decir, que la dimensión solidez del color a la luz tiene dependencia de los factores relación planta/sustrato y temperatura de teñido. Sin embargo, los factores concentración de mordiente y tiempo de teñido no tienen efecto en la solidez del color a la luz.

## Regla de decisión

- Con un nivel de significancia del 5 % P valor = 0.030 lo cual es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna y se declara que la relación planta/sustrato tiene un efecto significativo en la solidez del color a la luz del hilado de alpaca.
- Con un nivel de significancia del 5 % P valor = 0.451 lo cual es mayor a 0.05, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna y se declara que la concentración de mordiente no tiene un efecto significativo en la solidez del color a la luz del hilado de alpaca.
- Con un nivel de significancia del 5 % P valor = 0.030 lo cual es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna y se declara que la temperatura de teñido tiene un efecto significativo en la solidez del color a la luz del hilado de alpaca.
- Con un nivel de significancia del 5% P valor = 0.801 lo cual es mayor a 0.05, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna y se declara que el tiempo de teñido no tiene un efecto significativo en la solidez del color a la luz del hilado de alpaca.

## Conclusión

A un nivel de significancia del 5 %, la relación planta/sustrato (P valor = 0.30) y la temperatura (P valor = 0.30) del teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) tienen un efecto significativo en la solidez del color al lavado del hilado de alpaca; en síntesis, dichos parámetros influyen de manera significativa en el teñido para obtener una alta solidez del color a la luz.

### c) EFECTOS ESTIMADOS PARA LA SOLIDEZ DEL COLOR A LA LUZ

Los efectos de los factores relación planta/sustrato, concentración de mordiente, temperatura y tiempo de teñido en la solidez del color al lavado se muestran en la Tabla 32 y la Figura 36.

**Tabla 32**

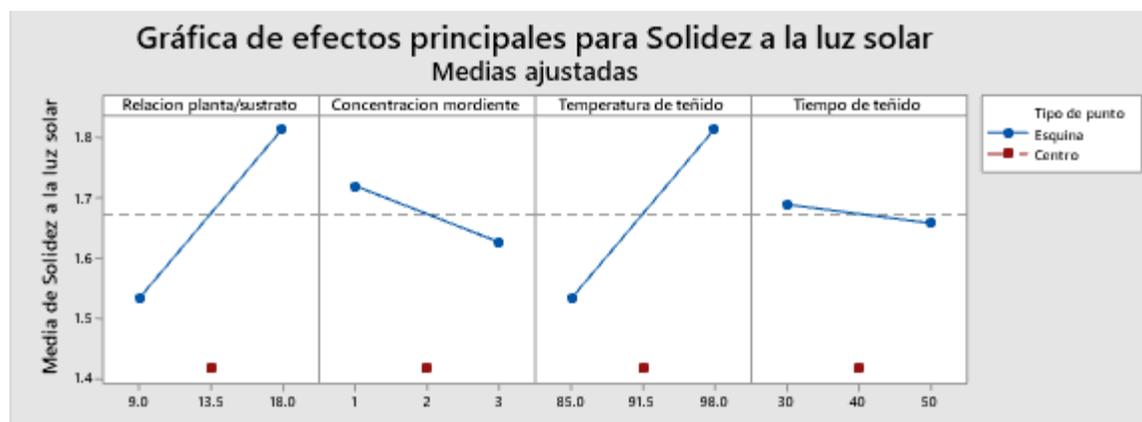
*Efectos Estimados Para la Solidez del Color a la Luz*

<b>Término</b>	<b>Efecto</b>
Relación planta/sustrato	0.2812
Concentración mordiente	-0.0938
Temperatura de teñido	0.2812
Tiempo de teñido	-0.0312

Fuente: Elaboración propia

**Figura 36**

*Gráfico de Efectos Principales Para la Solidez del Color a la Luz*



Fuente: Elaboración propia

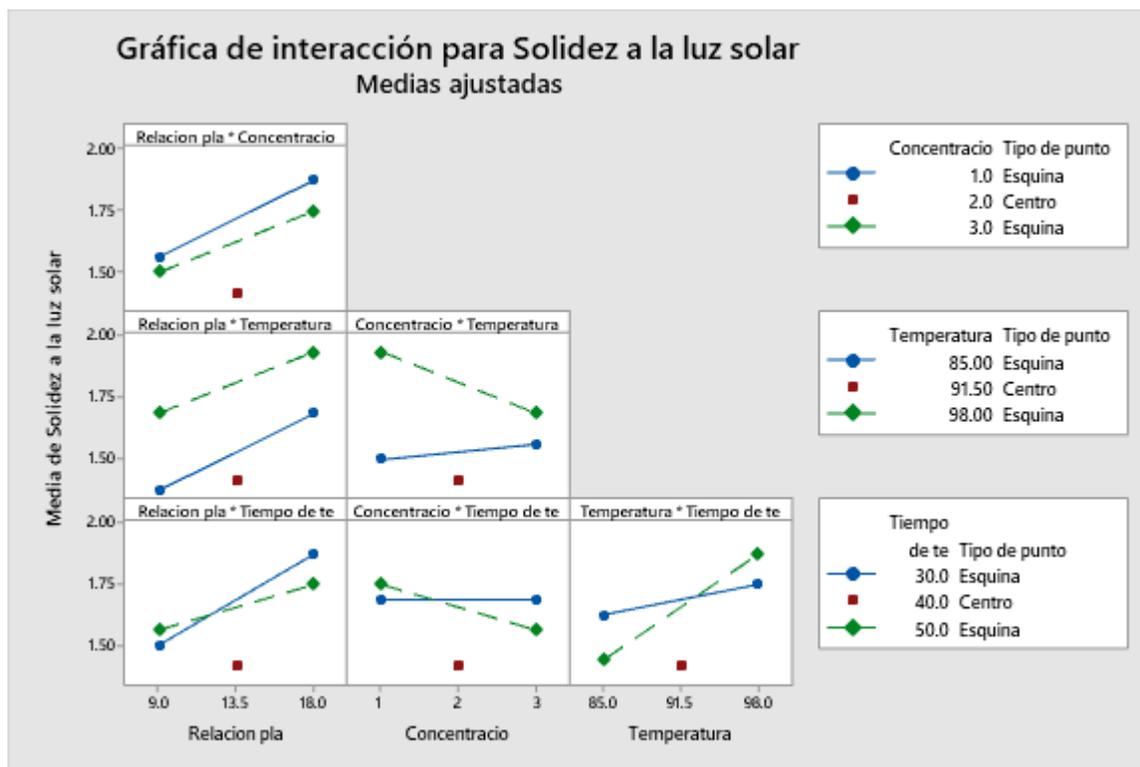
De los resultados de la Tabla 32 y la Figura 36, se indica que:

- Cuando el factor relación planta/sustrato aumenta de 9 % a 18 %, la solidez del color a la luz del hilo teñido asciende en promedio 0.2812; lo que significa que tiene un efecto directo en la solidez del color a la luz.

- Cuando el factor concentración de mordiente varía de 1 g/L a 3 g/L, la solidez del color a la luz del hilo teñido disminuye en promedio  $-0.0938$ ; lo que expresa que tiene un efecto inverso en la solidez del color a la luz.
- En cambio, cuando el factor temperatura de teñido aumenta de  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $98\text{ }^{\circ}\text{C}$ , la solidez del color a la luz del hilo teñido aumenta en promedio  $0.2812$ ; lo cual indica tener un efecto directo en la solidez del color a la luz.
- Cuando se produce un aumento en el tiempo de teñido de 30 minutos a 50 minutos, la solidez del color a la luz del hilo teñido disminuye en promedio  $-0.0312$ ; lo cual indica tener un efecto inverso en la solidez del color a la luz.

**Figura 37**

*Grafica de Interacción Para la Solidez del Color a la Luz*



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 37, se muestra la interacción de las dimensiones; donde se visualiza la solidez a la luz en función de la combinación de los factores, se percibe que la interacción del factor temperatura de teñido con los factores relación planta/sustrato y tiempo de teñido tiene mayor solidez del color a la luz que las demás interacciones.

**d) DIFERENCIAS ESTADÍSTICAS ENTRE LOS TRATAMIENTOS PARA LA SOLIDEZ A LA LUZ**

Para encontrar las diferencias estadísticas entre los tratamientos, se realizó la prueba de Tukey con un intervalo de confianza de 95 %, ver la Tabla 33.

**Tabla 33**

*Diferencias Estadísticas Entre Tratamientos Para la Solidez del Color a la Luz según la Prueba de Tukey*

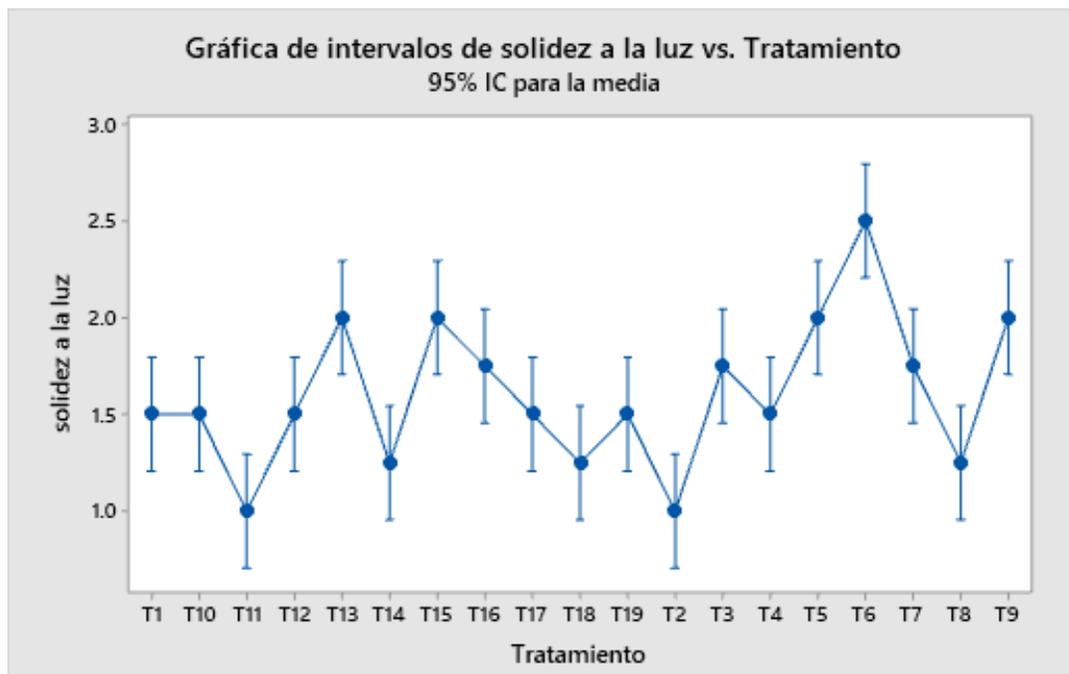
Tratamiento	Repeticiones (N)	Media	Agrupación
T6	2	2.500	A
T9	2	2.000	AB
T5	2	2.000	AB
T15	2	2.000	AB
T13	2	2.000	AB
T7	2	1.750	ABC
T3	2	1.750	ABC
T16	2	1.750	ABC
T4	2	1.500	BC
T19	2	1.500	BC
T17	2	1.500	BC
T12	2	1.500	BC
T10	2	1.500	BC
T1	2	1.500	BC
T8	2	1.250	BC
T18	2	1.250	BC
T14	2	1.250	BC
T2	2	1.000	C
T11	2	1.000	C

*Nota:* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Fuente: Elaboración propia

**Figura 38**

*Grafica de Intervalos de la Solidez del Color a la Luz en Función de los Tratamientos*



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 33, muestra las diferencias estadísticas entre tratamientos por medio de la prueba Tukey, y a su vez, se observa que el tratamiento con alta solidez del color a la luz, es el tratamiento 6 que corresponde a la muestra de hilado de alpaca teñido con una relación planta/sustrato de 9 %, concentración de mordiente 1 g/L, a una temperatura de teñido de 98 °C y 50 minutos en el tiempo de teñido, con una media de 4.167 por lo que lleva el primer literal A, ello indica que es el tratamiento que tiene alta solidez a la luz; así mismo, dicho tratamiento tiene mayor diferencia significativa. Tomando en cuenta los literales, el tratamiento 2 (hilado de alpaca teñido con una relación planta/sustrato de 9 %, concentración de mordiente 1 g/L, a una temperatura de teñido de 85 °C y a un tiempo de teñido de 50 minutos) y el tratamiento 11 (hilado de alpaca teñido con una relación planta/sustrato de 18 %, concentración de mordiente 3 g/L, a una temperatura de teñido de 85 °C y a un tiempo de teñido de 30 minutos) presenta una baja solidez del color a la luz del hilado teñido, dicho resultado también se logra observar en la Figura 38.

## e) DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los factores relación planta/sustrato y temperatura del teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) tienen efectos significativos en la solidez del color a la luz del hilado de alpaca, y considerando para los factores y niveles con valores de 9 y 18 %, 85 y 98 °C respectivamente se obtiene resultados de la solidez del color a la luz mayores a 1 de acuerdo a la escala grises dado por la NTP 231.005; asimismo, para los factores y niveles con valores de 9% de relación planta/sustrato y 98 °C de temperatura respectivamente se obtiene regular solidez del color a la luz con un resultado de 2.5; por otro lado, la concentración de mordiente y el tiempo no influyen en la solidez del color a la luz.

Para Mellizo Salinas (2018), al realizar el teñido de algodón con cúrcuma obtuvo resultados de solidez del color a la luz mayores a 2.25; considerando los factores de concentración de colorante de 8%, a temperaturas de 60 y 100 °C y tiempos de teñido de 45 y 90 minutos; asimismo, para dichos factores con valores de 8%, 60 °C y 90 minutos respectivamente obtuvo un grado aceptable de solidez a la luz con un resultado de 3; dicha diferencia en los resultados se debe a que el autor realizó el teñido en algodón y consideró distintos factores y/o niveles a la presente investigación durante el proceso de teñido. por otra parte Cavenago Benites & Córdova Valencia (2014), indican que la fibra de alpaca teñida con colorante Globe Yellow (curcumina) presenta baja solidez del color a la luz con un grado de 2, tomando en cuenta los factores de concentración de mordiente 2%, temperatura de agotamiento 98 °C y un tiempo de 10 minutos; con lo que se da consistencia o se afirma a los resultados obtenidos en la presente investigación al teñir hilado de alpaca con cúrcuma (*cúrcuma longa*) con una relación planta/sustrato 9% y temperatura 98°C, se obtuvo una baja solidez del color a la luz con un grado de 2 en promedio; por tanto, la solidez del color a la luz es baja al utilizar el colorante natural de la cúrcuma (*cúrcuma longa*) para el teñido de la fibra de alpaca y en base a la información teórica esto se debería a que la curcumina posee grupos cromóforos, por tanto, existe degradación fotoquímica producida independientemente del entorno químico (González Albadalejo, y otros, 2015); esto hace que la curcumina (colorante) impregnada en la fibra se debilite y/o degrade a la exposición de la luz UV. Además, se da consistencia a lo que afirma (Arango Ruiz, 2016) donde menciona que la radiación luminosa es un factor crítico para la estabilidad del colorante de la cúrcuma (curcumina).

Nina Aguilar (2018), menciona que el teñido de la fibra de alpaca con Inflorescencia de Collí (*Buddleja coriacea*) a una temperatura de 84°C y con tiempo de teñido de 60 minutos obtuvo una alta solidez del color a la luz, con un valor de 4 en promedio, dicha diferencia en los resultados se debería a que el autor trabajo con distintos factores y/o niveles y uso como material tintóreo el collí en la experimentación el cual da tonos naranjas y cafés; con ello se confirma que el material tintóreo es un factor muy importante, ya que influye bastante en la solidez del color a la luz.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

1. Con un valor  $p = 0.00$  del modelo del experimento; el teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) tiene efectos significativos en la solidez del color del hilado de alpaca; por ende, este material tintóreo se puede usar para el teñido de hilado de alpaca.
2. Los factores relación planta/sustrato, tiempo y temperatura, del teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) tienen un efecto significativo en la solidez del color al lavado del hilado de alpaca; por ende, el tratamiento 16 que corresponde a la muestra de hilado de alpaca teñido con una relación planta/sustrato de 9 %, a una temperatura de teñido de 98 °C y un tiempo de teñido de 30 minutos, presenta una buena solidez del color al lavado con un valor en promedio de 4.17 en la escala de grises.
3. Los factores relación planta/sustrato, temperatura y tiempo del teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) tienen un efecto significativo en la solidez del color al frote en seco del hilado de alpaca; en consecuencia, el tratamiento 10 que corresponde a la muestra de hilado de alpaca teñido con una relación planta/sustrato de 9%, a una temperatura de teñido de 85 °C y 30 minutos en el tiempo de teñido, demuestra muy buena solidez del color al frote en seco con valor de 4.5 en la escala de grises.
4. Los factores relación planta/sustrato y temperatura, del teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) tienen un efecto significativo en la solidez del color a la luz del hilado de alpaca; de modo que, el tratamiento 6 que corresponde a la muestra de hilado de alpaca teñido con una relación planta/sustrato de 9% y a una temperatura de teñido de 98 °C, presenta regular solidez del color a la luz con un valor de 2.5 en la escala de grises.

## 5.2. RECOMENDACIONES

1. Para próximas investigaciones sobre teñido del hilado de alpaca con cúrcuma (*cúrcuma longa*) se sugiere disminuir la relación planta/sustrato, ya que la cúrcuma tiene un alto poder tintóreo; así también se recomienda usar diferentes mordientes para el teñido como el sulfato de cobre, sulfato de aluminio, sulfato de hierro, sulfato de amonio y mordientes naturales, para de esta manera obtener una gama de colores y alta solidez.
2. Se recomienda que los niveles del factor concentración de mordiente estén alejados del uno al otro, ya que dicho factor en la presente investigación no tuvo efecto en la solidez del color al lavado, al frote en seco y a la luz o en todo caso cambiar el tipo de mordiente.
3. Para las futuras investigaciones se recomienda modificar los niveles de los factores relación planta/sustrato, concentración de mordiente, tiempo de teñido y temperatura de teñido; asimismo, profundizar evaluando otros factores del teñido como la relación de baño, nivel de pH y tipo de mordiente; con la finalidad de optimizar el proceso de teñido y así mejorar la solidez del color a la luz del teñido de hilado de alpaca con cúrcuma (*cúrcuma longa*).
4. Para mejorar la solidez del color a la luz se recomienda realizar investigaciones de teñido de hilado de alpaca con el colorante de cúrcuma, haciendo uso de materiales con protección UV.
5. Se recomienda realizar investigaciones haciendo uso de la cúrcuma (*cúrcuma longa*) como colorante natural, para procesos de teñido industrial de la fibra de alpaca, debido al alto rendimiento y poder tintóreo de dicho colorante. Asimismo, para dicho proceso se sugiere usar el equipo espectrofotómetro para la evaluación de la solidez del color, ya que tiene mayor precisión.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia de Noticias UPB – Medellín. (23 de Setiembre de 2020). *Agencia de Noticias Universidad Pontificia Bolivariana*. Obtenido de <https://www.upb.edu.co/es/noticias/cúrcuma-colorante-natural-a-traves-de-nanotecnologia>
- Aguirre Medrano, R. (1986). Características físicas y químicas de los rizomas de la Cúrcuma longa variedad Perú. (*Tesis pregrado*). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
- Albán Castillo, J., Espinoza, G., Rojas, R., & Díaz Santibáñez, C. (2018). El color en la memoria: Tintes vegetales usados en la tradicion de las comunidades andinas y amazonicas peruanas. *Ecología Aplicada, scielo*, 86-96.
- Arango Ruiz, Á. (2016). Desarrollo de un proceso de extraccion limpia de colorantes a base de curcumina. (*Tesis postgrado*). Universidad Pontificia Bolivariana, Medellin.
- Arroyo Figueroa, G. (2020). *Universidad de Guanajuato, Teñido de fibras naturales con colorantes naturales*. Obtenido de <https://www.ugto.mx/eugreka/contribuciones/46-tenido-de-fibras-naturales-con-colorantes-naturales>
- Arroyo Figueroa, G., Alvarez Canelo, J. G., Medina Saavedra , T., & Dzul-Cauih , J. (2017). Evaluación de la estabilidad del color en el teñido de lana y algodón con extracto de cebolla morada (*Allium cepa*). *Sistemas Experimentales, IV*(19), 1-6.
- Asociación Civil Alpaca del Perú. (01 de Enero de 2021). *ASCALPE*. Obtenido de <http://www.alpacadelperu.org.pe/caracteristicas-de-la-fibra-de-alpaca/>
- Barlau, S. (Marzo de 18 de 2021). *Veintipico*. Obtenido de <https://veintipico.com/se-encoge-la-lana-de-alpaca-evite-que-se-arruinen-las-prendas-de-lana-yanantin-alpaca/>
- Begazo Calderon, M. L., & Bendita Jilapa, J. (2018). Determinacion de los parametros optimos en la extraccion del colorante rojo carmin mediante el empleo de EDTA como estabilizante. (*Tesis pregrado*). Univesidad Nacional de San Agustin, Arequipa.

- Brenes, E., Madrigal, K., Pérez, F., & Valladares, K. (2001). El cluster de los camélidos en el Perú: Diagnóstico competitivo y recomendaciones estratégicas. *Proyecto Andino de Competitividad*. Instituto Centroamericano de Administración de Empresas, Lima.
- Bustanza Choque, V. (2001). *La Alpaca: Crianza, Manejo y Mejoramiento*. Puno: Oficina de Recursos del Aprendizaje, Sección Publicaciones, UNA.
- Caceres, A. (1999). *Plantas de Uso Medicinal en Guatemala* (segunda ed.). Guatemala: Universitaria.
- Cano Morales, T. M. (2007). Estudio tecnológico sobre los tintes naturales extraídos de la corteza de tres especies forestales cultivadas en Guatemala, para teñir fibras naturales que cumplan con especificaciones de calidad exigidas por el mercado. *Centro de Investigaciones de Ingeniería*. Universidad de San Carlos de Guatemala., Guatemala.
- Carvallo, M. (2000). Colorantes naturales derivados de la cochinilla (*Dactilopius coccus* Costa) y su comercio mundial. (*Tesis pregrado*). Universidad de Chile, Santiago.
- Cavenago Benites, M., & Córdova Valencia, A. (2014). Estudio del efecto del pH y la concentración de mordiente en el teñido sobre sustrato de Alpaca Suri con colorantes Naturales de estructura Curcuminoide, Xantófila y Antroquinónica. (*tesis de pregrado*). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.
- Cegarra Sanchez, J. (1997). *Fundamentos y tecnología del blanqueo de materias textiles*. España: Universidad Politécnica de Catalunya-Intexter.
- Cegarra Sanchez, J., Valleperas Morell, J., & Puente, P. (1981). *Fundamentos científicos y aplicados de la tintura de materias textiles*. España: UPC, S.L., Edicions.
- Chemomics, F. (2003). *Plantas Medicinales y Aromaticas*. Colombia: Colombia Alternative Development.
- Cite textil camélidos. (10 de Febrero de 2019). *teñidos naturales*. Puno, Puno, Puno.
- Clape, O. C. (2012). Avances en la caracterización farmacotóxica de la planta medicinal curcuma longa L. *SciELO*, 99.

- Cordova, P. L. (2017). Química e industria de la curcumina. *Trabajo Monografico*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Costa, M. R. (2010). *Las fibras textiles y su tintura* (Segunda ed., Vol. II). Lima: CONCYTEC.
- Del Río Dueñas, I. (2006). La Grana Cochinilla Fina, Regalo de México para el Mundo. *Instituto de Ecología Oaxaca*, 11-38.
- Dos Santos Afonso, M., & Maier, M. (2013). *Química y color en los textiles*. Buenos Aires: Facultad de ciencias exactas y naturales.
- Duffy, P., Spadafora, M., & Trujillo, M. (16 de Octubre de 2019). *Foro Internacional de Moda Sostenible*. (Promperu, Intérprete) Centro de convenciones, Cusco, Cusco, Cusco.
- El imparcial. (3 de Agosto de 2019). *El imparcial*. Obtenido de El imparcial: <https://www.elimparcial.com/estilos/Que-es-el-fast-fashion-20190803-0025.html>
- Escobedo Velando. (1999). Investigación tecnológica sobre el teñido de lana de oveja y de alpaca con carmín de cochinilla. (*Tesis pregrado*). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.
- Gacén Guillen, J. (1989). *Lana Parámetros Químicos*. Terrassa: Escuela Técnica Superior de Ingenieros.
- García Visos, B. (13 de Julio de 2018). *OpenMind BBVA*. Obtenido de <https://www.bbvaopenmind.com/ciencia/investigacion/malva-la-historia-del-color-que-revoluciono-el-mundo/>
- Giai, M., Fasoli, H., Álvarez, H., & Yonni, F. (2008). Estudio de la biodegradabilidad y ecotoxicidad sobre colorantes textiles. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 331-334.
- González Albadalejo, J., Sanz, D., Claramunt, R., Lavandera, J., Alkorta, I., & Elguero, J. (2015). Curcumin and curcuminoids: chemistry, structural studies and biological. *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia*, 278-310.
- Guirola, C. (07 de Marzo de 2010). *TINTES NATURALES*. Obtenido de Obtenido de Maya Archaeology: [http://www.famsi.org/reports/03101es/53batres\\_batres/53batres\\_batres.pdf](http://www.famsi.org/reports/03101es/53batres_batres/53batres_batres.pdf).

- Gutierrez Toledo, J. M. (2005). Utilizacion de colorantes naturales en teñido de fibras de algodón en tejido de punto aplicados por el metodo de agotamiento. (*Tesis pregrado*). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodologia de la Investigacion* (Sexta ed.). Mexico: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Hollen, N. (2002). *Introduccion a los Textiles*. Colombia: Editorial Limusa S.A. De C.V.
- Hoyos Mallqui, M. (2016). Evaluación de frutos de mío- mío (*cariarí ruscifolia*) a distintos mordientes y parámetros de teñido en fibra de alpaca (lama pacos). (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurimac, Apurimac.
- Illa Ccarita, C., & Tairo Huaita, G. (2015). Teñido de fibra de alpaca suri (*Vicugna pacos*) con carmin de cochinilla (*Dactylopius coccus*). (*tesis pregrado*). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco.
- INACAL. (2019). Solidez a la luz. *NTP 231.183*. Lima, Lima, Peru: Instituto nacional de calidad .
- INACAL. (2019). Solidez al frote. *NTP 231.180*. Lima, Lima, Peru: Instituto Nacional de Calidad.
- INACAL. (2019). Solidez al lavado. *NTP 231.181*. Lima, Lima, Peru: Instituto Nacional de Calidad.
- INEI. (Febrero de 2014). Resultados de la Encuesta de Micro y Pequeña Empresa, 2013. Lima, Lima, Perú.
- Katz, M. (9 de Octubre de 2015). *el patagonico*. Obtenido de el patagonico: <https://www.elpatagonico.com/la-curcuma-un-colorante-natural-y-saludable-n1296036>
- Lock Sing de Ugaz, O. (1997). *Colorantes Naturales* (primera ed.). Lima, Perú: Fondo Editorial PUCP.
- Lockuan Lavado, F. (2012). *La industria textil y su control de calidad. Ennoblecimiento textil*. Lima: Creative Commons .

- Lockuán Lavado, F. (2012). *La industria textil y su control de calidad. Hilandería*. Lima: Creative Commons.
- Lockuan Lavado, F. E. (2012). *La industria textil y su control de calidad: Tintorería* . Lima: Creative commons.
- Lopez Cordova, P. (2017). Química e industria de la curcumina. *Trabajo Monografico*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Lockuan, F. E. (2013). *La industria Textil y su control de calidad: II Fibras Textiles*. Lima: Attribution-Noncommercial-Share Alike 3.0.
- Luna Chavez, C. (2015). Influencia de la temperatura en el teñido de fibras proteínicas (queratina) con hojas de nogal. (*tesis postgrado*). Universidad Nacional del Callao, Callao.
- Marcano, D. (2018). *Introducción a la Química*. Venezuela: Colección Divulgación Científica y Tecnológica. Academia de Ciencias Físicas.
- Marrone, L. (2014). *Tintes Naturales. Técnicas ancestrales en un mundo moderno*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina: Dunken.
- Martínez A. , J., Bernal , H., & Caceres, A. (2000). *Fundamentos de agrotecnología de cultivo de plantas medicinales iberoamericanas* (Vol. V). Santa Fe de Bogota: Editorial Bogota.
- Martínez Ruiz, H. (2012). *Metodología de la investigación*. México: Cengage Learning Editores.
- Md. Dulal Hosen , Md. Fazla Rabbi, Md. Abu Raihan, & Md. Abdullah Al Mamun. (2021). Effect of turmeric dye and biomordants on knitted cotton fabric coloration:. *Cleaner Engineering and Technology*, 1-11.
- Mellizo Salinas, N. (2018). Teñido de textiles de algodón con tinte vegetal de cúrcuma. (*tesis pregrado*). Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín-Antioquia, Colombia.
- Mencia, G. (2007). Produccion alpaquera en Perú. *Boletin informativo*. INIA.
- Mendez Angeles. (21 de noviembre de 2019). *La guia quimica*. Obtenido de La guia quimica: <https://quimica.laguia2000.com/general/colorantes-quimicos-y-alimentarios>

- Mendoza Huamani, C. (2018). “evaluación del tipo y cantidad de mordiente en la intensidad de color y solidez al lavado del teñido de fibra de alpaca (vicugna pacos) con aliso (*alnus acuminata* h.b.k)”. (*tesis pregrado*). Universidad Nacional de Huancavelica, Huacavelica.
- Molla Tadesse, A., Zhou, Y., Guan, J., Chen, G., Ferri, A., & Nierstrasz, V. (2019). Coloración y bioactivación de tejido de poliéster con curcumina enCO 2 supercrítico : Parte II - Efecto de la concentración de tinte sobre el color y propiedades funcionales. *Sciencedirect*, 1-26.
- Montgomery, D. (2004). *diseño y analisis de experimentos* (Segunda ed.). Mexico: Limusa wiley.
- Muñoz Villa, A., Sáenz Galindo, A., López López, L., Cantú Sifuentes , L., & Barajas Bermúdez, L. (2014). Ácido Cítrico: Compuesto Interesante. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 18-23.
- Naveed, R., Ahmad Bhatti, I., Adeel, S., Ashar, A., Sohail, I., Ul Haq Khan, M., . . . Nazir, A. (2020). Microwave-Assisted Extraction and Dyeing of Cotton Fabric with Mixed Natural Dye from Pomegranate Rind (*Punica Granatum* L.) and Turmeric Rhizome (*Curcuma Longa* L.). *Journal of Natural Fibers*, 1-9.
- Nina Aguilar , Y. (2018). Obtención Y Caracterización Del Colorante Natural A Partir De Inflorescencia De Colli (*Buddleja Coriacea*) Para Su Aplicación En Teñido De Fibra De Alpaca. (*tesis de pregrado*). Universidad Nacional Del Altiplano, Puno, Peru.
- Ñaupas Paita , H., Mejia Mejia, E., Novoa Ramírez, E., & Villagómez Paucar, A. (2014). *Metodologia de la investigacion Cuantitativa - Cualitativa y redaccion de la tesis*. Bogotá, Colombia: Ediciones de U.
- Obando Portillo, R. (2013). Tintura Alternativa en Hilos de lana con Colores Naturales. (*tesis pregrado*). Universidad Tecnica del Norte, Ibarra.
- Ojeda Brito, G. (2012). Tenido de fibra de abacá (textiles musa) utilizando colorante extraido de la cochinilla (*Dactylopius Coccus*). (*Tesis de pregrado*). Universidad de Loja, Ecuador.

- Paredes Martínez, B. I. (2002). Análisis y obtención de colorante natural a partir de la *Baccharis latifolia* (chilca). (*Tesis pregrado*). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Pazos, S. (Marzo de 2017). Teñido en base a tintes naturales: conocimiento y técnicas ancestrales de artistas textiles de Perú y Bolivia. *Manual de teñido*. Lima, Lima, Perú: Soluciones Prácticas.
- Pizarro Losilla, A. (2007). Minería histórica del alumbre en la comarca andorra-sierra de arcos (S. XVI-XIX). *Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero*, 11-18.
- Ponce de Leon Caceres, M., & Valdivia Cardenas, M. (2014). Optimización de los parámetros para la curva de teñido con colorantes ácidos, reactivos y complejo metálico en la fibra de alpaca. (*Tesis pregrado*). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.
- Quispe, C. (2011). Revisión sobre fibra de alpaca (vicuña pacos) huacaya y su mejoramiento: Aportes del PROCASUD. Huancayo, Perú.
- Rasmussen. (2000). A Simple and Efficient Separation of the Curcumins, the Antiprotozoal Constituents of *Curcuma longa*. *Planta Medicinal*, 396-397.
- Rojas Tapia, B. (Marzo de 2011). *Tecnología de Fibras Animales*. Obtenido de SCRIBD: <https://es.scribd.com/document/264943228/Tecnologia-de-Fibras-Animales>
- Rosas Espejo, A. (2010). Estudio de las principales características de la fibra de alpaca grasienta y de las condiciones de su proceso de lavado. (*Tesis pregrado*). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Saez, E. (8 de Febrero de 2019). *Femenino*. Obtenido de <https://www.enfemenino.com/tratamientos/piedra-de-alumbre-s455168.html>
- Singh, A., & Sheikh, J. (2020). Cleaner functional dyeing of wool using *Kigelia Africana* natural dye and *Terminalia chebula* bio-mordant. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 1-6.
- Sobero, V. (1996). *Manual de selección y clasificación de la fibra alpaca*. Arequipa, Perú: Serie de informes técnicos N° 4 Coordinadora Inter-institucional del sector alpaqueros.

- Solis, A. G. (2010). *Fibras Textiles*. Lima: Instituto de investigación UTP.
- Soto Benito, S. (2017). evaluación del tiempo de ebullición en la intensidad de color y solidez a la luz del teñido de lana de ovino (*ovis aries*) con ayrampo (*berberis sp.*). (*tesis de pregrado*). Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica.
- Storey, J. (1989). *Manual de tintes y tejidos*. Madrid: Herman Blume Central de Distribuciones S.A.
- Tecnología en Alimentos. (Abei de 2021). *Tecno productos ocampo S.A de C.V.*
- Tintes Naturales. (22 de Abril de 2019). *Tintes naturales.org*. Obtenido de <https://tintesnaturales.org/mordientes/>
- Vaca Cárdenas, M. L., Hidalgo Almeida, L. E., Vaca Cárdenas, M. E., & Núñez Mazza, K. A. (2020). Aplicación de diferentes tintes naturales para la obtención de hilo orgánico de lana de ovino. *Dialnet*, 1096-1113.
- Vara Horna, A. A. (2012). *7 pasos para una tesis exitosa*. Lima: Instituto de Investigación de la Facultad de Ciencias Administrativas y Recursos Humanos.
- Vicente Alonso, F. (2015). Manual control de calidad en productos textiles y afines. (*Manual de laboratorio de química*). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Vigueras , A., & Portillo, L. (2004). *Teñido de Fibras Naturales con Pigmentos*. Universidad de Guadalajara, Mexico.
- Xicota, E. (6 de Diciembre de 2015). *EsterXicota*. Obtenido de EsterXicota: <https://www.esterxicota.com/tintes-naturales-vs-tintes-sinteticos/>
- Xicota, E. (4 de Febrero de 2016). *Ester Xicota consultora Ecotintes y tintes naturales en el Perú*. <https://www.esterxicota.com/ecotintes-tintes-naturales/>
- Yoshiko, S. (1996). Colorantes naturales. *Biblioteca Nacional de Antropología e Historia (INAH)*, 57-66.
- ysla, z. (08 de Febrero de 2016). Perú apunta a liderar mercado de colorantes naturales del mundo. *COMERCIO*, págs. 1-2.

Zarate Zavaleta, A. (2012). Guia tecnica. *Asistencia tecnica dirigida en caracterizacion y clasificacion de fibra de alpaca*. Pilpichaca, Huancavelica: Agrobanco.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1. Constancia del Centro de Innovación Productiva y Transparencia Tecnológica – CITE Textil Camélidos Arequipa



# CONSTANCIA

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

**ELIDA JHUDITH MAMANI PUMA**

Por llevar a cabo el proceso experimental del desarrollo de su plan de investigación “Efectos del teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) en la solidez del color del hilado de alpaca para la artesanía textil, Puno 2020”. Se llevaron a cabo ensayos de extracción de pigmentos, solidez del color al frote en seco y húmedo, solidez del color lavado y solidez del color a la luz. Los ensayos de laboratorio fueron llevados a cabo en las instalaciones del Centro de Innovación Productiva y Transferencia Tecnológica – CITE Textil Camélidos Arequipa.

Arequipa, 03 de marzo del 2021



**Dr. José Carlos Cuentas-Zavala Rondón**  
Director  
CITE TEXTIL CAMÉLIDOS AREQUIPA



**Ing. José Luis Carrasco Bocangel**  
Especialista en Línea Húmeda y Teñido  
CITE TEXTIL CAMÉLIDOS AREQUIPA

**CITE**textil camélidos  
Arequipa

ANEXO 2. Resultados de la prueba de solidez al lavado del teñido de hilo de alpaca con cúrcuma (*cúrcuma longa*).

CITE textil camélidos Arequipa		FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA SOLIDEZ DEL COLOR AL LAVADO						UNW													
LUGAR DE EJECUCIÓN: CITE textil camélidos Arequipa, Cerro colorado, Arequipa																					
LABORATORIO: Laboratorio de control de calidad del CITE textil camélidos Arequipa																					
ENCARGADO DE LABORATORIO: Ing. José Luis Carrasco Bocangel																					
TRATAMIENTO	PARÁMETROS DE TEÑIDO				CANTIDAD DE HILADO		RELACIÓN DE BAÑO	SOLIDEZ AL LAVADO													
	RELACIÓN PLANTA/SUSTRATO (%)	CONCENTRACIÓN DE MORDIENTE	TEMPERATURA DE TEÑIDO (°C)	TIEMPO DE TEÑIDO (min.)	I	II		MULTIFIBRA N° 42					Replica I	MULTIFIBRA N° 42					Replica II		
								Lana	Acrílico	Poliéster	Nylon	Algodón	Acetato	PROMEDIO	Lana	Acrílico	Poliéster	Nylon	Algodón	Acetato	PROMEDIO
1	18	1	85	50	6.78 g	6.88 g	1:20	4.5	4.5	4.5	2	2	2.5	3.33	4.5	4.5	4.5	2	2	2.5	3.33
2	9	1	85	50	6.93 g	6.85 g	1:20	4.5	4.5	4.5	2.5	3	3	3.67	4.5	4.5	4.5	2.5	3	3	3.67
3	18	3	85	50	6.84 g	6.82 g	1:20	4.5	4.5	4.5	2	2	2.5	3.33	4.5	4.5	4.5	2	2	2.5	3.33
4	9	3	85	50	6.99 g	6.70 g	1:20	4.5	4.5	4.5	2	2	2.5	3.33	4.5	4.5	4.5	2	2	2.5	3.33
5	18	1	98	50	6.80 g	6.45 g	1:20	4.5	4.5	4.5	2	2	3	3.42	4.5	4.5	4.5	2.5	2	3	3.50
6	9	1	98	50	6.34 g	7.09 g	1:20	4.5	4.5	4.5	3	3.5	3.5	3.92	4.5	4.5	4.5	3	3.5	3.5	3.92
7	18	3	98	50	6.70 g	7.01 g	1:20	4.5	4.5	4.5	2	2	3	3.42	4.5	4.5	4.5	2	2	3	3.42
8	9	3	98	50	6.65 g	7.08 g	1:20	4.5	4.5	4.5	3	3.5	3.5	3.92	4.5	4.5	4.5	3	3.5	3.5	3.92
9	18	1	85	30	7.05 g	6.80 g	1:20	4.5	4.5	4.5	2.5	3	3	3.67	4.5	4.5	4.5	2.5	3	3	3.67
10	9	1	85	30	7.04 g	6.99 g	1:20	4.5	4.5	4.5	3	3.5	3	3.83	4.5	4.5	4.5	2.5	3	3	3.67
11	18	3	85	30	6.82 g	7.10 g	1:20	4.5	4.5	4.5	2.5	3	3	3.67	4.5	4.5	4.5	2.5	3	3	3.67
12	9	3	85	30	7.12 g	6.82 g	1:20	4.5	4.5	4.5	3	3.5	3	3.83	4.5	4.5	4.5	3	3.5	3	3.83
13	18	1	98	30	6.70 g	6.37 g	1:20	4.5	4.5	4.5	2	2.5	3	3.50	4.5	4.5	4.5	2	2	3	3.42
14	9	1	98	30	7.08 g	6.90 g	1:20	4.5	4.5	4.5	3.5	4	4	4.17	4.5	4.5	4.5	3	4	4	4.08
15	18	3	98	30	7.10 g	6.47 g	1:20	4.5	4.5	4.5	2	2	3	3.42	4.5	4.5	4.5	2	2	3	3.42
16	9	3	98	30	7.08 g	6.43 g	1:20	4.5	4.5	4.5	3.5	4	4	4.17	4.5	4.5	4.5	3.5	4	4	4.17
17	13.5	2	91.5	40	6.94 g	6.75 g	1:20	4.5	4.5	4.5	2.5	3.5	3.5	3.83	4.5	4.5	4.5	3	3.5	3.5	3.92
18	13.5	2	91.5	40	6.80 g	7.11 g	1:20	4.5	4.5	4.5	2.5	3.5	3.5	3.83	4.5	4.5	4.5	2.5	3.5	3.5	3.83
19	13.5	2	91.5	40	6.84 g	6.29 g	1:20	4.5	4.5	4.5	2.5	3.5	3.5	3.83	4.5	4.5	4.5	2.5	3.5	3.5	3.83

Lugar y fecha: Arequipa, 04 de marzo del 2021



Ing. José Luis Carrasco Bocangel

Especialista en línea Húmeda y Teñido  
CITE TEXTIL CAMÉLIDOS AREQUIPA

ANEXO 3. Resultados de la prueba de solidez al frote en seco del teñido de hilo de alpaca con cúrcuma (*cúrcuma longa*).

CITEtextil camélidos Arequipa		FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA SOLIDEZ DEL COLOR AL FROTE EN SECO						UWA	
LUGAR DE EJECUCIÓN: CITE textil camélidos Arequipa, Cerro colorado, Arequipa									
LABORATORIO: Laboratorio de control de calidad del CITE textil camélidos Arequipa									
ENCARGADO DE LABORATORIO: Ing. José Luis Carrasco Bocangel									
TRATAMIENTO	PARÁMETROS DE TEÑIDO				CANTIDAD DE HILADO		RELACIÓN DE BAÑO	SOLIDEZ AL FROTE EN SECO	
	RELACIÓN PLANTA/SUSTRATO (%)	CONCENTRACIÓN DE MORDIENTE (g/l)	TEMPERATURA DE TEÑIDO (°C)	TIEMPO DE TEÑIDO (min.)	I	II		REPLICA I	REPLICA II
1	18	1	85	50	6.78 g	6.88 g	1:20	4	3.5
2	9	1	85	50	6.93 g	6.85 g	1:20	4.5	4.5
3	18	3	85	50	6.84 g	6.82 g	1:20	4	4
4	9	3	85	50	6.99 g	6.70 g	1:20	4.5	4
5	18	1	98	50	6.80 g	6.45 g	1:20	3.5	3.5
6	9	1	98	50	6.34 g	7.09 g	1:20	4	4
7	18	3	98	50	6.70 g	7.01 g	1:20	3.5	3.5
8	9	3	98	50	6.65 g	7.08 g	1:20	4.5	4.5
9	18	1	85	30	7.05 g	6.80 g	1:20	4.5	4.5
10	9	1	85	30	7.04 g	6.99 g	1:20	4.5	4.5
11	18	3	85	30	6.82 g	7.10 g	1:20	4.5	4.5
12	9	3	85	30	7.12 g	6.82 g	1:20	4.5	4.5
13	18	1	98	30	6.70 g	6.37 g	1:20	3.5	3.5
14	9	1	98	30	7.08 g	6.90 g	1:20	4.5	4.5
15	18	3	98	30	7.10 g	6.47 g	1:20	3	3
16	9	3	98	30	7.08 g	6.43 g	1:20	4.5	4.5
17	13.5	2	91.5	40	6.94 g	6.75 g	1:20	4	4
18	13.5	2	91.5	40	6.80 g	7.11 g	1:20	4	4
19	13.5	2	91.5	40	6.84 g	6.29 g	1:20	4.5	4

Lugar y fecha: Arequipa, 10 de febrero del 2021



**Ing. José Luis Carrasco Bocangel**  
Especialista en línea Húmeda y Teñido  
CITE TEXTIL CAMÉLIDOS AREQUIPA

ANEXO 4. Resultados de la prueba de solidez a la luz del teñido de hilo de alpaca con cúrcuma (*cúrcuma longa*).

CITE textil camélidos Arequipa		FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA SOLIDEZ DEL COLOR A LA LUZ						UWU		
LUGAR DE EJECUCIÓN: CITE textil camélidos Arequipa, Cerro colorado, Arequipa										
LABORATORIO: Laboratorio de control de calidad del CITE textil camélidos Arequipa										
ENCARGADO DE LABORATORIO: Ing. José Luis Carrasco Bocangel										
TRATAMIENTO	PARÁMETROS DE TEÑIDO					CANTIDAD DE HILADO		RELACIÓN DE BAÑO	SOLIDEZ A LA LUZ	
	RELACIÓN PLANTA/SUSTRATO (%)	CONCENTRACIÓN DE MORDIENTE (g/l)	TEMPERATURA DE TEÑIDO (°C)	TIEMPO DE TEÑIDO (min.)	I	II	REPLICA I		REPLICA II	
1	18	1	85	50	6.78 g	6.88 g	1:20	1.5	1.5	
2	9	1	85	50	6.93 g	6.85 g	1:20	1	1	
3	18	3	85	50	6.84 g	6.82 g	1:20	2	1.5	
4	9	3	85	50	6.99 g	6.70 g	1:20	1.5	1.5	
5	18	1	98	50	6.80 g	6.45 g	1:20	2	2	
6	9	1	98	50	6.34 g	7.09 g	1:20	2.5	2.5	
7	18	3	98	50	6.70 g	7.01 g	1:20	1.5	2	
8	9	3	98	50	6.65 g	7.08 g	1:20	1.5	1	
9	18	1	85	30	7.05 g	6.80 g	1:20	2	2	
10	9	1	85	30	7.04 g	6.99 g	1:20	1.5	1.5	
11	18	3	85	30	6.82 g	7.10 g	1:20	1	1	
12	9	3	85	30	7.12 g	6.82 g	1:20	1.5	1.5	
13	18	1	98	30	6.70 g	6.37 g	1:20	2	2	
14	9	1	98	30	7.08 g	6.90 g	1:20	1.5	1	
15	18	3	98	30	7.10 g	6.47 g	1:20	2	2	
16	9	3	98	30	7.08 g	6.43 g	1:20	1.5	2	
17	13.5	2	91.5	40	6.94 g	6.75 g	1:20	1.5	1.5	
18	13.5	2	91.5	40	6.80 g	7.11 g	1:20	1.5	1	
19	13.5	2	91.5	40	6.84 g	6.29 g	1:20	1.5	1.5	

Lugar y fecha: Arequipa, 03 de marzo del 2021



**Ing. José Luis Carrasco Bocangel**  
Especialista en línea Húmeda y Teñido  
CITE TEXTIL CAMÉLIDOS AREQUIPA

ANEXO 5. Tabla A8 límites para prueba de Durbin-watson

■ **Tabla A8** Límites para prueba de Durbin-Watson

Nivel de significancia $\alpha = .05$ , $p - 1$ es el número de variables o términos en el modelo, $n$ el número de datos										
	$p - 1 = 1$		$p - 1 = 2$		$p - 1 = 3$		$p - 1 = 4$		$p - 1 = 5$	
$n$	$d_L$	$d_U$								
15	1.08	1.36	0.95	1.54	0.82	1.75	0.69	1.97	0.56	2.21
16	1.10	1.37	0.98	1.54	0.86	1.73	0.74	1.93	0.62	2.15
17	1.13	1.38	1.02	1.54	0.90	1.71	0.78	1.90	0.67	2.10
18	1.16	1.39	1.05	1.53	0.93	1.69	0.82	1.87	0.71	2.06
19	1.18	1.40	1.08	1.53	0.97	1.68	0.86	1.85	0.75	2.02
20	1.20	1.41	1.10	1.54	1.00	1.68	0.90	1.83	0.79	1.99
21	1.22	1.42	1.13	1.54	1.03	1.67	0.93	1.81	0.83	1.96
22	1.24	1.43	1.15	1.54	1.05	1.66	0.96	1.80	0.86	1.94
23	1.26	1.44	1.17	1.54	1.08	1.66	0.99	1.79	0.90	1.92
24	1.27	1.45	1.19	1.55	1.10	1.66	1.01	1.78	0.93	1.90
25	1.29	1.45	1.21	1.55	1.12	1.66	1.04	1.77	0.95	1.89
26	1.30	1.45	1.22	1.55	1.14	1.65	1.06	1.76	0.98	1.88
27	1.32	1.47	1.24	1.56	1.16	1.65	1.08	1.76	1.01	1.86
28	1.33	1.48	1.26	1.56	1.18	1.65	1.10	1.75	1.03	1.85
29	1.34	1.48	1.27	1.56	1.20	1.65	1.12	1.74	1.05	1.84
30	1.35	1.49	1.28	1.57	1.21	1.65	1.14	1.74	1.07	1.83
31	1.36	1.50	1.30	1.57	1.23	1.65	1.16	1.74	1.09	1.83
32	1.37	1.50	1.31	1.57	1.24	1.65	1.18	1.73	1.11	1.82
33	1.38	1.51	1.32	1.58	1.26	1.65	1.19	1.73	1.13	1.81
34	1.39	1.51	1.33	1.58	1.27	1.65	1.21	1.73	1.15	1.81
35	1.40	1.52	1.34	1.58	1.28	1.65	1.22	1.73	1.16	1.80
36	1.41	1.52	1.35	1.59	1.29	1.65	1.24	1.72	1.18	1.80
37	1.42	1.53	1.36	1.59	1.31	1.66	1.25	1.72	1.19	1.80
38	1.43	1.54	1.37	1.59	1.32	1.66	1.26	1.72	1.21	1.79
39	1.43	1.54	1.38	1.60	1.33	1.66	1.27	1.72	1.22	1.79
40	1.44	1.54	1.39	1.60	1.34	1.66	1.29	1.72	1.23	1.79

NOTA:

$n$  = número de corridas o tratamientos

$p$  = número de variables = v. independientes + variable respuesta = 5

ANEXO 6. Secuencia fotográfica del procedimiento de extracción del colorante de los rizomas de la cúrcuma (*cúrcuma longa*).



*Figura 1.* Clasificación de la cúrcuma



*Figura 2.* Limpieza y rallado de la cúrcuma



*Figura 3.* Deshidratado, secado y triturado de la cúrcuma



*Figura 4.* Pesado de la cúrcuma en pequeñas partículas



*Figura 5.* Extracción por cocción del colorante y filtración del colorante extraído

ANEXO 7. Secuencia fotográfica del procedimiento de acondicionamiento del hilo de alpaca para el teñido.



*Figura 6.* Formación de muestras en madeja para el teñido y pesado de las muestras (madejas de hilo de alpaca)



*Figura 7.* Muestras codificadas según tratamiento y lavado del hilado de alpaca para el teñido



*Figura 8.* Premordentado del hilo de alpaca con crémor tártaro y sulfato de aluminio

ANEXO 8. Secuencia fotográfica del procedimiento de teñido del hilo de alpaca con cúrcuma (*cúrcuma longa*).



Figura 9. Orden de recipientes para teñido



Figura 10. Llenado de colorante en los recipientes según relación de baño y adición del mordiente ácido cítrico



*Figura 11.* Colocación de las muestras (madejas de hilo de alpaca) en los baños tintóreos



*Figura 12.* Aseguramiento y distribución de los recipientes de teñido en el equipo



*Figura 13.* Programación de los parámetros de teñido (temperatura y tiempo) en el equipo



*Figura 14.* Lavado y secado de las muestras (madejas de hilo de alpaca) teñidas



*Figura 15.* Codificación de las muestras teñidas según tratamiento

ANEXO 9. Secuencia fotográfica del procedimiento de la evaluación de la solidez del color en los teñidos mediante pruebas de solidez.



*Figura 16.* Acondicionamiento de las muestras teñidas para la prueba de solidez al lavado



*Figura 17.* Colocación de las muestras en los recipientes y montaje de los recipientes en la máquina para la prueba de solidez al lavado



*Figura 18.* Resultados y evaluación de la prueba de solidez al lavado



*Figura 19.* Acondicionamiento para la prueba de solidez al frote en seco



*Figura 20.* Realización de la prueba de solidez al frote en seco en condiciones determinadas



*Figura 21.* Resultados y evaluación de la prueba de solidez al frote en seco



*Figura 22.* Acondicionamiento para la prueba de solidez a la luz



*Figura 23.* Realización de la prueba de solidez a la luz en condiciones determinadas



*Figura 24.* Resultados y evaluación de la prueba de solidez a la luz



*Figura 25. Evaluación del cambio de color en la cámara de luces*

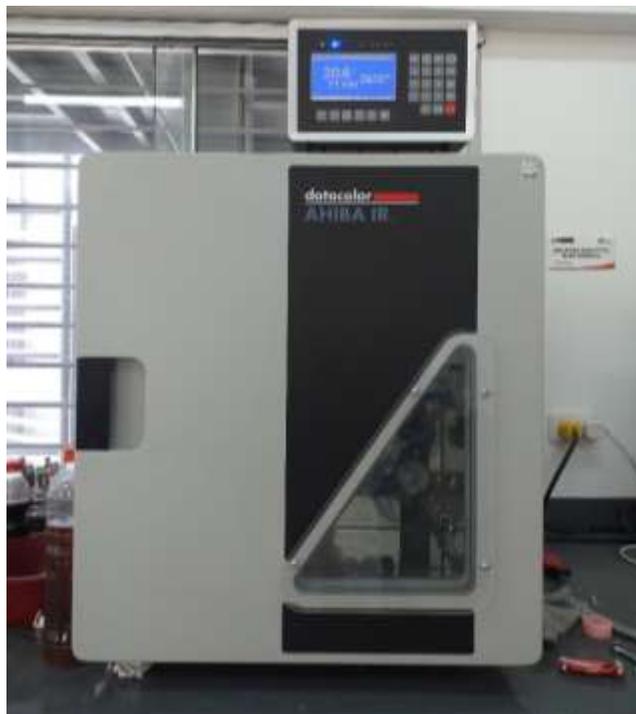


*Figura 26. Instalaciones del CITE Textil Camélidos Arequipa*

ANEXO 10. Fotografías de los equipos usados en la investigación.



*Figura 27.* Estufa eléctrica marca J.P. SELECTA para la deshidratación de la cúrcuma



*Figura 28.* Equipo de teñir muestras marca SGS (USTC) modelo AHIBA IR datacolor



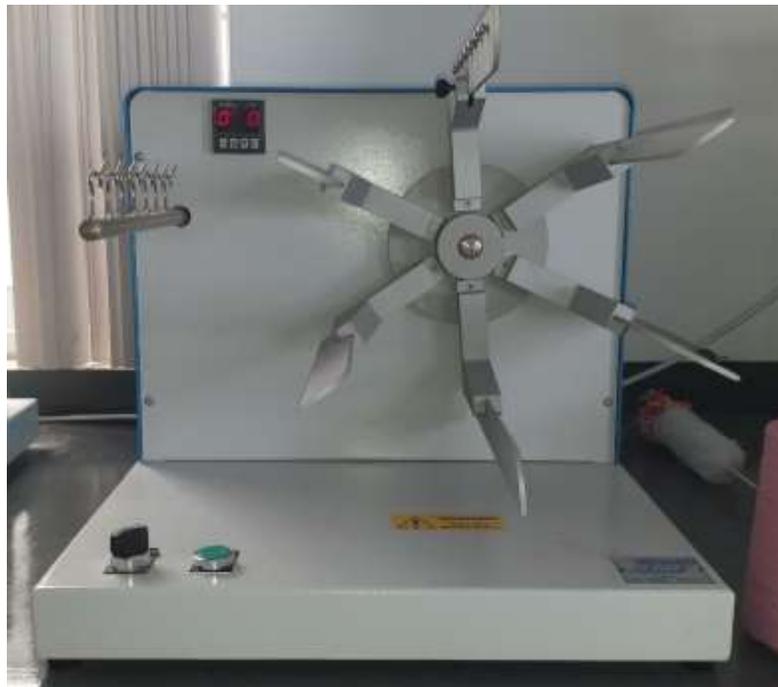
Figura 29. Equipo para el ensayo de solidez al frote electronic Crockmeter



Figura 30. Máquina para el ensayo de solidez al lavado water colour fastnes tester



*Figura 31.* Cámara de luces color inspection cabinet



*Figura 32.* Madejero electrico para la preparación de muestras de hilado de alpaca



*Figura 33.* Balanza analítica para el pesado de las muestras



*Figura 34.* Pipeta electrónica



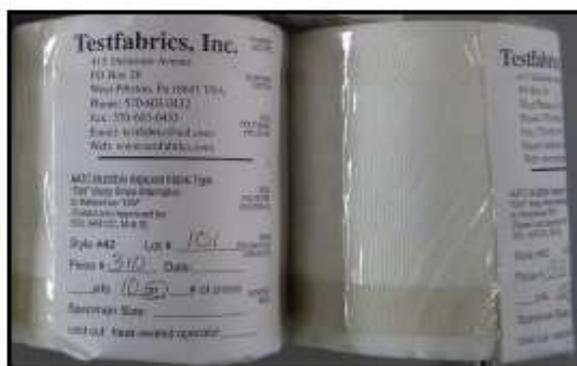
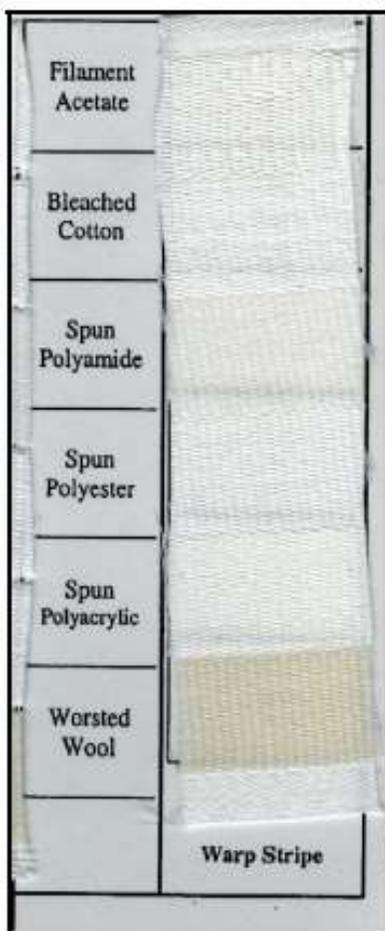
*Figura 35.* Estufa a gas (dos hornillas) y recipientes de acero inoxidable

ANEXO 11. Materiales para la prueba de solidez al lavado y solidez al frote en seco según normas internacionales e instrumentos de evaluación.



*Figura 36.* Telas testigo para la prueba de solidez al frote

## MULTIFIBRA N° 42



### Descripción:

Multifibra N° 42 para pruebas de solidez al lavado  
Con normas ISO y AATCC.  
Se usa también en las normas: AATCC 15,61 y 101

### Características:

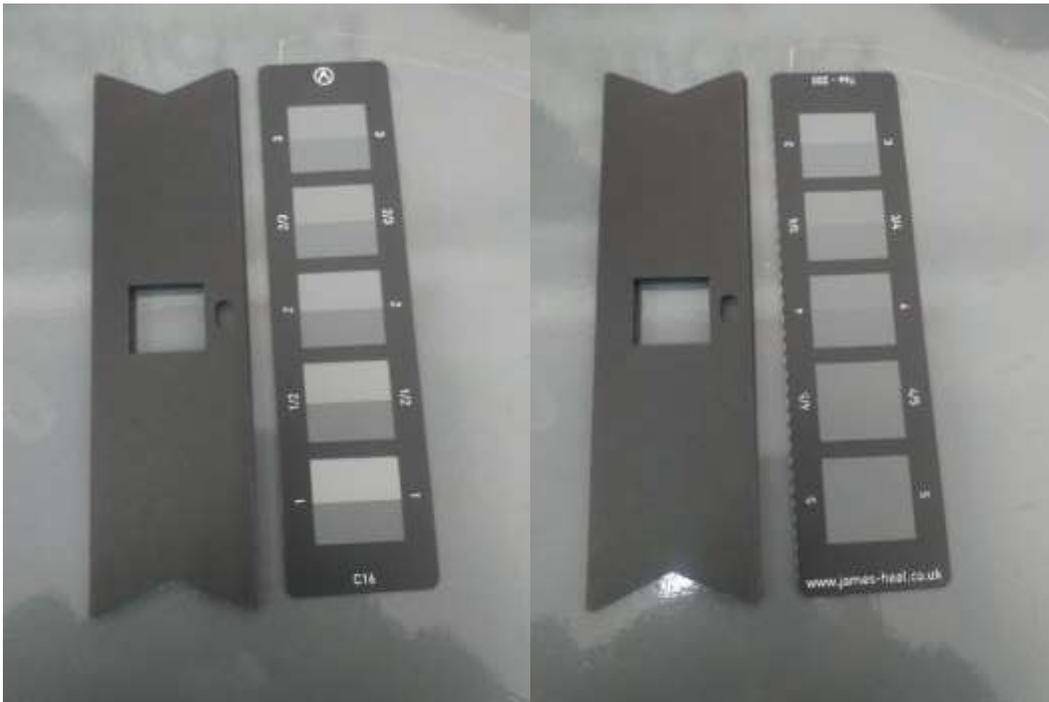
- ▣ 6 bandas de 1,5 cm cada una
- ▣ Ancho de la multifibra 10 cm
- ▣ Estructura de filamentos de poliéster.

### Presentación:

Rollos de 10 metros.



*Figura 37. Escala de grises para transferencia de color*



*Figura 38. Escala de grises para cambio de color*

ANEXO 12. Validación y confiabilidad del instrumento (ficha de recolección de datos)





UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA  
FICHA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN  
JUICIO DE EXPERTOS

- III. DATOS GENERALES
- 1.9 APELLIDOS Y NOMBRES : Victor Manuel Lima Condori
- 1.10 GRADO ACADEMICO : Doctor
- 1.11 INSTITUCION QUE LABORA : Universidad Nacional de Juliaca
- 1.12 TITULO DE LA INVESTIGACION : Efectos del teñido natural con cúrcuma (*cúrcuma longa*) en la solidez del color del hilado de alpaca para la artesanía textil, puno 2020
- 1.13 AUTOR DEL INSTRUMENTO : Elida Jhudith Mamani Puma
- 1.14 MENCION : Ficha de registros
- 1.15 NOMBRE DEL INSTRUMENTO : Ficha para registro de datos de la solidez del color al lavado, al frote en seco y a la luz.
- 1.16 CRITERIOS DE APLICABILIDAD:
- a) De 1 a 9: (no valida, reformular)
  - b) De 10 a 12: (no valida, modificar)
  - c) De 12 a 15: (valido, mejorar)
  - d) De 15 a 18: (valido, precisar)
  - e) De 18 a 20: (valido, aplicar)

IV. ASPECTOS A EVALUAR:

INDICADORES DE EVALUACION DEL INSTRUMENTO	CRITERIOS CUALITATIVOS CUANTITATIVOS	Deficiente (1-9)	Regular (10-12)	Bueno (12-15)	Muy bueno (15-18)	Excelente (18-20)
		1	2	3	4	5
CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado				✓	
OBJETIVIDAD	Esta expresado con conductas observables				✓	
ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia y la tecnología				✓	
ORGANIZACIÓN	Existe una organización y lógica					✓
SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en cantidad y calidad				✓	
INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar los aspectos de estudios					✓
CONSISTENCIA	Basado en el aspecto teórico científico y del tema de estudio					✓
COHERENCIA	Entre las variables, dimensiones y variables					✓
METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito del estudio					✓
CONVENIENCIA	Genera nuevas pautas para la investigación				✓	
Sub total					20	25
Total						45

VALORACION CUANTITATIVA (Total x 0.4) :

18

VALORACION CUALITATIVA :

Excelente

OPINIÓN DE APLICABILIDAD :

Aplicable

Lugar y fecha: Juliaca 10 de enero de 2021

Firma y post firma del experto

DNI: 62427195

Dr. Victor Manuel Lima Condori  
ASESOR - CONSULTOR  
CINICAPA S.R.L.

Para el análisis de confiabilidad se realizó 12 experimentos previos, a los cuales se les determinó la solidez del color al lavado, solidez del color al frote en seco y solidez del color a luz.

TRATAMIENTOS	S. LAVADO	S. FROTE EN SECO	S. A LA LUZ
Tratamiento 1	4.00	3	3.5
Tratamiento 2	5.00	4.5	4
Tratamiento 3	4.50	4	1.5
Tratamiento 4	3.00	4.5	3
Tratamiento 5	2.50	3.5	2
Tratamiento 6	5.00	5	2.5
Tratamiento 7	2.00	2.5	1
Tratamiento 8	3.50	2	1.5
Tratamiento 9	4.00	4.5	4
Tratamiento 10	3.00	4	3
Tratamiento 11	2.50	3.5	2
Tratamiento 12	4.50	5	3

### Estadísticas totales y de elementos

Variable	Conteo total	Media	Desv.Est.
S.LAV	12	3.625	1.025
S. FROT	12	3.833	0.961
S. LUZ	12	2.583	0.996
Total	12	10.042	2.500

### Alfa de Cronbach

Alfa  
0.7875

RANGO	CONFIABILIDAD
0.53 a menos	Confiabilidad nula
0.54 a 0.59	Confiabilidad baja
0.60 a 0.65	Confiable
0.66 a 0.71	Muy confiable
0.72 a 0.99	Excelente confiabilidad
1	Confiabilidad perfecta

El alfa de Cronbach resulta 0.7875, lo cual significa que el instrumento tiene una excelente confiabilidad



ANEXO 14. Matriz de consistencia lógica – metodológica

EFECTOS DEL TEÑIDO NATURAL CON CÚRCUMA ( <i>cúrcuma longa</i> ) EN LA SOLIDEZ DEL COLOR DEL HILADO DE ALPACA PARA LA ARTESANÍA TEXTIL, PUNO 2020.						
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b><u>PROBLEMA GENERAL</u></b> ¿Cuál es el efecto del teñido natural con cúrcuma (<i>cúrcuma longa</i>) en la solidez del color del hilado de alpaca para la artesanía textil, Puno 2020?</p> <p><b><u>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</u></b> ¿Cuál es el efecto del teñido natural con cúrcuma (<i>cúrcuma longa</i>) en la solidez del color al lavado del hilado de alpaca? ¿Cuál es el efecto del teñido natural con cúrcuma (<i>cúrcuma longa</i>) en la solidez del color al frote en seco del hilado de alpaca? ¿Cuál es el efecto del teñido natural con cúrcuma (<i>cúrcuma longa</i>) en la solidez del color a la luz del hilado de alpaca?</p>	<p><b><u>OBJETIVO GENERAL</u></b> Determinar el efecto del teñido natural con cúrcuma (<i>cúrcuma longa</i>) en la solidez del color del hilado de alpaca para la artesanía textil, Puno 2020.</p> <p><b><u>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</u></b> Establecer el efecto del teñido natural con cúrcuma (<i>cúrcuma longa</i>) en la solidez del color al lavado del hilado de alpaca. Evaluar el efecto del teñido natural con cúrcuma (<i>cúrcuma longa</i>) en la solidez del color al frote en seco del hilado de alpaca. Demostrar el efecto del teñido natural con cúrcuma (<i>cúrcuma longa</i>) en la solidez del color a la luz del hilado de alpaca.</p>	<p><b><u>HIPÓTESIS GENERAL</u></b> El teñido natural con cúrcuma (<i>cúrcuma longa</i>) tiene efectos significativos en la solidez del color del hilado de alpaca.</p> <p><b><u>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</u></b> El teñido natural con cúrcuma (<i>cúrcuma longa</i>) tiene efectos significativos en la solidez del color al lavado del hilado de alpaca. El teñido natural con cúrcuma (<i>cúrcuma longa</i>) tiene efectos significativos en la solidez del color al frote en seco del hilado de alpaca. El teñido natural con cúrcuma (<i>cúrcuma longa</i>) tiene efectos significativos en la solidez del color a la luz del hilado de alpaca.</p>	<p><b>Variable Independiente:</b> Teñido natural con cúrcuma (<i>cúrcuma longa</i>)</p> <p><b>Variable Dependiente:</b> Solidez del color</p>	<p>Relación planta/sustrato</p> <p>Concentración de Mordiente</p> <p>Temperatura de teñido</p> <p>Tiempo de teñido</p> <p>Solidez al lavado</p> <p>Solidez a la luz solar</p> <p>Solidez al frote en seco</p>	<p>Gramos de rizoma de cúrcuma en función de gramos de hilo de alpaca (1g/9% y 1g/18%).</p> <p>Gramos de mordiente en función del volumen de baño de teñido.</p> <p>Grados centígrados del teñido.</p> <p>Minutos que dura el teñido.</p> <p>Grado de pérdida y cambio de color del sustrato teñido.</p> <p>Grado de transferencia de color del sustrato teñido.</p> <p>Grado de degradación del color por la luz del sustrato teñido.</p>	<p><b><u>Tipo:</u></b> Experimental <b><u>Nivel:</u></b> Explicativo <b><u>Diseño:</u></b> Experimental, diseño general 2<sup>k</sup> con puntos centrales multifactorial <b><u>Método:</u></b> Investigación científica cuantitativa hipotético-inductivo. <b><u>Población:</u></b> Longitud de hilado de alpaca de la comunidad de Conduriri. <b><u>Muestra:</u></b> Son 38 muestras de madejas de hilado (1 muestra = 40 metros) <b><u>Técnicas:</u></b> Observacional experimental. <b><u>Instrumentos:</u></b> Hoja o ficha de registros. <b><u>Procedimientos:</u></b> 1. Extracción del colorante de la cúrcuma (<i>cúrcuma longa</i>) en líquido 2. Acondicionamiento del hilo de alpaca para el teñido 3. Teñido del hilo de alpaca con cúrcuma (<i>cúrcuma longa</i>) 4. Evaluación de la solidez del color en los teñidos mediante pruebas de solidez. • Solidez al lavado • Solidez al frote en seco • Solidez a la luz</p>

## ANEXO 15. Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad/ Categoría
<b>Variable independiente</b>  Teñido natural con cúrcuma ( <i>cúrcuma longa</i> )	Es el proceso donde el colorante obtenido del rizoma de la planta cúrcuma ( <i>cúrcuma longa</i> ), es transferido a la fibra, tomando en cuenta los factores de tinción (Relación planta/sustrato, Concentración de Mordiente, Temperatura de teñido y Tiempo de teñido), para la fijación del color (Katz, 2015).	Para el teñido natural de la fibra de alpaca, se tomó en cuenta los factores del proceso de teñido (Relación planta/sustrato, Concentración de Mordiente, Temperatura de teñido y Tiempo de teñido); para lo cual se hará uso de dos relaciones de planta/sustrato (9 y 18 %), dos diferentes concentraciones de mordiente alumbre (1 g/L y 3 g/L), a dos temperaturas de teñido (85 y 98 °C) y a dos tiempos diferentes de teñido (30 y 50 minutos); para determinar los parámetros óptimos de teñido con las rizomas de la <i>cúrcuma longa</i> .	Relación planta/sustrato	Gramos de rizoma de cúrcuma en función de gramos de hilo de alpaca (1g/9% y 1g/18%).	9 % 18 %
			Concentración de mordiente	Gramos de mordiente en función del volumen de baño de teñido.	1 g/L 3 g/L
			Temperatura de teñido	Grados centígrados del teñido.	85 °C 98 °C
			Tiempo teñido	Minutos que dura el teñido.	30 minutos
					50 minutos
			<b>Variable dependiente</b>  Solidez de color	Es la resistencia de un material a cambiar en cualquiera de sus características de color y transferir su coloración a materiales adyacentes, o ambos como el resultado de la exposición del material a cualquier entorno que puede existir durante su procesamiento, análisis, almacenamiento y uso del material (Costa, 2010).	Para determinar la solidez del color de las muestras teñidas se realizó tres pruebas de solidez, las más importantes en cuanto a las exigencias del usuario y el mercado, estas son las pruebas de solidez al lavado, la prueba de solidez al frote en seco y la prueba de solidez a la luz del día, los cuales se realizará mediante los ensayos de solidez, se hará uso de las normas técnicas peruanas (NTP 231.008, NTP 231.042, NTP 231.007), donde esta detallado el procedimiento estandarizado para dichas pruebas.
Solidez del color al frote en seco	Grado de transferencia de color del sustrato teñido.	5 – 4.5 = Muy Buena 4 – 3.4 = Bueno 3 = Suficiente 2.3 – 2 = Regular 1.2 – 1 = Escasa			
Solidez del color a la luz	Grado de degradación del color por la luz del sustrato teñido.	5 – 4.5 = Muy Buena 4 – 3.4 = Bueno 3 = Suficiente 2.3 – 2 = Regular 1.2 – 1 = Escasa			



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**

*"Universidad Pública de Calidad"*



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**

*"Universidad Pública de Calidad"*