

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



Tesis

Evaluación colorimétrica, solidez y características textiles del hilo de fibra de alpaca teñido con flores de qolle (*Buddleja coriacea*) utilizando diferentes mordientes

Presentado por:

Luz Maria Pinche Gonzales

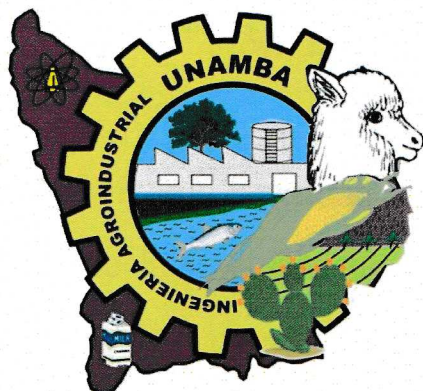
Para optar el título de Ingeniero Agroindustrial

Abancay, Perú

2025



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



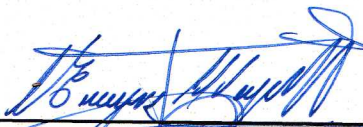
TESIS

Evaluación colorimétrica, solidez y características textiles del hilo de fibra de alpaca teñido con flores de qolle (*Buddleja coriacea*) utilizando diferentes mordientes

Presentado por **Luz Maria Pinche Gonzales**, para optar el título de Ingeniero Agroindustrial

Sustentado y aprobado el 13 de febrero de 2025, ante el jurado evaluador:

Presidente:



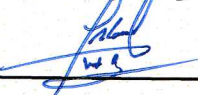
Ing. Abel Enrique Jesús Mujica Paredes

Primer miembro:



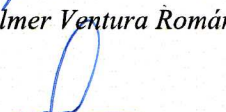
Ing. Ruth Mery Ceopa Flores

Segundo miembro:

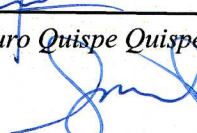


Mag. Almer Ventura Román

Asesores:



Mag. Arturo Quispe Quispe



PhD. Fulgencio Vilcanqui Perez

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 038-2025

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la Tesis intitulada: Evaluación de propiedades de colorimetría y solidez de hilo de la fibra de alpaca teñido con flores de qolle (*Buddleja coriacea*) con diferentes mordientes, presentado por el Bach: Luz María PINCHE GONZALES, Para optar el Título de **Ingeniero Agroindustrial**; ha sido sometido a un mecanismo de evaluación y verificación de similitud, a través del Software Turnitin, siendo el índice de similitud **ACEPTABLE de (15%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos por la Universidad.

Abancay, 04 de febrero del 2025


Dr. Lintol Contreras Salas
DIRECTOR(E) DE LA UNIDAD DE INVESTIGACION
FACULTAD DE INGENIERIA

C. c.
Archivo
REG. N°107

Agradecimiento

Agradezco a Dios por haberme dado la vida y acompañarme a lo largo de mi existencia, por ser el soporte y fortaleza en los momentos de flaqueza y dificultad.

*Mi especial agradecimiento a mis asesores **Mag. Arturo Quispe Quispe**, **Ph.D Fulgencio Vilcanqui Pérez** y al **Ing. Franklin Lozano Cusi** por compartir sus conocimientos, así como también haberme tenido toda la paciencia y el tiempo para guiarme durante todo el desarrollo de la tesis.*

*Doy gracias a mi abuela **Herlinda Flores** quien me ha enseñado siempre la perseverancia, siempre mirar hacia adelante ni rendirme ante nada a través de sus sabios consejos.*

*Gracias a mis padres: **Fredy Pinche Quinto** y **Lourdes Gonzales Flores**, por los valores, consejos y principios morales que me han inculcado, mi hermana **Nihan Aysel Pinche Gonzales** déjenme decirles que los amo y son mi pilar fundamental.*

Esta tesis fue ganadora y financiada totalmente a través del Vicerrectorado de Investigación de la UNAMBA, mediante el V Concurso de Investigación Científica y Tecnológica de Proyectos de Tesis de Pregrado, financiado con Fondos de Canon, Sobrecanon y Regalías Mineras 2023.



Dedicatoria

A Dios por ser el inspirador para continuar en este proceso.

A mi madre amada, y mi padre que siempre están conmigo me siento muy dichosa de ser su hija son el motivo de seguir adelante.

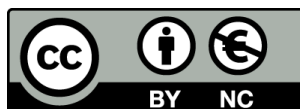
A mis amigos, asesores, docentes y compañeros de estudio que me han apoyado y me hicieron ver que sin importar cuanto tiempo me tome, todo se puede si de verdad se quiere.



Evaluación colorimétrica, solidez y características textiles del hilo de fibra de alpaca teñido con flores de qolle (*Buddleja coriacea*) utilizando diferentes mordientes

Línea de investigación: Caracterización, desarrollo de procesos e innovación en la agroindustria.

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	2
ABSTRACT	3
CAPÍTULO I	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1 Descripción del problema	4
1.2 Enunciado del problema	4
1.2.1 Problema general	5
1.2.2 Problemas específicos	5
1.3 Justificación de la investigación	6
CAPÍTULO II	8
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	8
2.1 Objetivos de la investigación	8
2.1.1 Objetivo general	8
2.1.2 Objetivos específicos	8
2.2 Hipótesis de la investigación	8
2.2.1 Hipótesis general	8
2.2.2 Hipótesis específicas	8
2.3 Operacionalización de variables	9
CAPÍTULO III	10
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	10
3.1 Antecedentes	10
3.2 Marco teórico	14
3.2.1 La alpaca	14
3.2.1.1 Fibra de alpaca	14
3.2.1.2 Estructura de la fibra de alpaca	15
3.2.1.3 Características químicas de la fibra	15
3.2.1.4 Características textiles de la fibra de alpaca	16
3.2.2 Colorante	18
3.2.2.1 Colorantes naturales	18
3.2.2.2 Clasificación de los colorantes naturales	18
3.2.2.3 Colorantes vegetales	19



3.2.3	Qolle (<i>Buddleja coriacea</i>)	19
3.2.3.1	Aspectos botánicos	20
3.2.4	Teñido	21
3.2.4.1	Aplicación en el teñido	21
3.2.4.2	Etapas del proceso de teñido	22
3.2.5	Mordiente	23
3.2.6	Evaluación de la solidez	23
3.2.7	Colorimetría	26
3.2.8	Diseño de experimentos	27
3.3	Marco conceptual	29
CAPÍTULO IV		31
METODOLOGÍA		31
4.1	Tipo y nivel de investigación	31
4.2	Diseño de la investigación	31
4.3	Población y muestra	31
4.4	Procedimiento	33
4.5	Técnica e instrumentos	36
4.6	Análisis estadístico	38
CAPÍTULO V		39
RESULTADOS Y DISCUSIONES		39
5.1	Análisis de resultados	39
CAPÍTULO VI		54
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		54
6.1	Conclusiones	54
6.2	Recomendaciones	55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		56
ANEXOS		60

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 — Operacionalización de variables	9
Tabla 2 — Composición de la queratina	16
Tabla 3 — Categorización de vellones	16
Tabla 4 — Clasificación de los colorantes según su naturaleza química	18
Tabla 5 — Valoración de la solidez en las fibras	25
Tabla 6 — ANOVA para el diseño completamente al azar de un factor	29
Tabla 7 — Diseño estadístico de la investigación para la evaluación de propiedades colorimétricas	31
Tabla 8 — Diseño estadístico para la evaluación de Características textiles	32
Tabla 9 — Datos de análisis de color de la fibra de alpaca teñida con colorante de flor de qolle (Buddleja coriacea)	39
Tabla 10 — ANOVA para la Luminosidad (L*)	40
Tabla 11 — ANOVA para la coordenada (b*)	41
Tabla 12 — ANOVA para el croma (C*)	42
Tabla 13 — ANOVA para el tono (h°)	43
Tabla 14 — Datos de evaluación de características textiles de los hilos de fibra de alpaca teñida con colorante de flor de qolle	44
Tabla 15 — ANOVA para determinar el diámetro medio de fibra (DMF)	45
Tabla 16 — ANOVA para determinar el coeficiente de variación de DMF	46
Tabla 17 — ANOVA para determinar el factor de confort (FC)	47
Tabla 18 — ANOVA para determinar el índice de curvatura (IC)	47
Tabla 19 — ANOVA para determinar la finura al hilado (FH)	48
Tabla 20 — Datos de la evaluación con la escala de grises y un espectrofotómetro de la evaluación al lavado y frote en seco y húmedo de la fibra de alpaca teñida con colorante de flor de qolle (Buddleja coriácea)	50
Tabla 21 — Resultados de las propiedades colorimétricas con sus respectivas repeticiones	61
Tabla 22 — Test de Tukey para Luminosidad	61
Tabla 23 — Prueba de Kruskal-wallis para la coordenada a*	62
Tabla 24 — Test de Tukey para la coordenada b*	63
Tabla 25 — Test de Tukey para croma C*	64
Tabla 26 — Test de Tukey para el Tono h°	64
Tabla 27 — Test de Tukey para el DMF	66
Tabla 28 — Test de Tukey de CV-DMF	67
Tabla 29 — Test de Tukey para FC	67
Tabla 30 — Test de Tukey para IC	68

Tabla 31 — Test de Tukey para FH



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 — Estructura de la fibra de alpaca	15
Figura 2 — Interacción entre el tejido , los terminales de la fibra o lana y la piel, que muestra la importancia del factor de confort (FC)	17
Figura 3 — Representación bidimensional de la forma de la una fibra	18
Figura 4 — Flor de qolle (Buddleja coriacea)	20
Figura 5 — Morfología del qolle	21
Figura 6 — Esquema del proceso de teñido	23
Figura 7 — Escala de grises para evaluar el cambio de color	24
Figura 8 — Escala de grises para evaluar la transferencia de color	25
Figura 9 — Coordenada tridimensional de la escala de CIEL *a*b*	27
Figura 10 — Diagrama de flujo del teñido de la fibra de alpaca con colorante qolle	35
Figura 11 — Representación gráfica de Luminosidad (L*)	40
Figura 12 — Representación gráfica de la coordenada (a*)	41
Figura 13 — Diagrama de barra para la coordenada (b*)	42
Figura 14 — Diagrama de barra para croma (C*)	43
Figura 15 — Diagrama de barra para el tono de matiz (h°)	44
Figura 16 — Diámetro medio de fibra (DMF)	45
Figura 17 — Coeficiente de variación del diámetro medio de fibra	46
Figura 18 — Diagrama de factor de confort (FC<30 µm)	47
Figura 19 — Diagrama de índice de curvatura	48
Figura 20 — Diagrama de finura al hilado (FH)	49
Figura 21 — Prueba de normalidad de residuos para Luminosidad (L*)	61
Figura 22 — Prueba de normalidad de residuos para la coordenada a*	62
Figura 23 — Prueba de normalidad de residuos para la coordenada b*	63
Figura 24 — Prueba de normalidad de residuos para croma C*	63
Figura 25 — Prueba de normalidad de residuos para el Tono h°	64
Figura 26 — Prueba de normalidad de residuos de diámetro medio de fibra (DMF)	66
Figura 27 — Prueba de normalidad de residuos para coeficiente de variación de diámetro medio de fibra (CV-DMF)	66
Figura 28 — Prueba de normalidad de residuos para factor de confort (FC)	67
Figura 29 — Prueba de normalidad de residuos para Índice de curvatura (IC)	68
Figura 30 — Prueba de normalidad de residuos para Finura al Hilado (FH)	68
Figura 31 — Árbol de flores de qolle (Budleja coriacea)	69
Figura 32 — Flores de qolle (Buddleja coriacea)	69
Figura 33 — Secado de las flores	71

Figura 34 — Obtención del Colorante	71
Figura 35 — Recolección de la fibra de alpaca de la comunidad de San Juan de Vilcarana	72
Figura 36 — Pesado de la fibra de alpaca	72
Figura 37 — Teñido de la fibra textil	73
Figura 38 — Pos-mordentado con alumbre, collpa y sal de limón	73
Figura 39 — Acondicionamiento para las pruebas	74



INTRODUCCIÓN

La geografía del Perú ofrece una gran variedad ecológica, lo que permite la existencia de una amplia diversidad de flora y fauna. Los camélidos sudamericanos como la llama, alpaca, guanaco y la vicuña, son de gran importancia económica y cultural. El Perú es el principal productor de alpacas, las cuales se encuentran en las zonas alto andinas de las regiones de Puno, Arequipa, Cusco, Ayacucho, Huancavelica y Apurímac (GUTIRREZ *et al.*, 2009). Apurímac es la quinta región productora de alpacas en Perú, siendo las provincias de Antabamba y Aymaraes las principales en la crianza de esta especie (VASQUEZ *et al.*, 2015).

La industria textil constantemente a buscado mejorar la calidad y durabilidad de sus productos manteniendo así las practicas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. La fibra de alpaca Huacaya (*Vicugna pacos*) destaca por sus cualidades, como suavidad, resistencia térmica y versatilidad también por su composición química que contiene carbono, hidrogeno, oxígeno, nitrógeno y azufre, siendo la queratina su principal componente (MCMGREGOR, 2018; NAFFA *et al.*, 2020). Sus parámetros de calidad radican en el diámetro, longitud de mecha, rendimiento al lavado y la fuerza tensante (MIAO, 2018). Sin embargo, uno de los desafíos más significativos para su valor agregado a la fibra es el desarrollo de métodos de teñido que no solo realcen su belleza natural, sino que contribuyan a la sostenibilidad del sector alpaquero.

El tinte de qolle (*Buddleja coriacea*), conocido por su color a simple vista amarillo intenso llamado flavonoides, ofrece una alternativa natural a los colorantes sintéticos dominantes en la industria textil y artesanal. Por otro lado, es muy importante investigar métodos de teñido con tintes naturales y ecológicos. Esta investigación se centra en el teñido de tinte de qolle (*Buddleja coriacea*) y mordientes metálicos sobre el efecto en las propiedades colorimétricas, escalas de CIELAB, características textiles y la solidez de color en los hilos de la fibra de alpaca Huacaya (*Vicugna pacos*).



RESUMEN

Uno de los principales problemas en la industria textil, son los colorantes sintéticos y contenidos químicos el cual tienen un alto poder de contaminación por los efluentes textiles. Debido a este gran problema se viene optando el uso de colorantes naturales, el qolle (*Buddleja coriácea*) es una flor de color anaranjada en estado maduro que contiene propiedades tintóreas el cual puede ser utilizado en la tinción de fibras textiles. El objetivo de esta investigación fue: Evaluar propiedades colorimétricas, características textiles y de solidez de color del hilo de fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñido con flores de qolle (*Buddleja coriacea*) a diferentes mordientes. El proceso de teñido fue de manera directa introduciendo agua destilada 250ml, flores de qolle 8g e hilo de alpaca 5 gramos a parámetros constantes de temperatura, tiempo y cantidad de colorante para cada repetición. Para luego hacer un post-mordentado con (alumbre, collpa y sal de limón), determinando las propiedades colorimétricas en la escala de CIELab en las coordenadas L*, a*, b*, C* y h°, características textiles, diámetro medio de fibra (DMF μm), Coeficiente de variación (CV-DMF μm), Factor de confort (FC%), Índice de curvatura (IC %) y finura al hilado (FH μm) y la solidez de color con la escala de grises.

Se determinó que el uso de sal de limón como mordiente (T3) resultó ser el más eficiente en términos de luminosidad (57.86), intensidad y fijación del color, sin comprometer la calidad textil de la fibra de alpaca. Este tratamiento se presenta como una alternativa natural y efectiva para la obtención de colores vivos y resistentes utilizando tintes naturales, fomentando prácticas sostenibles en la industria textil.

Palabras clave: Mordientes, qolle, solidez, collpa, sal de limón.



ABSTRACT

One of the main problems in the textile industry is synthetic dyes and chemical contents, which have a high potential for contamination by textile effluents. Due to this significant problem, the use of natural dyes is being opted for. Qolle (*Buddleja coriacea*) is an orange-colored flower in its mature state that contains dyeing properties, which can be used in the dyeing of textile fibers. The objective of this research was: To evaluate colorimetric properties, textile characteristics, and color fastness of alpaca fiber yarn (*Vicugna pacos*) dyed with qolle (*Buddleja coriacea*) flowers at different mordants. The dyeing process was direct, introducing 250 ml of distilled water, 8 g of qolle flowers, and 5 grams of alpaca yarn at constant parameters of temperature, time, and amount of dye for each repetition. To then carry out a post-mordanting with (alum, lick and lemon salt), determining the colorimetric properties on the CIELab scale in the coordinates L^* , a^* , b^* , C^* and h°), textile characteristics, average fiber diameter (DMF μm), coefficient of variation (CV-DMF μm), comfort factor (FC%), Curvature index (IC %) and fineness to spinning (FH μm) and color fastness with the gray scale.

The use of lemon salt as a mordant (T3) was found to be the most effective in terms of luminosity (57.86), intensity, and color fixation, without compromising the textile quality of the alpaca fiber. This treatment is presented as a natural and effective alternative for obtaining vivid, durable colors using natural dyes, promoting sustentable practices in the textile industry.

Keywords: *mordants, Qolle, fastness, collpa, lemon salt.*



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

La industria textil es una de las más contaminantes del mundo debido al uso de colorantes sintéticos y reactivos químicos que generan efluentes textiles, lo que resulta una producción de 0.7 millones de toneladas de tintes sintéticos a nivel mundial (SANCHES *et al.*, 2024). Estos contaminantes en muchos casos se descargan directamente sobre ríos, lagunas y otros cuerpos de agua, afectando el medio ambiente y la salud de los seres vivos.

La presencia de metales pesados, productos tóxicos y sustancias persistentes en los cuerpos de agua pone en riesgo tanto los ecosistemas acuáticos como la salud humana, lo que contribuye a enfermedades respiratorias, dérmicas y digestivas. Debido a este grave problema, en la comunidad de investigadores existe un creciente interés por proponer alternativas ecológicas que promuevan un proceso de teñido más sostenible, con un menor impacto ambiental y que no represente un riesgo para la salud. Una de las opciones más prometedoras que ha venido ganando popularidad es el uso de colorantes naturales derivados de fuentes vegetales, como flores, árboles, raíces y frutos que poseen propiedades tintóreas. Un ejemplo de ello es el qolle (*Buddleja coriacea*), una planta de la familia Buddlejaceae, conocida por sus compuestos flavonoides que tiñen principalmente de tonalidades amarillas (NINA, 2018). Esta planta no solo es accesible durante la mayor parte del año, sino que también representa una oportunidad para el desarrollo de colorantes naturales aplicables en el proceso de teñido de fibras, como la fibra de alpaca (*Vicugna pacos*). La fibra de alpaca, apreciada por su suavidad y resistencia, ha sido un recurso tradicional en las comunidades alto andinas. El uso de mordientes como el crémor de tártaro, alumbre, sal, ácido cítrico o sulfato de cobre para fijar el color en la fibra presenta una alternativa interesante y ecológicamente viable para sustituir los tintes sintéticos, reduciendo el impacto ambiental del proceso de teñido (SANCHEZ, 2020). Por otro lado, la región de Apurímac, rica en biodiversidad, enfrenta serios desafíos económicos, destacándose la pobreza extrema de las comunidades alto andinas que dependen principalmente de la crianza de camélidos sudamericanos como alpacas, vicuñas, llamas y guanacos. Esta actividad constituye una fuente de ingresos vital para los habitantes de la zona. En los últimos años, la producción de fibra de alpaca ha



sido un pilar económico, donde el 80% corresponde a fibra blanca y el 20% a fibra coloreada (ORIA *et al.*, 2009).

Las exigencias actuales en cuanto al cuidado del medio ambiente y la prevención de problemas de salud nos obligan a buscar nuevas tecnologías limpias que no produzcan impactos negativos en nuestro entorno. Por esta razón, es importante estudiar las propiedades de los colorantes naturales y sus características textiles, como la solidez a la luz, al frote y al lavado, como su resistencia (LAURA, 2018). Con el tiempo, se hace necesario realizar más investigaciones sobre los procesos productivos de la fibra de alpaca para optimizarlos y mejorar la calidad de los productos textiles. De esta manera, podremos ofrecer al mercado productos de alta calidad que cumplan con las exigencias de cada cliente (CORDOVA, 2017).

1.2 Enunciado del Problema

1.2.1 Problema general

¿Qué propiedades de colorimetría, características textiles y solidez de color presentara el hilo de fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñido con flores de qolle (*Buddleja coriacea*) utilizando diferentes mordientes?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Qué propiedades colorimétricas presentará el hilo de fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñidos con flores de qolle (*Buddleja coriacea*) utilizando diferentes mordientes?
- ¿Qué características textiles presentarán el hilo de fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñidos con flores de qolle (*Buddleja coriacea*) utilizando diferentes mordientes?
- ¿Qué propiedades de solidez del color presentara el hilo de fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñidos con flores de qolle (*Budleja coriacea*) utilizando diferentes mordientes?



1.2.3 Justificación de la investigación

La presente investigación es relevante tanto para la industria textil como para el medio ambiente, ya que responde a la necesidad urgente de mitigar el impacto ambiental negativo ocasionado por el uso de colorantes sintéticos en los procesos textiles y artesanales. Estos colorantes generan efluentes textiles que representan una fuente significativa de contaminación de los cuerpos de agua, contribuyendo a la degradación de los ecosistemas acuáticos y afectando la biodiversidad. Por lo tanto, el estudio busca ofrecer alternativas más sostenibles que reduzcan este impacto, promoviendo prácticas más ecológicas en la industria.

- **Sostenibilidad ambiental:** Los tintes naturales se descomponen de manera más rápida y segura en el medio ambiente, lo que disminuye la dependencia de productos químicos y sintéticos que pueden ser perjudiciales para la salud del ecosistema.
- **Salud y seguridad:** Los tintes naturales no contienen sustancias químicas perjudiciales para la salud.
- **Conservación natural:** El empleo de tintes naturales ayuda a preservar las tradiciones y el patrimonio cultural de diversas comunidades, transmitidos de generación en generación.
- **Impacto social económico:** El estudio tiene el potencial de fortalecer la economía local, promover prácticas sostenibles y ofrecer productos textiles de alta calidad al mercado global.

Por otra parte, la diversidad de especies naturales en los Andes de nuestro país nos brinda una amplia variedad de plantas con propiedades tintóreas que pueden ser utilizadas en el proceso de teñido de fibras textiles. Debido a la necesidad de innovar y obtener productos naturales que no afecten nuestra salud ni el medio ambiente, es posible reducir la contaminación y otros problemas ambientales mediante el uso de estas especies vegetales.

Al evaluar el uso del tinte de qolle y los mordientes como alternativas de uso natural, se habrá una posibilidad de ofrecer soluciones que sean menos perjudiciales para el medio ambiente, sino que también genere beneficios económicos sociales. Esto sin duda se logra con la mejora con la durabilidad del color en textiles como en este caso en la fibra de alpaca. Además, esta investigación puede fomentar el uso responsable y sostenible de recursos naturales



como el qolle, contribuyendo al fortalecimiento de las comunidades alto andinas, promoviendo prácticas de comercio justo y sostenible.



CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.2.1 Objetivo general

Evaluación de las propiedades colorimétricas, características textiles y de solidez de color del hilo de fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñido con flores de qolle (*Buddleja coriacea*) utilizando diferentes mordientes.

2.2.2 Objetivos específicos

- Evaluar las propiedades colorimétricas del hilo de fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñido con flores de qolle (*Buddleja coriacea*) utilizando diferentes mordientes.
- Evaluar las características textiles en hilos de fibra de alpaca teñido con flores de qolle (*Buddleja coriacea*) utilizando diferentes mordientes.
- Analizar las propiedades de solidez de color del hilo de fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñido con flores de qolle (*Buddleja coriacea*) utilizando diferentes mordientes.

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.3 Hipótesis general

Existen diferencias en las propiedades colorimétricas, características textiles y solidez de color de los hilos de fibra alpaca (*Vicugna pacos*) teñidos con flores de qolle (*Buddleja coriacea*) utilizando diferentes mordientes.

2.2.4 Hipótesis específicas

- Existen diferencias en las propiedades colorimétricas de los hilos de fibra alpaca (*Vicugna pacos*) teñidos con flores de qolle (*Buddleja coriacea*) utilizando diferentes mordientes.



- Existen diferencias en las características textiles de los hilos de fibra alpaca (*Vicugna pacos*) teñidos con flores de qolle (*Buddleja coriacea*) utilizando diferentes mordientes.
- Existen diferencias en la solidez de color de los hilos de fibra alpaca (*Vicugna pacos*) teñidos con flores de qolle (*Buddleja coriacea*) utilizando diferentes mordientes.

2.3 Operacionalización de variables

A continuación, se presenta la operacionalización de variables (Tabla 1).

Tabla 1— Operacionalización de variables

Variables	Mediciones	Indicadores	Índice
Variables Independientes	Tipos de mordientes	<ul style="list-style-type: none"> • Collpa • Alumbre • Sal de limón 	Gramos
Variables Dependientes	Propiedades colorimétricas	Color (L*, a*, b*, C* y h°)	Adimensional
	Características textiles	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro medio de la fibra (MDF) • Factor de confort (FC) • Finura al hilado (FH) • Índice de curvatura (IC) • Coeficiente de variación del diámetro de la fibra (CV-DMF) 	<ul style="list-style-type: none"> • μm • <30 μm • μm • % • μm
	Solidez de color	<ul style="list-style-type: none"> • Solidez al frote • Solidez al lavado 	<ul style="list-style-type: none"> • Escala de grises



CAPÍTULO III MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

- a) MENDOZA (2018), en su estudio de la *evaluación del tipo y cantidad de mordiente para observar la intensidad del color y la solidez del tinte en la fibras de alpaca (Vicugna pacos) con Aliso (Alnus acuminata HBK)*, tiene el propósito de evaluar el efecto de tipo y cantidad de mordiente adecuado para la intensidad del color y solidez al lavar los hilos de alpaca (*Vicugna pacos*) teñido con Aliso (*Alnus acuminata HBK*), empezó con la extracción de la solución colorante a partir de corteza de aliso, para después acondicionar y teñir las fibras de alpaca con el baño de tintura, en el que se utilizaron 500 ml de solución de tintura y 5gr de filamentos de alpaca baby, en el proceso de mordentado se utilizaron 2 y 4 gr de alumbre y bicarbonato de sodio. Donde existe un efecto significativo ($p < 0.05$), tipo (A), cantidad de mordiente (B) e interacción de tipo y cantidad de mordiente (A*B) en los parámetros. Color: coordenadas (A*B), también hubo efecto significativo ($p < 0.05$) para el tipo de mordiente. Los resultados mostraron que en el tratamiento T1 de alumbre, tiempo de 45 minutos y una temperatura de 85 °C, se puede asegurar que la fibra de alpaca teñida tiene muy buena resistencia al lavado obteniendo una valoración 4 (no destiñe), logrando una buena adherencia del colorante en la fibra.
- b) NINA (2018), en su estudio de investigación, *Obtención y caracterización del colorante natural de la inflorescencia de Colli (Buddleja coriacea) en el teñido de la fibra de alpaca*, el cual tuvo como objetivo extraer el colorante de la planta Colli del departamento de Puno a través de solventes orgánico y su posterior aplicación para el teñido de la fibra, se realizó la determinación de los factores como son temperatura, tiempo y pH para la extracción y teñido respectivamente. Se acondiciono la fibra de alpaca en madejas para realizar el teñido por agotamiento. Donde se encontró que el parámetro óptimo de teñido es a una temperatura de 84°C (ebullición), un pH de 4.5 y un tiempo de teñido de 60 minutos, ya que a estos parámetros presenta buena adherencia del color, así como una buena resistencia a luz artificial y lavado de la fibra que ha sido teñido.



- c) LOZANO *et al.*, (2024), en su estudio, *Efecto de mordientes sobre la variación de diámetro y tono de color en hilos de fibra de alpaca teñidos con flores de colli (Buddleja coriacea)*, el cual tiene como objetivo evaluar el efecto de mordientes en la variación de diámetro medio de fibra (DMF), finura al hilado (FH) y el tono de color en hilos de fibra de alpaca teñidos con flores de colli (*Buddleja coriacea*), el cual tuvo la metodología de extraer el colorante usando agua potable a temperatura de ebullición, seguido del teñido mediante la inmersión del hilo en 160 ml de extracto y finalizando se hizo un post-mordentado con mordientes (collpa, alumbre y sal de limón). Obteniendo resultados de que los hilos teñidos con colli seguido de un post-mordentado incrementan significativamente el diámetro observando el mayor cambio el tratamiento teñido con flores de colli más un post-mordentado con sal limón ($30.09\mu\text{m}$). La aplicación de los mordientes en el post-mordentado produjo diferentes tonos y matices de color amarillo en el hilo de fibra de alpaca con variaciones significativas en los parámetros de colorimetría y la intensidad del espectro FT-IR. El espectro de reflectancia R (%) mostro una curva típica del color amarillo. En conclusión, el DMF en hilo teñido con colli incremento en $0.44\mu\text{m}$; mordentado con collpa en $2.78\mu\text{m}$; alumbre en $3.31\mu\text{m}$ y sal de limón en $3.51\mu\text{m}$ comparado con el hilo blanco.
- d) SUCASACA (2022), en su estudio de investigación sobre los “*Efectos del colorante natural inflorescencia de colli (Buddleja coriacea) en la solidez de color del teñido de fibras de alpaca, Puno*” el cual uso una metodología de enfoque cuantitativo, de nivel explicativo y diseño experimental, donde trabajo con 8 tratamientos y 2 repeticiones en total 16 tratamientos, para obtener los diferentes resultados se trabajó modificando los factores de concentración de mordiente, tiempo y temperatura en el proceso de teñido. Según los resultados obtenidos, tuvo resultado de la obtención de una amplia gama de tonalidades amarillas con buena solidez de color con parámetros recomendables de 3.5 g/L de mordiente crémor tártaro, tiempo de teñido 75 minutos a temperatura de ebullición, que brinda un color agradable y con buena solidez de color.
- e) OCHOA y ULLAURI (2020), en su estudio de investigación titulado “*Revalorización de métodos ancestrales de tinturado natural en las provincias de Loja y Azuay del sur de Ecuador*”, donde el objetivo principal fue revalorizar las técnicas ancestrales del tinturado natural, donde los factores más influyentes fueron temperatura, tiempo pH, tipo de mordiente y cantidad del colorante. Se realizaron 21 tratamientos basados en la metodología por los artesanos y 50 tratamientos con variación de factores más influyentes. Los tintes fueron aplicados en dos tipos de fibra, fibra de alpaca y lana de

oveja. Los cuales se obtuvieron resultados de 71 tonalidades que va desde el amarillo intenso pasando por los tonos rosa, carmesí, anaranjado hasta el marron oscuro. Se calificaron como tonos interesantes a los vegetales extraídos de *Brachyotum confertum*, *Junglas neotropica* y *Dactylopius coccus*.

Respecto a las pruebas de solidez de color demostraron que el tinturado con la mayoría de especies utilizadas presento resultados satisfactorios según la valoración de escala de grises para medir el cambio de color.

- f) ÁLVAREZ y ARROYO (2017), en su estudio de investigación sobre el *teñido de fibras naturales con colorantes naturales*. La estabilidad del color de la fibra es uno de los puntos importantes en la producción textil ya que es el último paso en el que se puede observar la calidad antes del producto final. Por tanto, la finalidad del trabajo fue realizar ensayos de solidez del color en fibras naturales teñidas con colorantes naturales. La metodología es aplicar un proceso de teñido de pre-mordentado, como estabilizador se utilizó el 30% sobre el peso de fibra de sulfato de aluminio y potasio o mejor conocido como alumbre, para teñir lana, calentada hasta alcanzar el punto de ebullición. Con un rango de 93 a 94 °C, después de la ebullición, la solución se mantuvo durante 30 minutos en una llama a temperatura constante con colorantes naturales grana cochinilla, puerro, cacao y girasol. Se realizan pruebas de solidez del color de las fibras, que son resistentes al lavado doméstico, al frote en seco ya la luz artificial. Y el color de las muestras medido antes y después de la prueba, utilizando un colorímetro CR-400 HEAD, con una escala CIEL*a*b*, no encontró una diferencia significativa entre las muestras de lana teñida para cada muestra. Se concluyó que las pruebas más influyentes en el color de los tejidos teñidos fueron las pruebas de lavado con agua, que causaron daños significativos a las muestras teñidas con vaina de cacao, y las pruebas de solidez que menos afecta el color son a la luz artificial y frote en seco.
- g) SOTO (2017), en su trabajo de investigación sobre la *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)*, propuso evaluar el efecto de la temperatura de ebullición en la intensidad de color y prueba de solidez a la luz, en el teñido de lana con el método directo utilizando agua destilada como fuente y como mordiente suero de leche. Se usó la corteza (floema) y el tallo (xilema) y una temperatura de ebullición por un tiempo de 40 y 60 minutos. Se encontró que existe efecto significativo ($p < 0.05$) de la parte del Ayrampo (A), la temperatura de ebullición (B) y la interacción de la parte del Ayrampo y la temperatura de ebullición (A*B) en los parámetros de color, salvo en este último



parámetro no existe efecto significativo ($p > 0.05$) a una temperatura de ebullición (B). Se halló que, el uso de la corteza (floema) del Ayrampo y una temperatura de ebullición por un tiempo de 60 minutos en el teñido de lana de ovino, ofrece un producto de óptima calidad y buena solidez a la luz.

- h) HOYOS (2016), en su estudio de la *Evaluación de frutos de Mio – Mio (Coriaria ruscifolia) a distintos mordientes y parámetros de teñido en fibra de alpaca (Lama pacos)*. La metodología consistió en la utilización de distintos mordientes y parámetros para el teñido de la fibra de alpaca y se realizó el control de calidad de la solidez a la luz solar, solidez al lavado y solidez al frote. La investigación llegó a las siguientes conclusiones, la fibra de alpaca teñida con frutos de mio – mio, mordentado con ácido sulfúrico a 0,02N, a 3,5 de pH y temperatura de 90°C presenta buena solidez a la luz solar y al lavado. Y la fibra de alpaca teñida con frutos de mio – mio, mordentado con alumbre, a pH 3,5 y temperatura de 90°C presenta alta solidez al frote en función a la escala de grises.
- i) QUISPE (2016), en su estudio del *Uso de extracto de Lantana camara en el teñido de lana y algodón*. Presenta una opción de uso de recursos renovables para el teñido de fibras de algodón y fibra acrílica. Se lleva a cabo el teñido con la oleorresina a diferentes concentraciones, tiempos y temperaturas y se utiliza los mordientes como sulfato de aluminio (alumbre) porque no cambia el color del tinte y no es tóxico, también bitartrato de potasio (crémor tártaro), los resultados de las pruebas de solidez al lavado, roce y luz solar, es que a menor temperatura (70 °C) y mayor tiempo en el caso de las pruebas previamente mordentadas y teñidas con oleorresina pura, los colores son de mejor calidad y mayor resistencia a las pruebas de solidez, en comparación con las pruebas que son teñidas directamente.
- j) MIRANDA (2022), en su estudio titulado *"Efecto del diámetro medular en el teñido de fibras de alpaca Huacaya"*, se investigó el porcentaje de medulación de la fibra de alpaca teñida con tinte de cochinilla. Se utilizaron 109 muestras de vellones de alpaca, principalmente de animales mayores de 2 años, provenientes de la provincia de Caylloma, en la región de Arequipa. El estudio determinó el diámetro de la fibra, con un valor de 10.15 micrómetros (DMF), y el diámetro medular, que fue de 27.53 micrómetros (DM), obteniendo un porcentaje de modulación de 42.56% (FC). Para ello, se emplearon técnicas como el analizador óptico de diámetro de fibras y microscopía óptica. También se controlaron factores como el tiempo de teñido, la temperatura, el pH, la relación de baño y la fijación del color. El análisis con colorímetro mostró que las fibras teñidas

presentaron una buena solidez y resistencia a la luz, lo que indica que la adherencia del color a la fibra de alpaca Huacaya es adecuada. Además, las fibras teñidas demostraron tener una buena resistencia al lavado, lo que las hace aceptables para su uso en productos textiles.

3.2 Marco teórico

3.2.1 La alpaca

La alpaca (*Vicugna pacos*) es un animal rumiante doméstico, que habita en zonas altoandinas (laderas cordilleranas, alta incidencia de heladas y precaria disponibilidad de agua), su habitat habitual es por encima de los 3000 m.s.n.m. La crianza de este animal es principalmente por su fibra de alta calidad, ya que es el principal medio de sustento de familias de escasos recursos. Se clasifican en dos fenotipos: Huacaya y Suri, la diferencia está en la fibra, la Huacaya, se caracteriza por tener un vellón compacto, esponjoso, con fibras finas, suaves y onduladas, en cambio el suri se caracteriza por tener fibras más finas que la Huacaya, agrupadas en mechales lacias y rizadas (QUISPE *et al.*, 2013). La taxonomía de la alpaca según (MINAGRI, 2019), se clasificada de la siguiente manera.

Reino: Animalia

Filo: Chordata

Subfilo: Vertebrata

Clase: Mammalia

Orden: Artiodactyla

Suborden: Tylopoda

Familia: Camélidos

Tribu: Lamini

Género: *Vicugna*

Especie: *Vicugna pacos**

3.2.1.1 Fibra de alpaca

La fibra de alpaca es un producto que se obtiene después de la esquila del animal, es una de las fibras naturales más increíbles ya que es considerada una de las mejores para la industria textil a nivel mundial por ser: suave, sedosa, brillante, duradera, cálida, resistente y lujosa de usar, se asemeja al

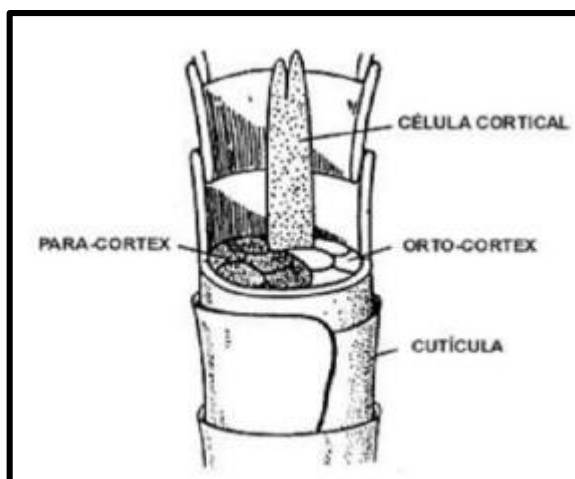


vellón del ovino Corriedale que tiene una apariencia voluminosa y presenta rizos pronunciados a lo largo su extensión de la fibra. Esa particularidad hace la fácil absorción de los tintes (BUSTINZA, 2001).

3.2.1.2 Estructura de la fibra de alpaca

La estructura de la fibra de alpaca está conformada por tres partes, cutícula, corteza y medula (RODRIGUEZ, 2003).

- **Cutícula:** Está formada por una capa externa de la fibra, compuesta por un conjunto de células planas que se disponen una sobre otra (WANG, 2005).
- **Corteza:** Es la parte que tiene mayor proporción en las fibras, especialmente cuando estas son muy gruesas (BUSTINZA, 2017).
- **Medula:** Es la parte central de la fibra, que se encuentra en su interior (WANG, 2005).



Fuente: HOLLEN, 2002

Figura 1— Estructura de la fibra de alpaca

3.2.1.3 Características químicas de la fibra

La composición principal de la fibra es la proteína llamada queratina que crece desde la raíz de la dermis, dentro de su composición están los elementos como: hidrogeno, carbono, nitrógeno y oxígeno que son los aminoácidos; también el azufre que forma parte de cistina y metionina.

El contenido de la cistina en la queratina es más alto que cualquier otra proteína, haciendo especial las características físicas y químicas de las fibras de camélidos (CARPIO, 1981). La composición de la queratina según (OBANDO, 2013).

Tabla 2 — Composición de la queratina

Componente	Porcentaje
Carbono	50%
Oxígeno	23%
Nitrógeno	17%
Hidrogeno	7%
Azufre	3%
FUENTE: OBANDO, 2013	

3.2.1.4 Características textiles de la fibra de alpaca

a) Diámetro medio de fibra (DMF)

El diámetro de la fibra es un factor importante en la clasificación, se expresa en micras (μm) es un parámetro que define la finura de la fibra (NTP, 2014). El diámetro medio de fibra es una característica técnica de mayor importancia para definir la calidad en la industria textiles (QUISPE, 2013).

Tabla 3 — Categorización de vellones

Categoría	Contenido de Calidades		Longitud mínima de mecha (mm)	Color	Grasa % max.
	Superiores %	Inferiores %			%
Extrafina	70 ó mas	30 o menos	65	Entero**	35
Fina	55 a 69	45 a 31	70	Entero*	25
Semifina	40 a 54	60 a 46	70	Entero** - Canoso	10
Gruesa	Menos de 40	Mas de 60	70	Entero** - Canoso - Pintado	---
FUENTE: Tomado de NTP (231.300:2019)					

b) Coeficiente de variación de diámetro medio de fibra (CVDMF)

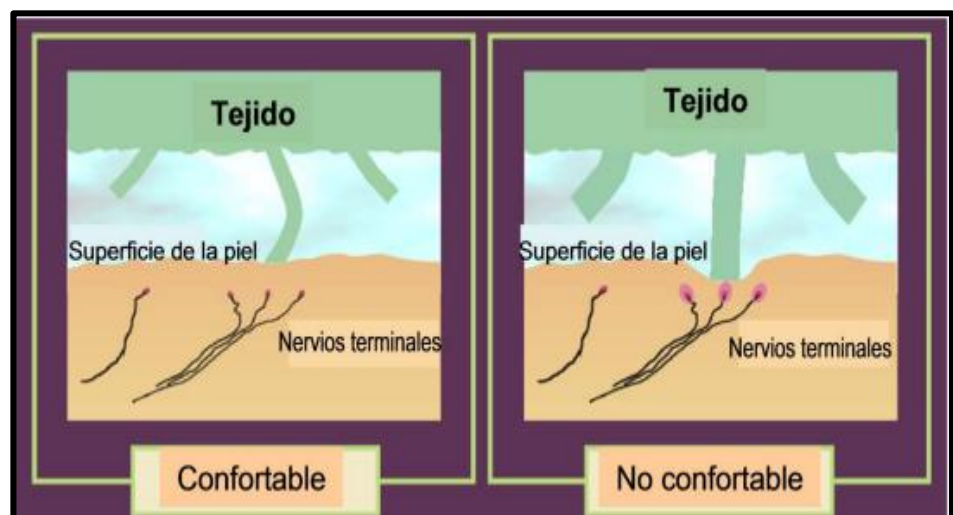
El coeficiente de variación del diámetro de la fibra (CVDMF) es una medida de heterogeneidad del diámetro de las fibras dentro de un vellón y se expresa como el cociente entre la desviación estándar y el promedio



multiplicado por 100, por lo tanto, su magnitud está expresada en porcentaje. Un vellón con un CVDMF más bajo, tiene mayor uniformidad de diámetro de fibras individuales dentro de la mecha y el hilo que se produce con ella es más uniforme y resistente (QUISPE, 2013).

c) Factor de confort < 30 μm (FC)

El factor de confort se define como el porcentaje de las fibras menores a 30 micras (μm) también se le conoce como el factor de comodidad. La industria textil en prendas prefiere vellones con un FC igual o menores a 30 micras, ya que estos valores son los que valoran los intercambios de sensaciones en el cuerpo humano (QUISPE, 2013).

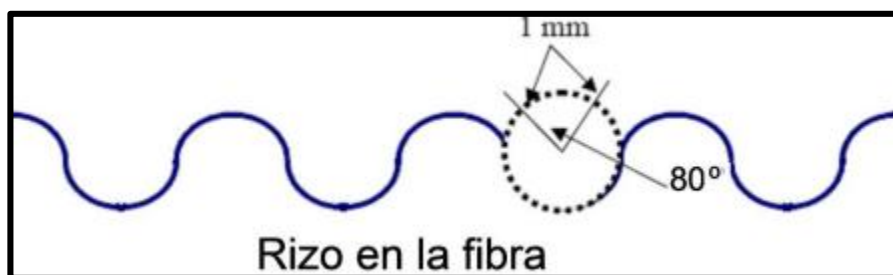


FUENTE: QUISPE, 2013

Figura 2 — Interacción entre el tejido , los terminales de la fibra o lana y la piel, que muestra la importancia del factor de confort (FC).

d) Índice de curvatura (IC)

El índice de curvatura es una característica textil que ayuda a describir la propiedad especial de una masa de fibras ya sean de lana o alpaca, esta propiedad es muy importante los fabricantes de alfombras y prendas de vestir, el IC es una característica deseable con respecto al tacto. El IC en alpacas en el Perú ha sido estudiado por QUISPE et al., (2013), donde encontraron Índice de curvatura menores en la alpaca suri, mientras en lana de ovino mayor IC que la fibra de alpaca, pero menor en la vicuña (QUISPE et al.,2010).



FUENTE: QUISPE, 2013

Figura 3 — Representación bidimensional de la forma de la una fibra.

e) Finura al hilado (FH)

La finura al hilado es expresada en μm , da una estimación de rendimiento de la fibra hilada o convertida en hilo (QUISPE *et al.*, 2013).

3.2.2 Colorante

Los colorantes son sustancias de origen químico o biológico que son solubles a ciertos medios, estos son utilizados con la finalidad de darle color a materiales de fibra de alpaca, lana, poliéster, acrílico, seda o algodón maso menos permanente. Los colorantes en su mayoría son solubles en el medio en que se aplican (SOTO, 2017). Para el caso de la fibra de alpaca los colorantes más utilizados son los colorantes ácidos, metálicos y naturales (SUCASACA, 2022).

3.2.2.1 Estructura de la fibra de alpaca

Son sustancias de origen natural que al ser extraídas otorgan un color a un material, antiguamente se les llamaba especies tintóreas que eran utilizadas para el teñido de fibras de origen animal, estas tenían la capacidad de poder adherirse fuertemente a estas fibras proteicas (CAMPOS y QUINTANILLA, 2017).

Los colorantes desde antes han tenido una gran importancia dentro de la gastronomía, por su baja toxicidad y propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antivirales y antimicrobianas los cuales seguirán siendo apreciadas al pasar los años (LOCK, 1997).

3.2.2.2 Clasificación de los colorantes naturales

Se clasifican según su naturaleza química en diversos grupos tal como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4 — Clasificación de los colorantes según su naturaleza química.

Naturaleza química	Algunos ejemplos	Color predominante
--------------------	------------------	--------------------



Tetrapirroles (lineales y cíclicos)	Ficobilinas Clorofila	Azul-verde Verde
Carotenoides (tetraterpenoides)	Carotenoides	Amarillo-anaranjado
Flavonoides	Flavonas Flavonoles Chalconas Auronas Antocianinas	Blanco-crema Amarillo-blanco Amarillo Amarillo Rojo-azul
Xantonas	Xantonas	Amarillo
Quinonas	Naftoquinonas Antraquinonas	Rojo-azul-verde Rojo-purpura
Derivados indigoides e índoles	Índigo Betalainas	Azul-rosado Amarillo-rojo
FUENTE: Tomado de LOCK, 1997.		

3.2.2.3 Colorantes vegetales

Actualmente, hay una gran preferencia por lo natural, lo que ha llevado al uso de diversas plantas para realizar teñidos. Estos colorantes provienen de las partes fisiológicas de las plantas, como raíces, corteza, hojas, frutos, flores y madera. Los pigmentos naturales se extraen de fuentes naturales, y se les añaden diferentes sustancias para modificar su tonalidad original (mordientes). Este cambio de color ocurre debido a la alteración en los enlaces de los iones de metales pesados como hierro, cobre, alumbre y aluminio, los cuales producen diversas coloraciones (OBANDO, 2013).

3.2.3 Qolle (*Buddleja coriacea*)

El qolle es un árbol de los Andes, crece en suelos pedregosos secos y semihumedos cerca a los 3000 – 4350 m.s.n.m aproximadamente, a temperaturas de 3 a 15°C con vientos persistentes heladas y sequias extremas, su altura oscila por los 5 metros de alto posee flores pequeñas hermafroditas de color amarillo-anaranjado, agrupados en racimos de entre 15 a 40 flores, los pétalos tienen una forma de tubo corto con la presencia de 4 estambres y un pistilo el fruto son capsulas ovoides de color blanquecino amarillentas con una superficie pulverulenta farinosa.



Figura 4 — Flor de qolle (*Buddleja coriacea*)

3.2.3.1 Aspectos botánicos

La siguiente clasificación taxonómica de la planta fue tomada de (NINA, 2020).

Nombre científico: *Buddleja coriacea*

Nombre común: Colli, Colle, Quinchihuayta, Qolle, Kishuara, Quishuar, Kishuar, asafran.

Reino: Plantae

División: Tracheophyta

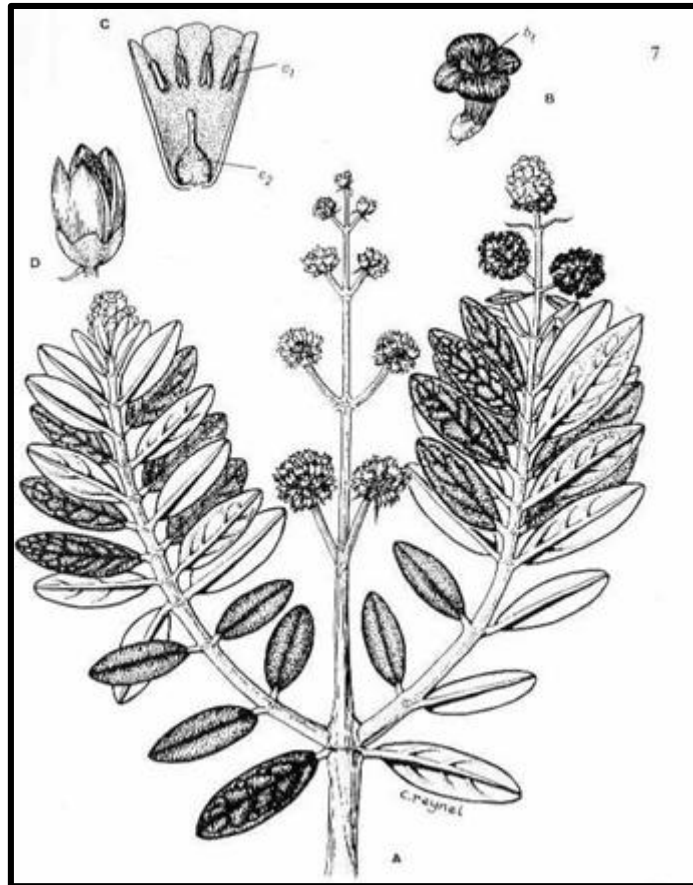
Clase: Magnoliopsida

Orden: Lamiales

Familia: Buddlejaceae

Género: Buddleja

Especie: *B. coriacea*



FUENTE: Tomado de NINA,2020

Figura 5 — Morfología del qolle

3.2.4 Teñido

El teñido de fibras textiles es un proceso en el que se agrega un colorante soluble, ya sea sintético o natural, a la fibra bajo ciertas condiciones (ARIAS, 2012). Para que el teñido sea efectivo, es necesario controlar parámetros como la temperatura, el tiempo, el pH y la concentración de mordiente. Una vez realizado el teñido, se llevan a cabo pruebas para evaluar la resistencia del color, conocidas como pruebas de solidez, que incluyen el lavado, la exposición a la luz y el frote (OJEDA, 2012).

3.2.4.1 Aplicación en el teñido

- **Método directo:** Consiste en sumergir en agua la fibra y el colorante, este método es el más utilizado ya que no necesita e productos adicionales para que el color se fije (CEDANO *et al.*, 2001).
- **Pre mordentado:** Se realiza antes de teñir las fibras textiles, se aplica un mordiente a la fibra para ayudar a fijar el colorante y sea más duradera. Esta técnica es la más utilizada generalmente en las artesanías (CEDANO *et al.*, 2001).
- **Post-mordentado:** Se realiza después de teñir la fibra. Consiste en aplicar un mordiente al material textil ya teñido para mejorar la fijación del color o

variar las tonalidades de color, este proceso puede ayudar a mejorar la resistencia al lavado y exposición a la luz el post-mordentado es utilizado generalmente para la variación de tonalidades de color (CEDANO *et al.*, 2001).

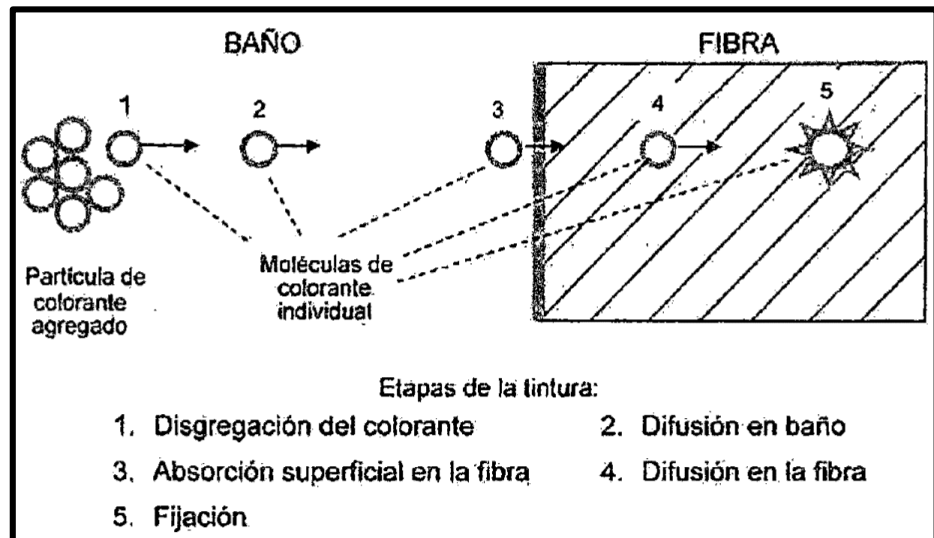
3.2.4.2 Etapas del proceso de teñido

Durante el teñido las moléculas de colorante pasan por diferentes fases antes de quedar enlazadas químicamente en la fibra (OJEDA,2012).

- **Disgregación.** El colorante y los productos adicionales están disueltos en agua, formando grupos de moléculas. Estos grupos están en equilibrio, lo que depende de las sustancias que estén presentes. Si este equilibrio se rompe, los grupos de moléculas se separan (disgrega) (OJEDA, 2012).
- **Difusión/ Convección.** Este proceso ocurre cuando las moléculas del colorante se mueven desde el baño de tinte hacia las áreas cercanas a la superficie de la fibra, debido a la diferencia de concentración. También se produce por la circulación del baño, que se mueve más rápido que el material textil, lo que ayuda a que el colorante llegue a la fibra (OJEDA, 2012).
- **Absorción.** Una vez que el colorante se encuentra en la superficie de la fibra. La molécula del colorante es adsorbida desde la superficie de la fibra hacia el interior de la misma mediante interacciones cuya intensidad depende de las relaciones de afinidad entre ambas estructuras (OJEDA, 2012).
- **Difusión.** Cuando las moléculas del colorante se encuentran en la superficie de la fibra textil comienza a dispersarse hacia el interior de la estructura macromolecular constituida por la fibra. Esta difusión sólida – líquido va a influir en la difusión y de cómo es la estructura interior de la fibra (OJEDA, 2012).
- **Fijación.** Para concluir en esta etapa se da la unión de los enlaces colorante – fibra y viceversa estableciendo la fijación. Para realizar el proceso de teñido se requiere ciertas condiciones para que el colorante se impregne a totalidad sin dañar su estructura interna (CARVALLO, 2001) para ello se distingue dos principios de teñido primero por afinidad entre el colorante y la fibra, lo que hace que el colorante pase del baño de teñido a la fibra, hasta saturarla y quedar fijada en ella. Y el segundo es por impregnación de la fibra, el material textil absorbe el colorante del baño de teñido, en este



momento no queda fijada todavía en él, en el proceso de fijado, cuando el teñido es definitivo. El proceso de teñido se muestra en la Figura 6.



FUENTE: CARVALLO, 2001

Figura 6 — Esquema del proceso de teñido

3.2.5 Mordiente

El mordiente es una sustancia empleada en el área textil para teñidos, sirve principalmente para fijar los colores en productos textiles. Se comporta generalmente como un puente entre la fibra textil y el colorante, favorece con la fijación del colorante en la fibra, también tiene la función de modificar la estructura molecular de las fibras de modo que las moléculas de tinte puedan incorporarse a ellas formando nuevos enlaces con carácter irreversible. El mordiente básicamente hace tres cosas (ETVHAREN, 1986):

- Ayuda a que los tintes se fijen en la fibra.
- Afecta el color producido por los tintes, en otras palabras, lo intensifican o lo hace más tenue.
- Actúa para mantener los colores estables en presencia de la luz.

3.2.6 Evaluación de la solidez

La solidez se refiere a que tan estable es un colorante cuando se aplica a una fibra textil. La evaluación de la solidez mide cómo se comporta el color en el material expuesto ya sea a la luz o diferentes factores externos. Para poder evaluar la solidez se usa la escala de grises, comparando antes y después de la prueba.



Por otro lado, es necesario saber cómo afecta la tintura a materiales blancos por si una prenda teñida va tener contacto con ellos durante su procesamiento o uso (TEXTEX, 2010).

a) Solidez al lavado

Al realizar la prueba de solidez al lavado se verifica si el tejido pierde el color al contacto con el agua, es decir, mide la decoloración de la fibra textil teñida, al sumergir la tela en agua. Por lo general, se efectúa con un lavado suave para fibras y lanas especiales o prendas delicadas, para camisas de algodón es enérgico y prendas de trabajo es mucho más enérgico (OBANDO, 2013).

b) Solidez al frote

Consiste en frotar un textil teñido con una muestra sin teñir o blanco.

Verifica si el colorante transfiere o no color sobre la muestra de color blanco, si la muestra teñida no transfiere color a la muestra de color blanco se obtiene una excelente solidez (TEXTEX, 2010).

3.2.6.1 Escala de grises

La escala de grises sirve para evaluar la solidez del color en los elementos textiles sometidos a prueba, La escala de grises cuenta con valores del 1-5 e incrementa por medio valor (1, 1 1/2, 2, 2 1/2 y así consecutivamente) siendo más alto el valor 5.

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

El instrumento sirve para evaluar el color y los cambios que se da en el textil teñido (fibra, tela y lana), luego de someterlos a pruebas de luz solar y lavado. Cada grado consta de dos zonas definidas, la primera es la parte superior representa la pérdida del color luego del proceso y el segundo es la parte inferior quien representa el color original (TEXTEX, 2010).

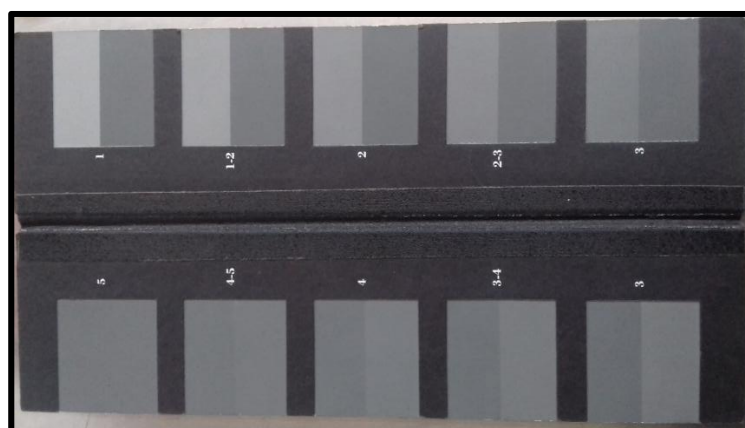


Figura 7 — Escala de grises para evaluar el cambio de color

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

La escala de grises sirve para evaluar la transferencia y/o manchado del color de los materiales teñidos sobre un testigo blanco, luego de someterlos a un proceso de frote. Cada grado consta de dos zonas definidas, la parte superior representa la transferencia del color hacia el testigo blanco luego del frote y la parte inferior representa el testigo blanco sin tratamiento alguno (TEXTEX, 2010).

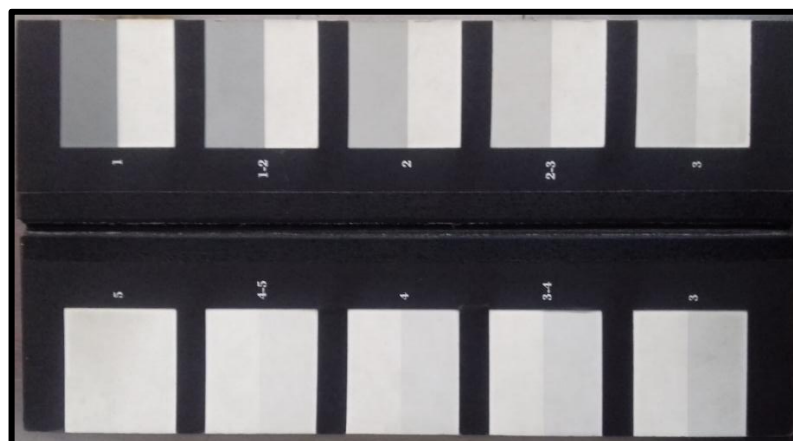


Figura 8 — Escala de grises para evaluar la transferencia de color

La escala se compone de 9 pares de fichas color gris y cada una tiene una diferencia y un contraste visual. La solidez se califica de la siguiente manera, del 5 al 1:

- Grado 5 = no hay cambios apreciados a simple vista (es la mejor calificación).
- Grado 1= cambios drásticos apreciados a simple vista (es la peor calificación) La escala numérica tiene 9 posibilidades: 5; 4-5; 4; 3-4; 3; 2-3; 2, 1-2; 1.

Tabla 5 — Valoración de la solidez en las fibras.

Valoración de solidez	Denominación	Teñido
5	Excelente	No se destiñe
4, 4 – 5	Muy bueno	Destiñe un poco
3, 3 – 4	Bueno	Destiñe sensiblemente
2, 2 – 3	Regular	Destiñe fuertemente
1, 1-2	Malo	Destiñe muy fuertemente
FUENTE: TEXTEX, 2010		

3.2.7 Colorimetría

La colorimetría es la ciencia que estudia el color. Se enfoca en como percibimos los colores y como se pueden describir de manera objetiva mediante números, también se utiliza para determinar las diferentes pigmentaciones y las tonalidades en las fibras teñidas (DRUML et al., 2018). El color es el resultado de evaluación a luz radiante en términos de una correlación visual y esta a su vez se aprecia mediante el sentido físico de la vista (CIE, 2004). Las diferentes mediciones de color se realizan de tres formas a) formas visuales (con el ojo humano), b) instrumentales con un colorímetro y c) utilizando la visión digital (WU Y SUN, 2013).

3.2.7.1 Escalas y formas de medir el color

La Comisión Internacional de la Iluminación (CIE) ha desarrollado los sistemas de color más importantes y utilizados en la actualidad, basándose en el empleo de fuentes de luz y observadores estándar para describir y medir el color de forma precisa y objetiva (MATHIAS-RETTING y AH-HEN, 2014). Los sistemas de CIE usan tres coordenadas para ubicar un color en el espacio de color. La coordenada L^* representa la luminosidad o claridad, con valores que van de 0 a 100 (MATHIAS-RETTING y AH-HEN, 2014). La coordenada a^* refleja la desviación desde el punto neutro (acromático) hacia tonos rojizos cuando es positiva, o hacia tonos verdes cuando es negativa. De manera similar, la coordenada b^* indica la desviación hacia tonos amarillos si es positiva, o hacia tonos azules si es negativa (MATHIAS-RETTING y AH-HEN, 2014).

Asimismo, se muestra las ecuaciones de cómo se calcula C^* (croma) y h° (tono).

$$C^*=[(a^*)^2+(b^*)^2]^{0,5}$$

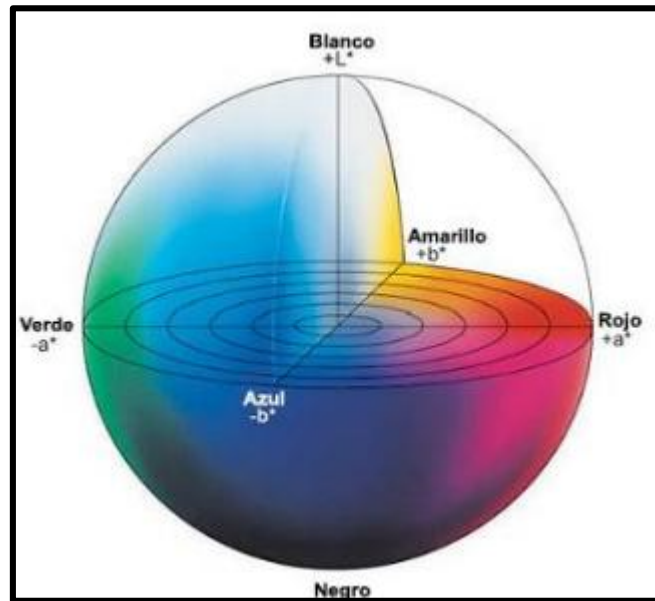
$$h^\circ=[\text{arctg}(b^*/a^*)]$$

El croma, C^* , tiene un valor de 0 para colores acromáticos y generalmente no excede 150, aunque puede superar los 1000 en el caso de colores monocromáticos. El tono, h° , varía entre 0 y 360 grados, (0°) rojo, (90°) amarillo, (180°) verde y (270°) azul, pero no se define para colores acromáticos (cuando $a^* = b^* = 0$). Tanto C^* como h° describen la cromaticidad del color de un estímulo y, junto con L^* , definen las



coordenadas cilíndricas del espacio de color CIE Lab, que son semejantes a las coordenadas del sistema Munsell (MATHIAS-RETTING y AH-HEN, 2014).

Los colorímetros son dispositivos que imitan la percepción del ojo humano, donde utilizan tres filtros para cada longitud de onda: rojo, verde y azul, de esta manera se simula la respuesta humana al color y la luz (MATHIAS-RETTING y AH-HEN, 2014).



FUENTE: MATHIAS-RETTING y AH-HEN, 2014

Figura 9 — Coordenada tridimensional de la escala de CIEL *a*b*

3.2.8 Diseño de experimentos

GUTIERREZ Y DE LA VARA (2012), definen el diseño de experimentos como la aplicación del método científico para generar conocimiento acerca de un sistema o proceso, por medio de pruebas planeadas adecuadamente. ". Esta metodología ha evolucionado hacia un conjunto integral de herramientas estadísticas y de ingeniería, diseñadas para desentrañar y optimizar situaciones complejas, identificando y analizando las relaciones de causa y efecto (GUTIERREZ Y DE LA VARA, 2012).

Experimento

El experimento consiste en realizar un cambio controlado en las condiciones de este cambio en las propiedades el producto o resultado. De esta manera, se puede obtener una comprensión más detallada del sistema y de sus comportamientos (GUTIERREZ Y DE LA VARA, 2012).

Unidad experimental

La unidad experimental es la muestra o elemento específico seleccionado para obtener un valor representativo del resultado de un experimento o prueba. Su definición precisa



es fundamental en cada estudio experimental, ya que puede consistir en una sola pieza, una muestra de material o un conjunto de elementos producidos, según el proceso analizado (GUTIERREZ Y DE LA VARA, 2012).

- **Variables de respuesta**

Las variables de respuesta son fundamentales para analizar el efecto de cada prueba experimental, ya que brindan datos clave sobre la calidad de un producto o el rendimiento de un proceso. En muchos estudios experimentales, el objetivo principal es encontrar formas de optimizar estas variables y alcanzar mejoras importantes (GUTIERREZ Y DE LA VARA, 2012).

- **Factores estudiados**

Las variables que se analizan en un experimento están relacionadas con su influencia o efecto sobre las variables de respuesta. Los factores evaluados pueden clasificarse como controlables o no controlables; en algunos casos, estos últimos pueden ser controlados temporalmente durante el experimento si es posible y relevante. Para que un factor sea objeto de estudio, es indispensable que se haya probado, al menos, en dos niveles o condiciones distintas durante el experimento (GUTIERREZ Y DE LA VARA, 2012).

- **Niveles y tratamiento**

En un diseño experimental, los distintos valores asignados a cada factor se conocen como niveles. Cuando se combinan los niveles de todos los factores analizados, se forma lo que se denomina un tratamiento (GUTIERREZ Y DE LA VARA, 2012).

- **Error**

En cualquier estudio experimental, parte de la variabilidad observada en la respuesta no puede explicarse mediante los factores analizados. Esta variabilidad residual, conocida como error aleatorio, se debe a causas comunes o aleatorias que forman parte de la variabilidad natural del proceso. Además, el error aleatorio incluye los errores cometidos por el experimentador durante la realización del experimento. Si estos errores son significativos, dejan de considerarse aleatorios y pasan a ser errores experimentales (GUTIERREZ Y DE LA VARA, 2012).

A. Diseño Completamente al Azar (DCA)

Es uno de los diseños más simples y ampliamente utilizados cuando las unidades son homogéneas y no existen factores externos que puedan influir los resultados (GUTIERREZ Y DE LA VARA, 2012).

Características principales

- **Un solo factor:** Este diseño se utiliza para estudiar el efecto de un solo factor con varios niveles.



- **Simplicidad:** Es fácil de planificar y aplicar cuando no existen restricciones o factores adicionales a considerar.

Modelo estadístico

Es un diseño completamente al azar de un solo factor el comportamiento de Y puede describirse mediante el modelo siguiente.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

- Y_{ij} : Es la respuesta observada para la unidad experimental j dentro del tratamiento i.
- μ : Es el valor promedio general (media general de todas las observaciones).
- τ_i : Es el efecto del tratamiento i (la desviación del tratamiento respecto a la media general)
- ϵ_{ij} : Error

En la Tabla 6 se muestra el ANOVA para el diseño completamente al azar de un solo factor. Al efecto cuyo valor-p sea menor que el valor especificado para alfa, se declara estadísticamente significativo.

Tabla 6 — ANOVA para el diseño completamente al azar de un factor

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F ₀	Valor-p
Efecto A	SC _A	a-1	CM _A	CM _A /CM _E	P(F > F ₀ ^A)
Error	SC _E	A(n-1)	CM _E		
Total	SC _T	An-1			

FUENTE: GUTIERREZ Y DE LA VARA, 2012

3.3 Marco conceptual

- Vellón:** Es la fibra recién esquilada (cortada) de una alpaca antes de ser procesada
- Esquila:** Es una forma de cosechar la fibra cuando esta alcanza el diámetro deseado.
- Fibra:** Es una hebra elemental, de longitud definida, de origen químico o natural, esta a su vez se puede convertir en hilo.
- Qolle:** Es una flor de color anaranjado, se encuentran en las zonas altas.
- Colorante:** Es un compuesto orgánico que al aplicarle a un sustrato le otorga un color.



- f) **Teñido:** Es un proceso químico en donde se aplica colorantes sobre textiles estas pueden ser de origen animal, vegetal y sintético, se hace con la finalidad la fibra tenga un color diferente a su original.
- g) **Mordiente:** Sustancia que se aplica a una fibra textil animal, vegetal o sintética para facilitar la formación de enlaces con los colorantes, tiene la finalidad que el colorante se adhiera en la fibra.
- h) **Alumbre:** Es un mineral de color blanco que se encuentra en zonas rocosas.
- i) **Collpa:** es una arcilla que contiene minerales (Na, K, Ca, Mg).
- j) **Sal de limón:** Es una sustancia química de color blanquecino con partículas pequeñas.
- k) **Solidez:** Es la resistencia del color en las fibras textiles teñidas, estas sometidas a diversas pruebas o condiciones que son capaces de modificar su color original, por ejemplo, al agua, luz solar, al frotamiento, lavado, etc.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

4.1.1 Tipo de investigación:

El presente trabajo de investigación, se enmarca dentro del tipo de investigación aplicada, ya que, según HERNANDES-SAMPIERI y MENDOZA (2018), el enfoque se centra en encontrar soluciones a problemas específicos del contexto estudiado a través de los resultados obtenidos.

4.1.2 Nivel de investigación:

Según (HERNANDES S. et al., 2014), el nivel de investigación busca identificar las causas que explican los resultados observados. En este contexto, la tesis pretende explicar cómo y por qué las propiedades colorimétricas, características textiles se verán influidas con los hilos teñidos con flores de qolle con diferentes mordientes.

Para la evaluación de solidez de color será de nivel descriptivo.

4.2 Diseño de la investigación

Para esta investigación, se optó por un Diseño experimental, para investigar como los factores de mordientes influirán en las propiedades colorimétricas, características textiles, para la solidez de color tendrá un nivel descriptivo. Dentro de este diseño se realiza la manipulación intencional de una acción para analizar sus posibles resultados (SAMPIERI et al., 2014).

Tabla 7 — Diseño estadístico de la investigación para la evaluación de propiedades colorimétricas.

Tratamiento	Mordiente	Repetición	Propiedades colorimétricas				
			L*	a*	b*	C*	h°
T1	AL	R1					
	AL	R2					
	AL	R3					
T2	CO	R1					
	CO	R2					

	CO	R3					
T3	SL	R1					
	SL	R2					
	SL	R3					
NOTA: Luminosidad (L*), coordenada (a* y b*), croma c* y el ángulo de matiz (h°), AL (alumbre), CO (collpa) y SL(sal de limón).							

Tabla 8 — Diseño estadístico para la evaluación de Características textiles

Tratamiento	Mordiente	Repetición	Características textiles				
			DMF µm	CV- DMF µm	FC %	IC µm	FH µm
T1	AL	R1					
	AL	R2					
	AL	R3					
T2	CO	R1					
	CO	R2					
	CO	R3					
T3	SL	R1					
	SL	R2					
	SL	R3					
NOTA: Diámetro medio de fibra (DMF); Coeficiente de variación de diámetro medio de fibra (CV-DMF); Factor de confort (FC); Índice de curvatura (IC); Finura al hilado (FH) , AL (alumbre), CO (collpa) y SL(sal de limón).							

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población

El lugar de estudio se desarrolló en la comunidad de San Juan de Vilcarana del Distrito de Oropesa, Provincia de Antabamba, departamento de Apurímac, ubicada sobre los 4500 m.s.n.m. Se seleccionó un rebaño de alpaca Huacaya color blanco de 200 alpacas, para efectuar la muestra se seleccionó una alpaca al cual se esquiló y se obtuvo el vellón.



La evaluación experimental se realizó en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.

4.3.2 Muestra

La muestra de la fibra fue por conveniencia, es de tipo no probabilístico, por que define a criterio del investigador. Se tomó un vellón de 6Kg, del cual se tomó 1.5Kg de la parte del costillar medio. Para cada ensayo de la presente investigación se tomó como muestra 25g de fibra de alpaca.

4.4 Procedimiento

El procedimiento se desarrolló según (NINA, 2018); (SUCASACA y GUEVARA, 2021) y (LOZANO et al., 2024) con algunas modificatorias, tal como se muestra en la Figura 10.

4.1.1 Recolección y secado de las flores de qolle (*Buddleja coriácea*)

La recolección de las flores de qolle (*Buddleja coriácea*) en estado de floración (color naranja oscuro) fueron en el mes de junio y Julio del año 2023 en los bosques de la provincia de Abancay (ramal del desvió asía Huanipaca) y Andahuaylas (distrito de Kishuara) de la región Apurímac, Perú en las altitudes de aproximadamente de 4000-4200 m.s.n.m., obteniendo un total de 4 kilos, se recolecto esta cantidad por el proceso de eliminar restos de tallos hojas, espinas etc.

Para el proceso de secado se utilizó una estufa de aire forzado a una Temperatura constante de 60°C por un tiempo de 12 horas esto se hizo con la finalidad de mejorar el rendimiento del colorante y aumentar la superficie de contacto agua y flor de qolle.

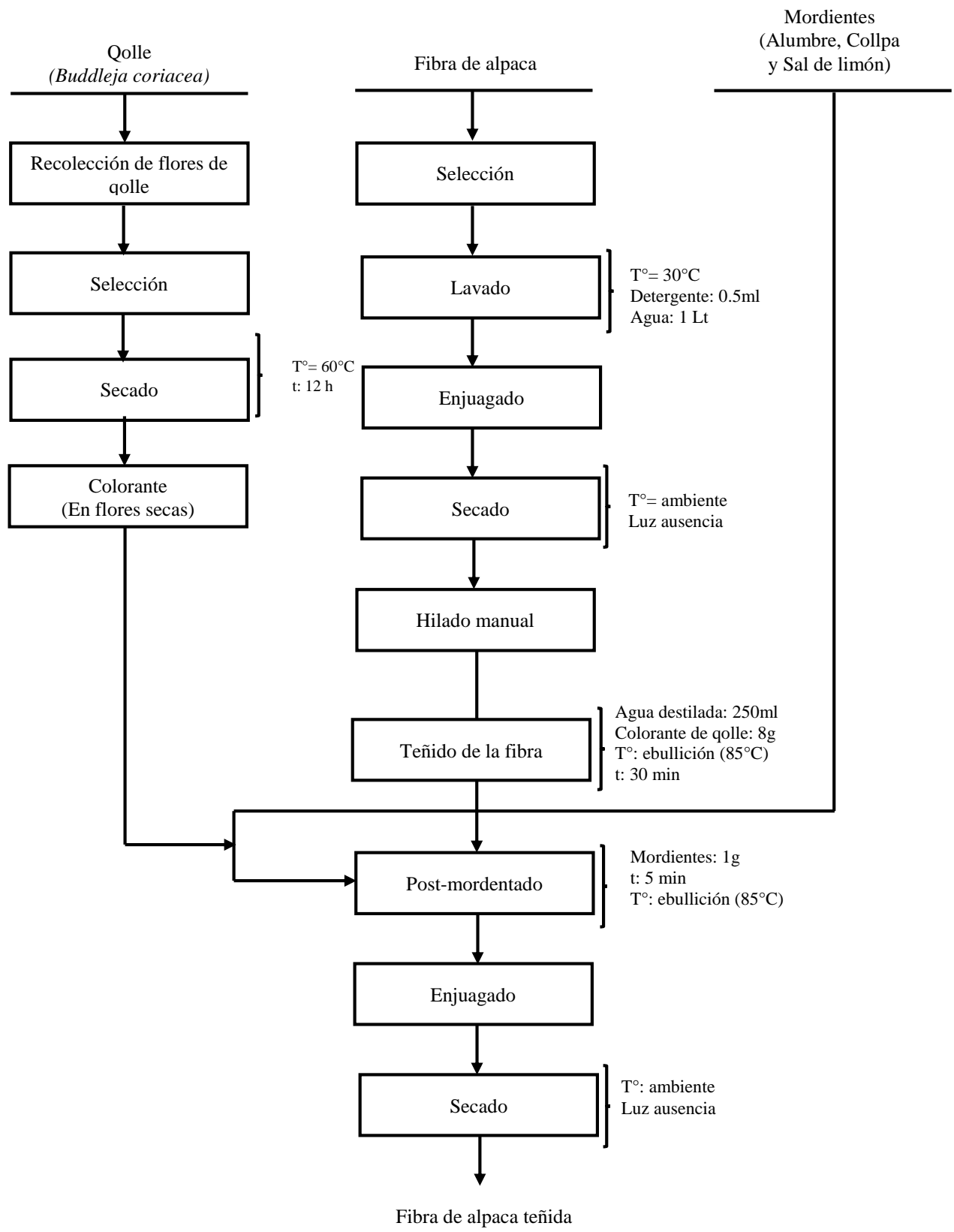
4.1.2 Proceso para el teñido de la fibra

- **Lavado de la fibra:** Antes del inicio del teñido, de los hilos de fibra de alpaca Huacaya, el vellón obtenido del costillar medio, de la alpaca fueron separadas de toda las impureza que poseía el vellón (piedras, tierra, espinas), para luego proceder al lavado con agua tibia a una temperatura de 30°C y detergente liquido vallerina con 0.5 mililitros por 1 litro de agua, después se procedió al enjuagado de la fibra , se pusieron a secar a una temperatura ambiente con ausencia de luz (Hurtado y Arroyo, 2016). Finalmente, se llevó al proceso de hilado manual que consiste en obtener el hilo con una rueca manual de tamaño uniforme.
- **Teñido de los hilos de fibra de alpaca:** Para el teñido con colorante qolle, se agregó agua destilada en unas ollas pequeñas de aluminio hasta cubrir la fibra a teñir, en todos los tratamientos se utilizó 250 ml de agua destilada y 8g de flor de qolle, el cual se amarro en una gasa blanca en forma de un filtrante donde se sumergió en el agua seguido a esto se hecho 5 g de fibra y se mantuvo en este baño



con parámetros constantes de temperatura de ebullición (85°C) y tiempo de 30 minutos, se realizó las 3 repeticiones de cada tratamiento (LOZANO et al., 2024).

- **Post-mordentado:** El post-mordentado se llevó a acabo incorporando mordiente a cada tratamiento: 1g de alumbre, 1 g de collpa y 1g de sal de limón, en cada uno de los tratamientos se calentó hasta que alcanzo una temperatura de ebullición por un tiempo de 5 minutos. Finalmente, los hilos se movieron constantemente de arriba abajo, después de esto se procedió hacer el enjuague y secado a temperatura ambiente y ausencia de luz.



FUENTE: Tomado de NINA (2018), (SUCASACA y GUEVARA, 2021) y (LOZANO et al., 2024)

Figura 10 — Diagrama de flujo del teñido de la fibra de alpaca con colorante qolle



4.5 Técnica e instrumentos

4.5.1 Determinación de parámetros de colorimetría

Para la determinación de parámetros colorimétricos se toma la referencia descrito por (CAPILLA et al., 2002), para evaluar los cambios de color y matiz de los 3 tratamientos de fibras teñidas con colorante qolle con diferentes mordientes, se utilizó el sistema de coordenada de colores CIEL*a*b* luminosidad (L*), coordenada cromática a* y b*, saturación (C*) y ángulo de matiz (h°). Los valores de (L*), indica la luminosidad que varía de 0 (negro) hasta 100 (blanco); el valor (a*) indica la variación cromática entre verde (-) y rojo (+); y el valor (b*) indica la variación cromática entre azul (-) y amarillo (+).

Para determinar las propiedades colorimétricas se utilizó un espectrofotómetro ULS2048CL-RS-EVO (AVANTES acoplado a una esfera de integración con luz halógena (50nm) y un ángulo de observación de 10° e iluminantes D65. Previa calibración conforme a las indicaciones del fabricante, se confeccionaron tejidos de 2 cm² con los hilos teñidos y se colocaron sobre las porta-muestras para obtener las lecturas.

4.5.2 Características textiles

Para las evaluaciones de características textiles se utilizó un OFDA 2000, se enviaron las muestras al laboratorio de fibras textiles de la (Universidad Nacional de San Antonio Abada del Cusco). Los parámetros que se determinaron fueron el diámetro medio de fibra (DMF), factor de confort (FC) e índice de curvatura (IC), además se determinó la finura al hilado (FH) usando la ecuación descrita por (BUTLER y DOLLING, 1995).

$$FH=0.881*DMF*[1+5*(CV\%/100)^2]^{0.5}$$

Donde CV, es coeficiente de variación del diámetro medio de fibra.

4.5.3 Solidez de color de la fibra teñida

Las pruebas de solidez del color, tanto para lavado como para frote en seco y húmedo, se llevaron a cabo utilizando los equipos disponibles en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ingeniería. Estas pruebas se realizaron siguiendo las normas internacionales correspondientes: ISO C06: (2010) para lavado e ISO (2016) para frote. La evaluación se efectuó en una cabina de luces con iluminación D65, empleando la escala de grises para analizar tanto la transferencia de color como el cambio de color. Además, se verificaron los resultados mediante espectrofotometría, midiendo las muestras antes y después de los ensayos. Esto permitió determinar la



diferencia de color y asignar el valor correspondiente en la escala de grises utilizando el software Datacolor Tools.

- **Evaluación de la solidez al lavado**

Para el ensayo de solidez al lavado se realizaron 3 pruebas, fibras teñidas con colorante qolle a parámetros constantes y mordientes (alumbre, collpa y sal de limón), para ello cortaron los hilos y el testigo multifaria DW del tamaño 4x10 cm, para cada tratamiento, ambos fueron unidos por costura cada uno. Finalmente se realizó dos enjuagues en 100 ml de agua destilada.

- Para el ensayo de solidez al frote en húmedo y en seco se realizaron 3 pruebas, fibras teñidas con colorante qolle a parámetros constantes y mordientes (alumbre, collpa y sal de limón), para ello las fibras fueron unidas a una cartulina para frotar 10 veces, con el fotómetro a lo largo de los hilos.

4.5.4 Materiales e insumos

Materia prima

- Flores de qolle
- Fibra de alpaca huacaya

Materiales

- Vaso precipitado
- Tijeras
- Ollas de aluminio
- Gasa
- Cocina
- Bandeja de plástico
- Termómetro

Equipos

- Balanza analítica
- Balanza gramera
- Estufa de aire forzado
- Espectrofotómetro ULS2048CL-EVO (AVANTES)
- Cronometro

Insumos

- Collpa
- Alumbre
- Sal de limón
- Detergente liquido (vallerina)



4.6 Análisis estadístico (si corresponde)

Diseño completamente al azar teniendo en cuenta un solo factor estudio A (mordientes). El dato se llevó a cabo mediante la técnica de ANOVA para evaluar los parámetros de color (L^* , a^* , b^*) y las características textiles (DMF, FC, IC y FH), teniendo en cuenta los diferentes mordientes como factores de estudio.

Los resultados experimentales se expresaron como la media \pm desviación estándar de tres mediciones paralelas ($n=3$). Se consideraron significativos los valores $p < 0.05$ para la comparación de medias utilizando la prueba de Tukey (estadísticamente significativos: $p < 0,05$), a un nivel de confianza del 0.95% de error, utilizando un paquete estadístico Minitab22.

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

- Y_{ij} = Propiedades colorimétricas
- μ = Efecto del teñido en fibra de alpaca
- α_i = Efecto del i -ésimo nivel del único factor A (Tipo de mordiente)
- ϵ_{ij} = Error

Para la evaluación de solidez de color, se realizó de manera descriptiva.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Análisis de resultados

5.1.1 Análisis de colorimetría de la fibra de alpaca teñido con colorante de flor de qolle (*Buddleja coriacea*)

En la Tabla 9, se muestra los resultados de los 3 tratamientos con un solo factor (mordiente) con sus diferentes niveles, referente a las propiedades colorimétricas (L^* , a^* , b^* , C^* y h°), el promedio con su respectiva desviación estándar.

Tabla 9 — Datos de análisis de color de la fibra de alpaca teñida con colorante de flor de qolle (*Buddleja coriacea*)

TRATAMIENTO	MORDIENTE	Propiedades colorimétricas				
		L^*	a^*	b^*	C^*	h°
T1	AL	51.22±0.473 ^b	2.26±0.01 ^a	29.25±0.31 ^b	29.34±0.32 ^b	85.58±0.04 ^c
T2	CO	46.19±0.63 ^c	-0.28±0.11 ^c	21.54±0.39 ^c	21.54±0.39 ^c	90.75±0.28 ^a
T3	SL	57.86±0.51 ^a	1.23±0.02 ^b	33.98±0.64 ^a	34.00±0.64 ^a	87.92±0.06 ^b

NOTA: Luminosidad (L^*); Coordenada cromática (a^* , b^*); saturación (C^*); Angulo de matiz (h°): En donde (T1) Alumbre; (T2) Collpa y (T3) Sal de limón, superíndices con letras muestra las diferencias significativas ($p < 0.05$); ($n=3$).

Seguidamente, presentamos el análisis de los parámetros colorimétricos.

- **Luminosidad (L^*)**

El análisis de varianza para determinar la luminosidad, (L^*), los resultados referentes al diseño completamente al azar (DCA) con un solo factor con $p < 0.05$ (Tabla 10), se observa que estadísticamente existen diferencias significativas.



Al efectuar la prueba de Tukey para la comparación de medias ver (Anexo 1-Tabla 22), la luminosidad (0 (oscuro o negro) a 100(blanca o clara)) de los 3 tratamientos reportan valores en el rango de (46.19 a 57.86); el T3 (Hilo de alpaca teñido con colorante de flor de qolle, post-mordentado con sal de limón) presento mayor luminosidad (57.86), lo que indica que es el tratamiento más claro. El T2 (Hilo de alpaca teñido con colorante de flor de qolle post-mordentada con collpa), mostro una disminución en la luminosidad, siendo el tratamiento más oscuro con un valor de (46.19) como se observa en la Tabla 9.

Tabla 10 — ANOVA para la Luminosidad (L*)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	Valor-F	P - valor
Factor	236.456	2	118.228	525.80	0.000
Error	1.349	6	0.225		
Total	237.805	8			

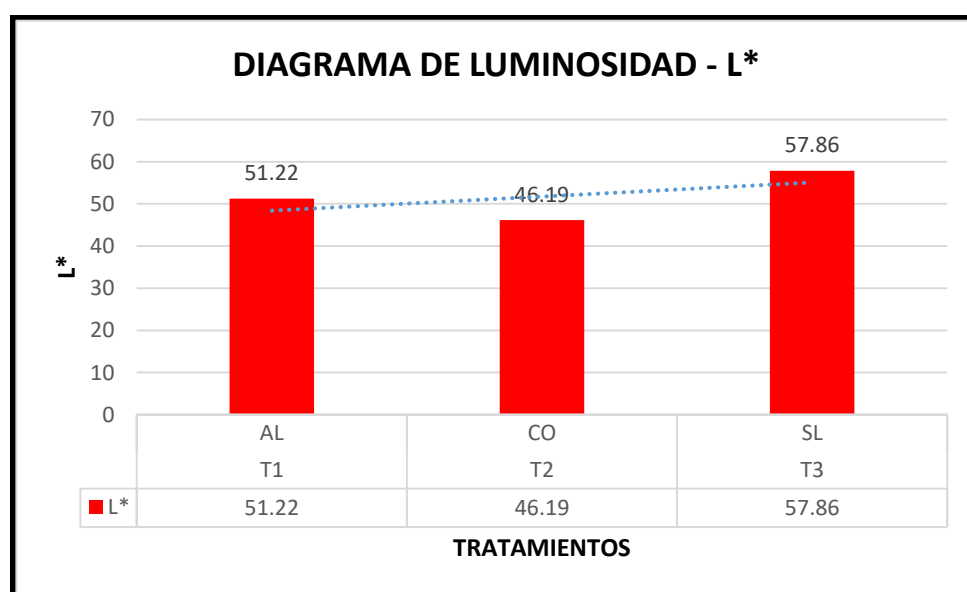


Figura 11 — Representación gráfica de Luminosidad (L*)

- **Coordenada de (a*)**

En el análisis estadístico de la coordenada a*, no se observó una interacción significativa entre las variables. La prueba de normalidad indicó que los datos no siguen una distribución normal, por lo que se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, ver Anexo 1 – Tabla 23.

Los resultados con respecto a la coordenada a* (-verde a +rojo) de los 3 tratamientos reportan valores en el rango de (-0.28 a 2.26); el T2 (Hilo de alpaca teñido con colorante flor de qolle post-mordentado con collpa) presento un valor menor de la coordenada a* (-0.28), lo que indica una tendencia hacia el color verde



mientras los demás tratamientos T1 y T3 tienen valores positivos, indicando una tendencia al color rojo, como se observa en la Tabla 9.

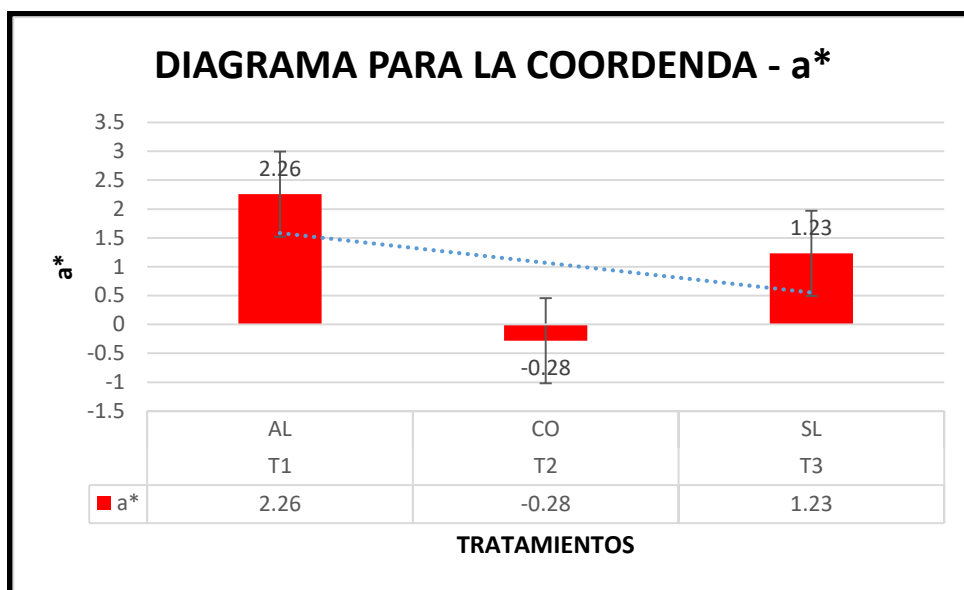


Figura 12 — Representación gráfica de la coordenada (a*)

• **Coordenada (b*)**

La Tabla 11, del análisis de varianza ANOVA, revelo resultados significativos para el diseño factorial de un solo factor con un nivel de significancia $p < 0.05$, lo que indica que hay diferencias significativas en los 3 tratamientos (ver anexo 1). Al realizar la prueba de Tukey para la comparación de medias (Ver anexo 1 – Tabla 24), la coordenada b* (-azules a + amarillos) de los 3 tratamientos reportan valores en el rango de (21.54 a 33.98); el T2 (Hilo de alpaca teñido con colorante de flor de qolle post-mordentado con collpa) presento el valor menor de la coordenada b* (21.54), todos los tratamiento presentan valores positivos, lo que significa una tendencia hacia el amarillo siendo el T3(Hilo de alpaca teñida con colorante de flor de qolle post-mordentada con sal de limón) el que muestra la mayor intensidad de color amarillo.

Tabla 11 — ANOVA para la coordenada (b*)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	Valor-F	P - valor
Factor (mordiente)	236.456	2	118.228	525.80	0.000
Error	1.349	6	0.225		
Total	237.805	8			



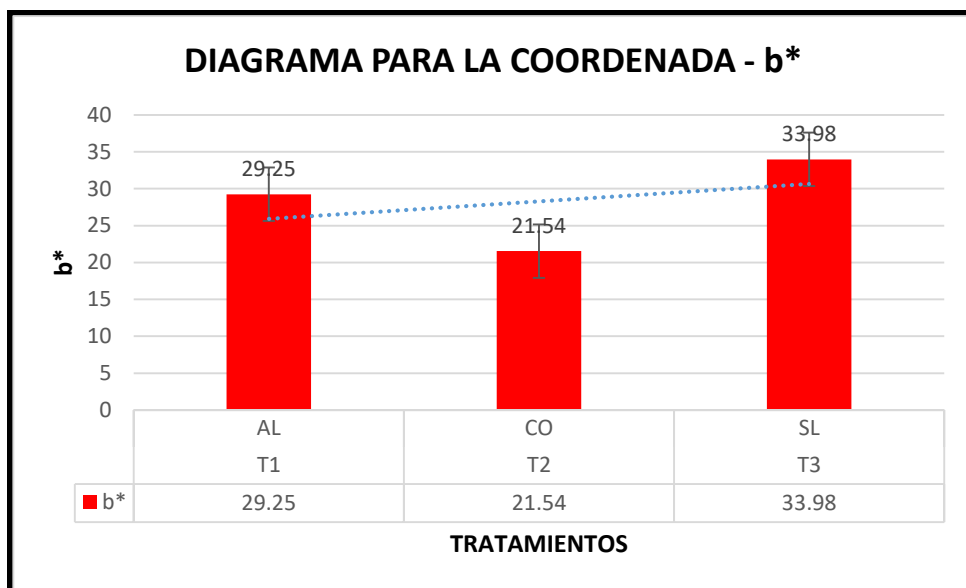


Figura 13 — Diagrama de barra para la coordenada (b*)

• **Croma (C*)**

La Tabla 12, de análisis de varianza ANOVA, revelo resultados significativos para el diseño de un solo factor con un nivel de significancia $p < 0.05$, los resultados indican que hay diferencias significativas en los 3 tratamientos.

Al analizar la prueba de Tukey para la comparación de medias (Ver anexo 1 – Tabla 25), el croma (C*) de los 3 tratamientos reportan valores en el rango de (21.54 a 34); el T2 (Hilo de fibra teñido con colorante de qolle post-mordentada con collpa) presento un valor menor de croma (21.54), mientras el T3 (hilo teñido con colorante flor de qolle post-mordentada con sal de limon) presento el valor más alto (34) lo que indica una mayor saturación de color ya que croma indica la pureza del color, como se observa en la Tabla 9.

Tabla 12 — ANOVA para el croma (C*)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	Valor-F	P - valor
Factor(mordiente)	237.675	2	118.837	528.65	0.000
Error	1.349	6	0.225		
Total	239.023	8			



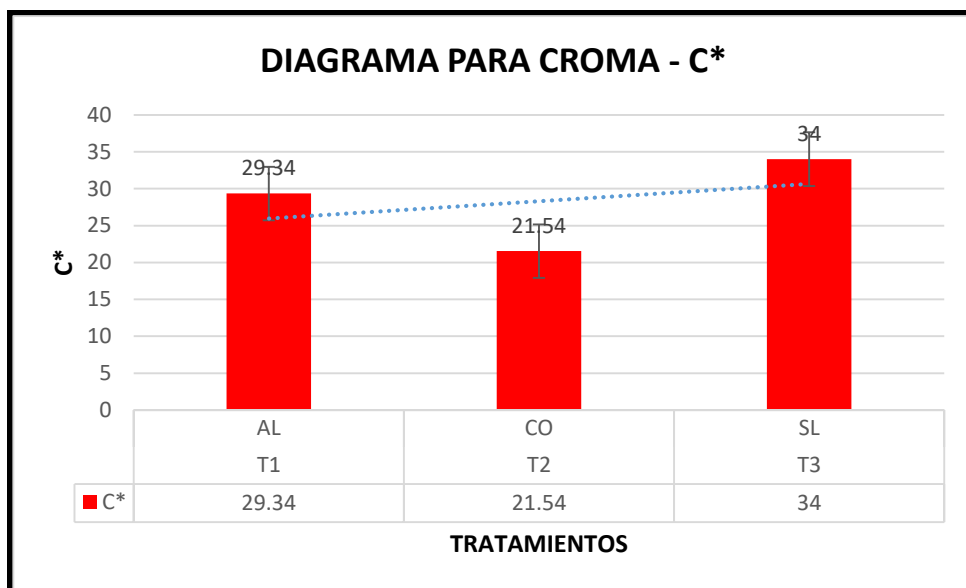


Figura 14 — Diagrama de barra para croma (C*)

• Tono (h°)

La Tabla 13, del análisis de varianza ANOVA, revelo resultados significativos para el diseño de un solo factor con un nivel de significancia $p < 0.05$, los resultados estadísticos indican que hay diferencias significativas en los 3 tratamientos, respecto al tono (h°).

Tabla 13 — ANOVA para el tono (h°)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	Valor-F	P - valor
Factor	40.1934	2	20.0967	724.39	0.000
Error	0.1665	6	0.0277		
Total	40.3598	8			

Al realizar la prueba Tukey para la comparación de medias (Ver anexo 1 – Tabla 26), el tono (h°) de los 3 tratamientos reportan valores en el rango de (85.58 a 90.75), el tono (h°) representa el tipo de color, el T1 (Hilo teñido con colorante flor de qolle post-mordentado con alumbre) tiene un valor cercano a 86, lo que indica un matiz amarillo - naranja, T2 (hilo teñido con colorante flor de qolle post-mordentada con collpa) presento un valor mayor de tono (90.75), lo que indica un matiz amarillo – verde, como se observa en la Figura 9.



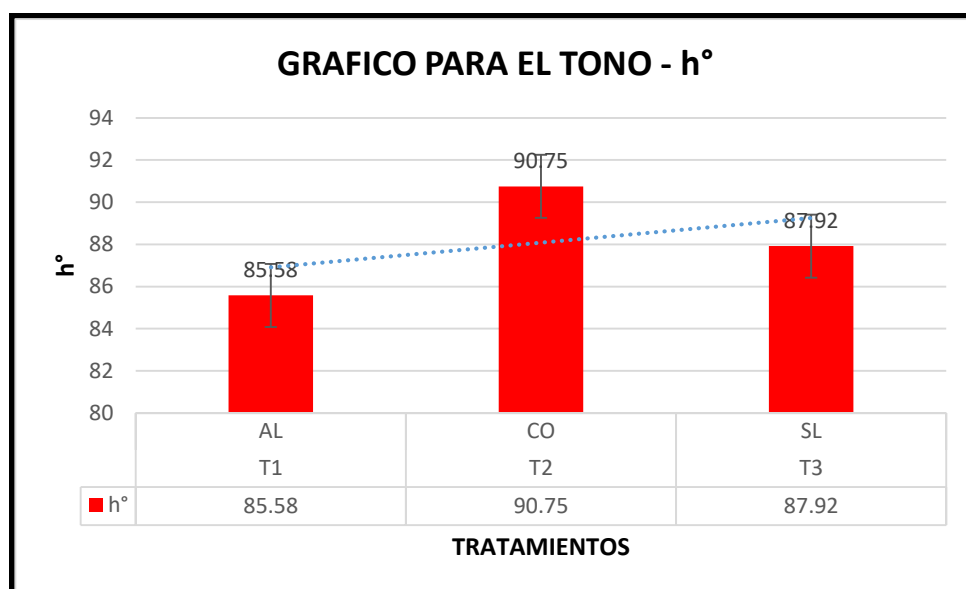


Figura 15 — Diagrama de barra para el tono de matiz (h°)

5.1.2 Análisis de las características textiles teñidas con flores de qolle (*Buddleja coriacea*)

En la Tabla 14, se presenta los resultados de las características textiles del hilo de fibra de alpaca para los 3 tratamientos, con un solo factor con sus diferentes niveles, referente a las características textiles (DMF, CV-DMF, FC, IC, FH), como también se presenta el promedio con su respectiva desviación estándar.

Tabla 14 — Datos de evaluación de características textiles de los hilos de fibra de alpaca teñida con colorante de flor de qolle

Tratamientos	Mordientes	Características textiles				
		DMF (µm)	CV-DMF (µm)	FC (%)	IC (% mm)	FH (µm)
T1	AL	22.86±0.63 ^a	20.12±1.56 ^a	93.30±0.93 ^a	59.51±2.57 ^a	20.14±0.56 ^a
T2	CO	22.90±1.42 ^a	20.30±1.08 ^a	92.97±2.19 ^a	62.39±62.39 ^a	20.17±1.25 ^a
T3	SL	21.78±1.44 ^a	21.44±0.76 ^a	94.2±3.04 ^a	58.72±3.70 ^a	19.19±1.27 ^a

DONDE: Diámetro medio de fibra (DMF); Coeficiente de variación de diámetro medio de fibra (CV- DMF); Factor de confort (FC); Índice de curvatura (IC); Finura al hilado (FH), en donde : Alumbre (AL); Collpa (CO); Sal de limón (SL); superíndices con letras muestra las diferencias significativas (p<0.05); (n=3).

• Diámetro medio de fibra (DMF)



La Tabla 15, del análisis de varianza ANOVA, revelo resultados constantes para el diseño de un solo factor con un nivel de significancia $p < 0.05$, los resultados estadísticos indican que no hay diferencias significativas en los 3 tratamientos, respecto al tono (DMF).

Al analizar la prueba de Tukey para la comparación de medias (Ver anexo 2 – Tabla 27), el DMF de los 3 tratamientos reportan valores en el rango de (21.78 a 22.90); lo que nos da a entender que el DMF no tuvo variaciones en los resultados obtenidos, al efectuar las comparaciones de promedios se observa que el tratamiento T3 (Hilo de alpaca teñida con flores de qolle post-mordentada con sal de limón), presenta el valor más bajo (21.78), siendo de una categoría fina tal como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 15 — ANOVA para determinar el diámetro medio de fibra (DMF)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	Valor-F	P – valor
Factor(mordiente)	2.397	2	1.199	0.79	0.494
Error	9.052	6	1.509		
Total	11.449	8			

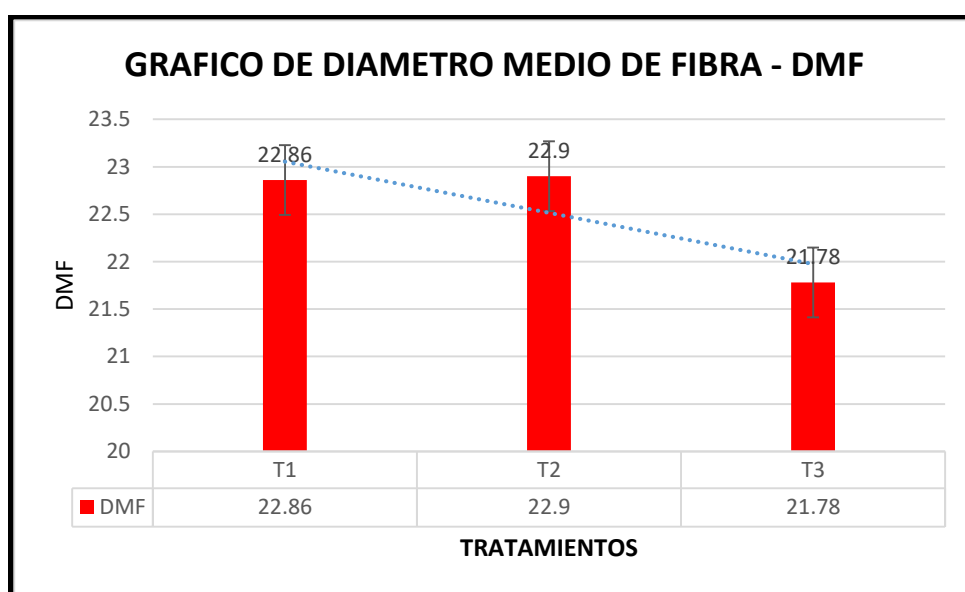


Figura 16 — Diámetro medio de fibra (DMF)

• **Coefficiente de variación del diámetro medio de fibra**

La Tabla 16, del análisis de varianza ANOVA, revelo resultados constantes para el diseño de un solo factor con un nivel de significancia $p < 0.05$, los resultados estadísticos indican que no hay diferencias significativas en los 3 tratamientos, respecto (CV-DMF).

Al analizar la prueba de Tukey para la comparación de medias (Ver anexo 2 – Tabla 28), el CV-DMF de los 3 tratamientos reportan valores en el rango de



(20.12 a 21.44); lo que nos da a entender que el CV-DMF no tuvo variaciones en los resultados obtenidos, al efectuar las comparaciones de promedios se observa que el tratamiento T1 (Hilo de alpaca teñida con flores de qolle post-mordentada con alumbre), presenta el valor más bajo (20.12), lo que indica que tiene alta uniformidad en resistencia de la mecha.

Tabla 16 — ANOVA para determinar el coeficiente de variación de DMF

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	Valor-F	P - valor
Factor	2.397	2	1.199	0.79	0.494
Error	9.052	6	1.509		
Total	11.449	8			

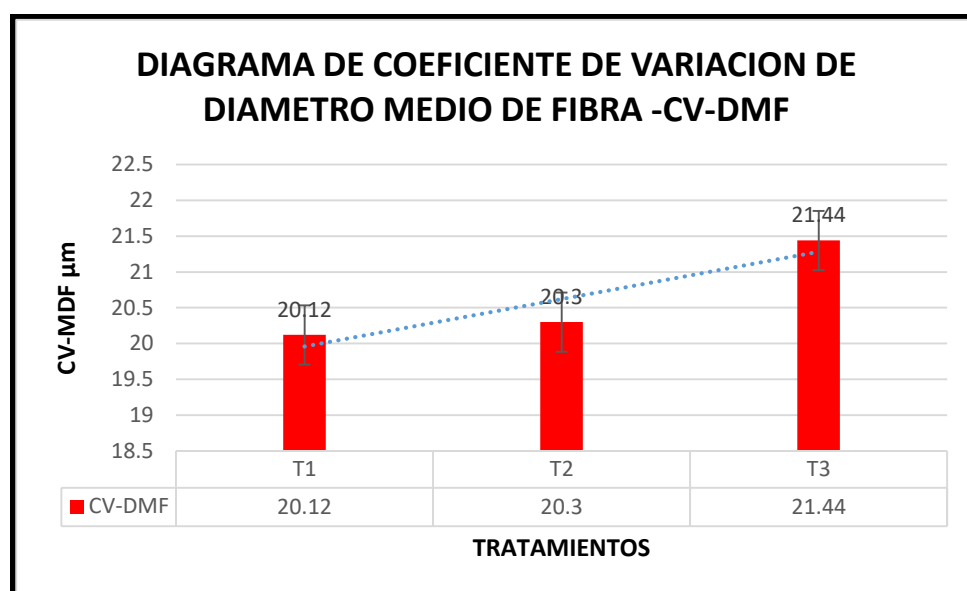


Figura 17 — Coeficiente de variación del diámetro medio de fibra

• **Factor de Confort (<30 µm)**

La Tabla 17, del análisis de varianza ANOVA, revelo resultados constantes para el diseño de un solo factor con un nivel de significancia $p < 0.05$, los resultados estadísticos indican que no hay diferencias significativas en los 3 tratamientos, respecto al FC.

Al analizar la prueba de Tukey para la comparación de medias (Ver anexo 2 Tabla 29), el FC de los 3 tratamientos reportan valores en el rango de (92.97 a 94.2); lo que nos da a entender que el FC no tuvo variaciones en los resultados obtenidos.



El FC se registraron valores superiores al 90% en todos los casos, reflejando la alta calidad y comodidad de la fibra, sin que la aplicación del colorante y los mordientes modificaran la estructura de la fibra.

Tabla 17 — ANOVA para determinar el factor de confort (FC)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	Valor-F	P - valor
Factor	2.685	2	1.343	0.27	0.772
Error	29.827	6	4.971		
Total	32.513	8			

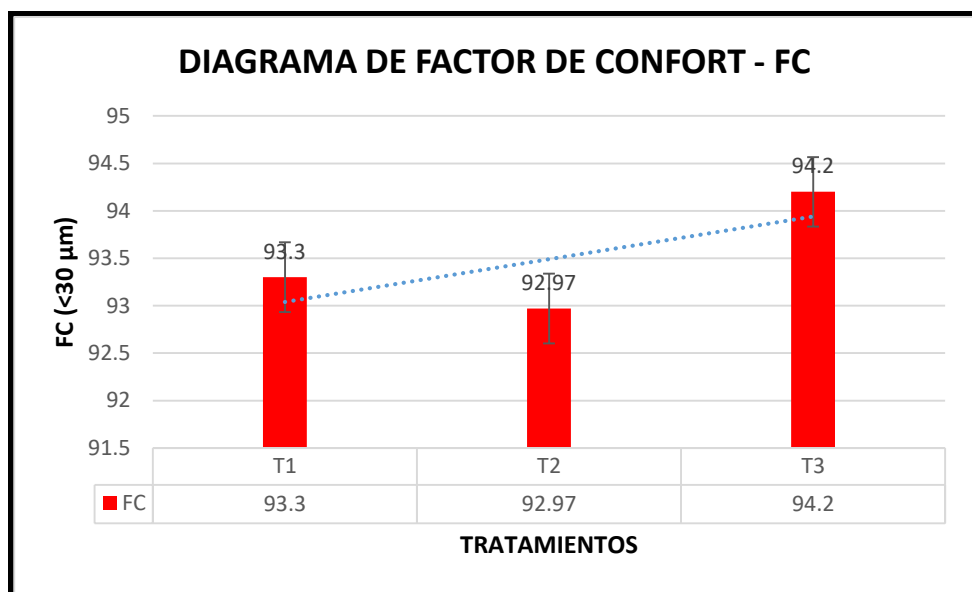


Figura 18 — Diagrama de factor de confort (FC<30 μm)

- **Índice de curvatura (IC %mm)**

La Tabla 18, del análisis de varianza ANOVA, revelo resultados constantes para el diseño de un solo factor con un nivel de significancia $p < 0.05$, los resultados estadísticos indican que no hay diferencias significativas en los 3 tratamientos, respecto al IC.

Al efectuar la prueba de Tukey para la comparación de medias (Ver anexo 2 - Tabla 30), observamos que los tratamientos no tuvieron diferencias significativas, los valores van de un rango de (58.72 a 62.39).

Al hacer la comparación de los promedios como se observa en la Tabla 14 se muestra que el T2 (Hilo teñido con colorante flor de qolle post-mordentada con collpa) el que muestra un IC más elevado con un valor de (62.39) lo que indica que el hilo es levemente flexible.

Tabla 18 — ANOVA para determinar el índice de curvatura (IC)



Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	Valor-F	P - valor
Factor	2.685	2	1.343	0.27	0.772
Error	29.827	6	4.971		
Total	32.513	8			

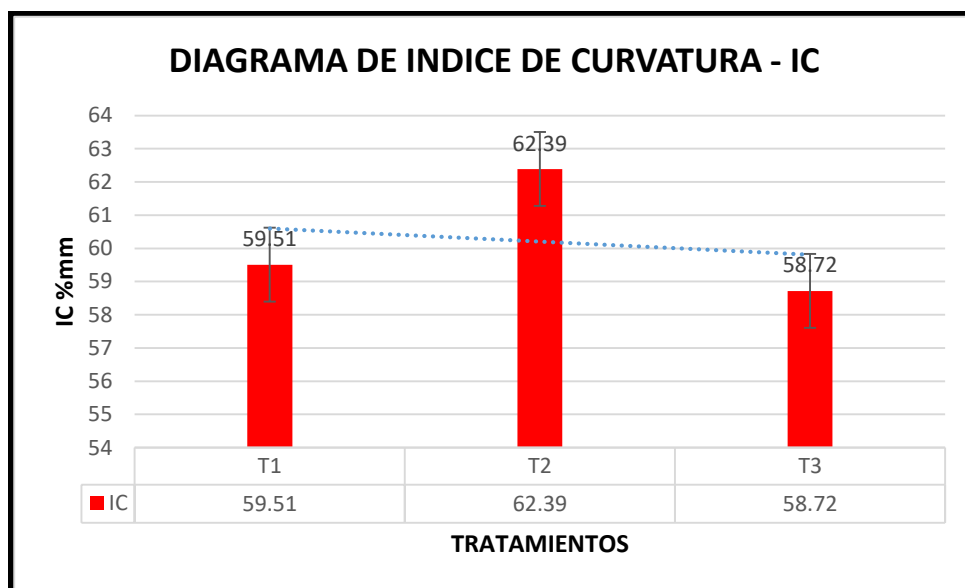


Figura 19 — Diagrama de índice de curvatura

- **Finura al hilado (FH μm)**

La Tabla 19, del análisis de varianza (ANOVA), revelo resultados no significativos para el diseño de un solo factor (mordientes) con un nivel de significancia $p < 0.05$.

Al analizar la prueba de Tukey para la comparación de medias (Ver anexo 2 – Tabla 31) la finura al hilado de los 3 tratamientos reporta valores en el rango de (19.19 a 20.17); donde la FH es similar en todos los tratamientos, con un promedio de 21 μm .

Tabla 19 — ANOVA para determinar la finura al hilado (FH)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	Valor-F	P - valor
Factor	1.861	2	0.9303	0.79	0.494
Error	7.026	6	1.1710		
Total	8.886	8			

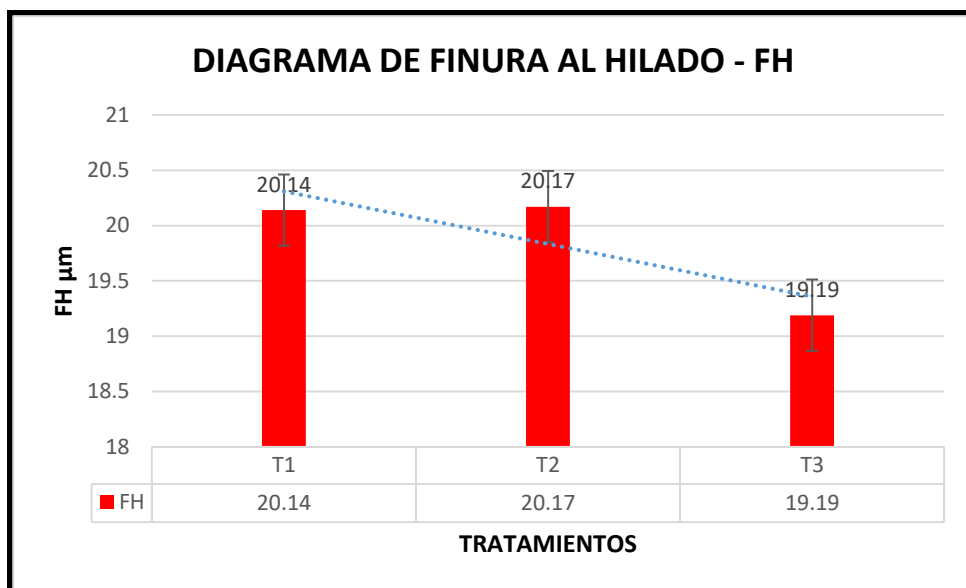


Figura 20 — Diagrama de finura al hilado (FH)

5.1.3 Análisis de propiedades de solidez de color

La evaluación se realizó en una cabina de luces usando luz D65 con la escala de grises para la transferencia de color y para el cambio de color y se corroboró en el espectrofotómetro midiendo las muestras antes y después de cada ensayo.




De acuerdo a la Tabla 20, se realizaron pruebas de solidez al lavado y frote en seco y húmedo, lo que permitió determinar la transferencia de color del colorante con los diferentes mordientes. Según los resultados obtenidos de los 3 tratamientos.

La solidez al lavado mostró resultados que el T1 (hilo de alpaca teñido con colorante qolle post-mordentada con alumbre) y T2 (hilo de alpaca teñido con colorante qolle post-mordentada con collpa) mostraron valores de 3 lo que indica una resistencia al color aceptable, aunque con algo de decoloración.

La solidez al frote en seco y húmedo observamos que el tratamiento T3 (hilo de alpaca teñido con colorante qolle post-mordentada con sal de limón) presentó una puntuación mayor al de resto de las muestras en la escala de grises y como también fue corroborado por el espectrofotómetro dando el mismo resultado lo que nos indica que es muy bueno y casi no hay desprendimiento del colorante.



Tabla 20 — Datos de la evaluación con la escala de grises y un espectrofotómetro de la evaluación al lavado y frote en seco y húmedo de la fibra de alpaca teñida con colorante de flor de qolle (*Buddleja coriácea*)

Tratamientos	Solidez al lavado	Frote en húmedo	Frote en seco	Muestra
T1 (AL)	3	2/3	3	
T2 (CO)	3	2	3	
T3 (SL)	2	2/3	4/5	

NOTA: T1(hilo de alpaca teñida con colorante qolle post-mordentada con alumbre); T2 (hilo de alpaca teñida con colorante qolle pots-mordentada con collpa); T3 (hilo de alpaca teñida con colorante qolle post-mordentada con sal de limón) se analizaron para la solidez al lavado y frote en seco y en húmedo.

Valores:2/3: indican regular (destiñe fuertemente), 4/5: indica muy bueno (destiñe un poco).

5.2 Contratación de hipótesis (si corresponde)

Hipótesis general: Existen diferencias en las propiedades colorimétricas, características textiles y solidez de color de los hilos de fibra alpaca (*Vicugna pacos*) teñidos con flores de qolle (*Buddleja coriacea*) con diferentes mordientes.

La hipótesis general para su contrastación se compone de la siguiente manera:

Propiedades colorimétricas

Hipótesis específica 1

Existen diferencias en las propiedades colorimétricas de los hilos de fibra alpaca (*Vicugna pacos*) teñidos con flores de qolle (*Buddleja coriacea*) con diferentes mordientes.



Ho: Los hilos de fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñidos con flores de qolle (*Buddleja coriacea*) con diferentes mordientes, no afecta significativamente en las propiedades colorimétricas (L^* , a^* , b^* , C y h°).

Ha: Los hilos de fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñidos con flores de qolle (*Buddleja coriacea*) con diferentes mordientes, afectan significativamente en las propiedades colorimétricas (L^* , a^* , b^* , C y h°).

Según los resultados obtenidos existen diferencias significativas en las propiedades colorimétricas porque el grado de significancia fue menor a 0.05 ($P < 0.05$), entonces se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

Características textiles

Hipótesis específica 2

Existen diferencias significativas en las características textiles de los hilos de fibra alpaca (*Vicugna pacos*) teñidos con flores de qolle (*Buddleja coriacea*) con diferentes mordientes.

Ho: Los hilos de fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñidos con flores qolle (*Buddleja coriacea*) con diferentes mordientes, no afectan en las características textiles (DMF, CV-DMF, FC, IC, FH).

Ha: Los hilos de fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñidos con flores de qolle (*Buddleja coriacea*) con diferentes mordientes, afectan significativamente en las características textiles (DMF, CV-DMF, FC, IC, FH).

De acuerdo a los resultados obtenidos no existen diferencias significativas de las características textiles, porque el grado de significancia fue mayor a 0.05 ($p > 0.05$), entonces se acepta la hipótesis nula y se rechaza la alterna.

5.3 Discusión

• Parámetros de colorimetría

Según la cuantificación de color con el sistema CIE $L^* a^* b^*$, la luminosidad (L^*) con el T2 (hilo teñido con colorante qolle post-mordentada con collpa) presento valores menores a los demás tratamientos con valores de L^* :46.19 indicando un oscurecimiento en cuanto al color, la coordenada a^* :-0.28 que indica una tendencia hacia el color verde, coordenada b^* :21.54 al color amarillo, coma C^* :21.54, indicando una tonalidad menos saturada y finalmente el ángulo de matiz h° :90.75 lo que indica un matiz amarillo-verde. (Lozano et al., 2024) al realizar el estudio de efecto de mordiente sobre la variación de diámetro y tono de color en hilo de fibra de alpaca teñida con flores de colli, obtuvo resultados con una disminución en Luminosidad con valores de L^* : 51.42, coordenada a^* : -0.48 generando un color verde oscuro con mordiente collpa, la coordenada b^* : 64.36 que



tiende al color amarillo, para el croma C^* : 64.43 presento saturación media y tonalidad h° : 92.03 lo que indica un matiz amarillo verde, resultados similares fueron reportados por (ARROYO et al., 2016) en su estudio de análisis del color en pruebas de teñido de fibras naturales con flor de girasol donde valores de la coordenada a^* : -0.57 indica tendencias hacia el color verde, la coordenada b^* : 14.88 indica tendencia al color amarillo.

La incorporación de varios mordientes con el colorante de qolle produce cambios notables de coloración de los hilos de fibra de alpaca, afectando la saturación y el tono. Esta investigación es esencial para la selección adecuada de mordientes que produzcan tonos específicos y para comprender como los procesos posteriores al mordiente afectan las características de la fibra. Estos hallazgos son directamente relevantes para la industria textil, en particular la moda sostenible, donde se priorizan los tintes naturales y los métodos de teñido respetuosos con el medio ambiente. Además, estos avances promueven el desarrollo de técnicas de teñido innovadoras que mejoran la calidad y la durabilidad del color en textiles orgánicos.

- **Características textiles**

La industria textil considera el diámetro de fibra como un factor importante para determinar la calidad de la fibra a través del grosos (QUISPE et al., 2013). De acuerdo con los datos presentados en la Tabla 14, el T3 (hilo de alpaca teñido con colorante qolle post-mordentada con sal de limón) tuvo un valor menor en el diámetro medio de fibra (DMF: 21.78 μm), Factor de confort (FC: 94.2%), índice de curvatura (IC: 58.72 μm) y finura al hilado (FH: 19.19). Así mismo (Lozano et al., 2024) en su estudio efecto de mordiente sobre la variación de diámetro y tono de color en hilo de fibra de alpaca teñida con flores de colli, tuvo como resultados diámetro medio de fibra DMF: 30.09 μm , Finura al hilado FH: 23.23 lo que indica que tuvieron un aumento de diámetro al utilizar mordiente sal de limón, en comparación con los resultados de (HUAMANI, 2024) donde tuvo resultados menores al aplicar mordiente de sal de limón DMF: 20.83 μm , FC: 89.33%, IC: 42 μm y FH: 20.67, las moléculas de mordientes disueltas en la solución se adhieren a la superficie y se difunden a las zonas internas de la fibra (corteza y medula) modificando su volumen y diámetro (ATAY, 2012), CONTRERAS y QUISPE (2010), indica que a un tipo de mordiente y la concentración de tinte puede influir en la curvatura de la fibra. Respecto al factor de confort (FC) los tratamientos mostraron resultados mayores al 90 % lo indica una mayor suavidad y una menor irritabilidad de la piel (NAYLOR, 1992).



- **Solidez**

De acuerdo con los datos presentados en la Tabla 20 se realizó una evaluación de solidez de color donde el T3 (hilo de alpaca teñido con colorante qolle post-mordentada con sal de limón) mostro una buena firmeza de color con calificación 4/5 como muy bueno (destiñe poco) tal como lo muestra la Tabla 6 con respecto a la solidez de frote en húmedo. Esto indica una buena fijación del tinte a la fibra, un atributo crucial para textiles expuestos a diversas condiciones de uso. El T1 (hilo de alpaca teñido con colorante qolle post-mordentada con alumbre) tuvo resultado de 3 (bueno) datos similares tuvo SUCASACA (2020) donde determino la solidez a la luz obteniendo un valor de 3-4 a una temperatura de ebullición por 60 minutos. Además, HUAMANI (2024) ha obtenido una solidez 3-4 (buena) aplicando el post-mordentado con alumbre en el teñido de fibra de alpaca teñida con tinte de cochinilla a una temperatura de 85°C y tiempo de 5 min en el post-mordentado, GUERRA et al., 2022 obtuvo resultados similares al aplicar mordiente alumbre en el tinturado de fibra de alpaca utilizando diferentes partes de la planta de nogal obteniendo resultados de solidez de frote 3-4 calificado como bueno.

Se puede inferir que el extracto de *Buddleja coriacea* actúa como un colorante sustantivo, capaz de adherirse a la fibra sin necesidad de mordientes para mejorar su solidez al lavado. Sin embargo, la adición de mordientes durante el post-mordiente parece debilitar los enlaces, disminuyendo la resistencia al lavado. Investigaciones anteriores, como la de SUCASACA (2020), informan que el extracto de *Buddleja coriacea* puede producir una gama de tonos amarillos en la fibra de alpaca con calificaciones de solidez del color de 3 a 4 en la escala de grises para el cambio de color (PALMA, 2020).



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Los resultados indican que las propiedades colorimétricas variaron notablemente entre los diferentes mordientes utilizados. En particular, el (T3) mordentada con sal de limón proporcionó los mejores resultados en términos de luminosidad y saturación del color (L^* y C^*), resaltando la capacidad del mordiente para intensificar los matices y la vibración de los colores obtenidos en el hilo de alpaca teñido.
- A pesar de que no se encontraron diferencias significativas en las características textiles de los hilos de alpaca teñidos con los diferentes mordientes (como el diámetro medio de fibra, coeficiente de variación, factor de confort, índice de curvatura y finura al hilado), se observa que el uso de colorantes naturales no compromete la calidad del hilo. Esto sugiere que los métodos de teñido pueden ser implementados sin perjudicar las características mecánicas del material.
- Las pruebas de solidez de color demostraron que el (T3) mordentada con sal de limón resultó en una solidez de color superior, con mejores puntajes en las pruebas de frote tanto en húmedo como en seco. Esto da soporte a la hipótesis de que la elección del mordiente puede mejorar la durabilidad del color en los productos finales, destacando la viabilidad de los tintes naturales en aplicaciones comerciales.

6.2 Recomendaciones

- Dado que los mordientes tienen un papel significativo en las propiedades colorimétricas, es esencial profundizar en el análisis del efecto particular de cada mordiente en el teñido y cómo estos afectan la firmeza del color.
- Se recomienda llevar a cabo investigaciones adicionales sobre la resistencia de la fibra al lavado y al frote, tanto en seco como en húmedo, bajo una variedad de condiciones de temperatura y duración.
- Se recomienda investigar como el pH y la temperatura influyen en la interacción entre el mordiente, colorante y la fibra.
- Es crucial investigar la evolución de las propiedades de la fibra de alpaca teñida a lo largo del tiempo y bajo la influencia de distintos factores ambientales, como la exposición solar y la humedad, para comprender la permanencia de los colores logrados.
- Se recomienda hacer la sociabilización de estos procesos con asociaciones de artesanos para promover prácticas de tratamiento más seguras, sostenibles y con base científica.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADOT, Oscar Gabriel, et al. Introducción a la industrialización de la lana y las fibras especiales. 2010.

ARIAS, Fidias. El proyecto de investigación Introducción a la metodología científica. Episteme. *Caracas, Venezuela*, 2012.

ATAV, Riza. Thermodynamics of wool dyeing. *Thermodynamics Fundamentals and its application in science*, 2012, vol. 10, p. 247-262.

ARROYO Figueroa, Gabriela y Alvarez Canelo, Jesus Guadalupe. *Teñido de fibras naturales con colorantes naturales*. Guanajuato : Ingenierías, 2017.

BUSTINZA Choque, A. Victor. *La alpaca*. Puno : printed in Perú, 2001.

BUENAÑO, Wilmo Guerra, et al. TINTURADO DE LA FIBRA DE ALPACA UTILIZANDO DIFERENTES PARTES DE LA PLANTA DEL NOGAL (CORTEZA, HOJAS Y FRUTO). *RECIENA*, 2022, vol. 2, no 1, p. 61-66.

CAMPOS, Jenniffer; QUINTANILLA, Hari Abraham. Uso de dos colorantes naturales *Rubus ulmifolius* (Mora) Y *Beta vulgaris* (Remolacha) en el teñido de la tela ciento por ciento algodón. 2017.

CANO, Telma. *Estudio tecnológico sobre los tintes naturales extraídos de la corteza de tres especies forestales cultivadas en Guatemala, para teñir fibras naturales que cumplan con las especificaciones de calidad exigidas por el mercado*. Guatemala : Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007.

CARVALLO CERONI, Marianela. Colorantes naturales derivados de la cochinilla *dactylopius coccus costa* y su comercio natural.

CEDANO, et al., 2001. Some phylloporales tested for organic dyes. *Mycologist*

CIE (Commission International de Eclerage). 2004. CIE 15: Technical Report: Colorimetry. 3. ed. Commission Internationale de l'Eclairage. Washington, The United States of America.

CONTRERAS, S. Potencial productivo y comercial de la alpaca. *Lima: MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO, DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ECONÓMICOS E INFORMACIÓN AGRAR*, 2019.

DEL CARPIO, Carla, Serrano, Carlos y Giusti, Mónica. *Estudio del colorante de los frutos de Berberis Boliviana L. (Cheqche)*. Cusco : Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, 2006. pág. 118.

DRUML, Thomas, et al. Discriminant Analysis of Colour Measurements Reveals Allele Dosage Effect of ASIP/MC1R in Bay Horses. *Czech Journal of Animal Science*, 2018, vol. 63, no 9.

ETCHAREN, Patricia. Policromía en los tintes naturales. 1986.

HOLLEN, Norma. 2002. Introducción a los textiles. 2002.



HUAMANI NAVARRO, Liz Nerida. Efecto del teñido de tinte de “cochinilla”(Dactylopius coccus) y mordientes metálicos sobre las propiedades de colorimétricas, bandas químicas y de solidez de color en fibra de alpaca Huacaya (Vicugna pacos). 2024.

HOYOS Mallqui, Marina. *Evaluación de frutos de Mio – Mio (Coriaria ruscifolia) a distintos mordientes y parámetros de teñido en fibra de alpaca (Lama pacos).* Abancay : UNAMBA-Institucional, 2016.

LOCK, Olga. *Colorantes naturales.* Lima : Fondo Editorial Pontificia Universidad Católica del Perú, 1997. págs. 5:75-80.

LOZANO, F.; Tapía-Pacci, S.; Ccopa, R.; Quispe-Quispe, A.; Salazar-López, JC Efecto de los mordientes sobre la variación del color en fibra de alpaca teñida con colorante extraído del tallo de la tankar (*Berberis boliviana* L.). *Color. Technol.* 2024.

LOZANO, Franklin; QUISPE-QUISPE, Arturo; VILCANQUI-PÉREZ, Fulgencio. Efecto de mordientes sobre la variación de diámetro y tono de color en hilos de fibra de alpaca teñidos con flores de colli (Buddleja coriacea). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 2024, vol. 35, no 1.

LUPTON, C. J.; MCCOLL, A.; STOBART, R. H. Fiber characteristics of the Huacaya Alpaca. *Small Ruminant Research*, 2006, vol. 64, no 3, p. 211-224.

MATHIAS-RETTIG, K.; AH-HEN, Kb. El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro sur*, 2014, vol. 42, no 2, p. 57-66.

MCGREGOR, Bruce A. Physical, chemical, and tensile properties of cashmere, mohair, alpaca, and other rare animal fibers. En *Handbook of properties of textile and technical fibres.* Woodhead Publishing, 2018. p. 105-136.

MENDOZA Huamani, Celia Marta. *Evaluación del tipo y cantidad de mordiente para observar la intensidad del color y la solidez del tinte en la fibras de alpaca (Vicugna pacos) con Aliso (Alnus acuminata HBK).* Huancavelica : Universidad Nacional de Huancavelica, 2018.

MIAO, M.; GORDON, S. Fiber selection and substitution. En *Engineering of High-Performance Textiles.* Woodhead Publishing, 2018. p. 3-26.

MONTAZER, M.; y Parvinzadeh, M. Teñido de lana con caléndula y sus propiedades. *Fibras Polímeros* 2007, 8, 181–185.

NAFFA, Rafea, et al. Chemical and structural composition of alpaca (vicugna pacos) skin with a focus on collagen crosslinks. *Small ruminant research*, 2020, vol. 190, p. 106144.

NAYLOR, G. R. S. Comfortable next-to-skin wool. 1992.

NINA Aguilar, Yeselia. , y *caracterización del colorante natural de la inflorescencia de Colli (Buddleja coriacea) en el teñido de la fibra de alpaca.* Puno : UNAP-Institucional, 2018.

OBANDO PORTILLO, Ruth Elizabeth. *Tintura alternativa en hilos de lana con colorantes naturales.* 2013. Tesis de Licenciatura.

OBANDO, Ruth. *Tintura alternativa en hilos de lana con colorantes naturales.* Ibarra : Universidad técnica del norte, 2013



OCHOA, Cecilia Palacios; ULLAURI, Narcisca. Revalorización de métodos ancestrales de tinturado natural en las provincias de Loja y Azuay del sur de Ecuador. *Siembra*, 2020, vol. 7, no 1, p. 50-59.

OJEDA BRITO, G. Teñido de fibra de abacá (*Musa textilis*) utilizando colorante extraído de la cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa). *Universidad de Loja. Ecuador, Loja*, 2012.

PULIDO, Humberto Gutiérrez, et al. *Análisis y diseño de experimentos*. New York, NY, USA:: McGraw-Hill, 2012.

QUISPE Cubas, Roxana Jenifer. *Uso de extracto de Lantana camara en el teñido de lana y algodón*. Lima : UNMSM, 2016.

QUISPE Peña Edgar; POMA GUTIÉRREZ, Adolfo; PURROY UNANUA, Antonio. Características productivas y textiles de la fibra de alpacas de raza huacaya a review of huacaya alpacas fiber traits. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 2013, vol. 7, no 1, p. 1-29.

QUISPE, Alexander Sucasaca; GARNICA, Eusebio Disederio Guevara. Efectos del colorante natural inflorescencia de colli (*Buddleja Coriacea*) en la solidez de color de teñido de fibras de alpaca. *Revista de Innovación y Transferencia Productiva*, 2020, vol. 1, no 2, p. e003-e003.

QUISPE, Edgard Carlos, et al. Producción de fibra de alpaca, llama, vicuña y guanaco en Sudamérica. *Animal Genetic Resources/Recursos genéticos animales/Recursos genéticos animales*, 2009, vol. 45, p. 1-14.

R CORE TEAM, et al. R: A language and environment for statistical computing. *Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria*, 2013.

R CORE TEAM, R., et al. R: A language and environment for statistical computing [Internet]. *Vienna, Austria: R foundation for statistical computing*, 2015, p. 171-203.

RAIMONDI, M. *Las fibras textiles y su tintura*. 1990.

RODRÍGUEZ, Tito. Calidad de fibra de llama descordada y clasificada. *Uso pastoril en humedales altoandinos*, 2003, vol. 93.

ROQUERO, Ana, et al. Manual de tintes de origen natural para lana. 1981.

SAFI, Mahdi; AMERI, Farhad; ANSARI, Keivan. Determination of suitable wavelengths in dye concentration estimation by spectral analysis of K/S's scalability. *Physica Scripta*, 2021, vol. 96, no 12, p. 125832.

SAMPIERI, Roberto Hernández. *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw Hill México, 2018.

SANCHEZ, Cristian. *Crianza y producción de alpacas*. Lima : Rapalma, 2004.

SOTO Benito, Sonia. *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*)*. Huancavelica : RI-UNH, 2017.



STANCIUC STANCIUC DE PALMA, Viorica. Teñido mordentado de fibras naturales con colorante extraído de las hojas de nogal (*Juglans Neotrópica*). 2020.

SUCASACA QUISPE, Alexander. Efectos del colorante natural inflorescencia de colli (*Buddleja coriacea*) en la solidez de color del teñido de fibras de alpaca, Puno 2021. 2022.

TEXTEX. 2010. TESTEX. [En línea] 2010. [Citado el: 24 de Enero de 2020.] <https://www.testextextile.com/es/solidez-del-color-tinte-de-introducci%C3%B3n-solidez-del-color-lavado/>.

WANG, Huimin; LIU, Xin; WANG, Xungai. Internal structure and pigment granules in colored alpaca fibers. *Fibers and polymers*, 2005, vol. 6, p. 263-268.

WU, Di; SUN, Da-Wen. Colour measurements by computer vision for food quality control—A review. *Trends in Food Science & Technology*, 2013, vol. 29, no 1, p. 5-20.



ANEXOS



ANEXO 1

RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Tabla 21 — Resultados de las propiedades colorimétricas con sus respectivas repeticiones

Tratamiento	Mordiente	Repetición	Propiedades colorimétricas				
			L*	a*	b*	C*	h°
T1	AL	R1	54.45	2.25	29	29.43	85.61
	AL	R2	54.84	2.27	29352	29.61	85.60
	AL	R3	56.46	2.26	28.9	28.99	85.53
T2	CO	R1	45.67	-0.17	21.22	21.22	90.46
	CO	R2	46.01	-0.29	21.43	21.43	90.78
	CO	R3	46.89	-0.39	21.98	21.98	91.02
T3	SL	R1	57.46	1.25	33.52	33.54	87.86
	SL	R2	57.68	1.22	33.7	33.72	87.93
	SL	R3	58.44	1.23	34.72	34.74	87.97

NOTA: Propiedades colorimétricas son luminosidad (L*), coordenada (a* y b*), croma c* y el ángulo de matiz (h°).

En la tabla se visualiza las nueve repeticiones en cuanto a las propiedades colorimétricas luminosidad (L*) coordenada (a* y b*). Croma (C*) y el ángulo de matiz (h°).

1. Luminosidad (L*)

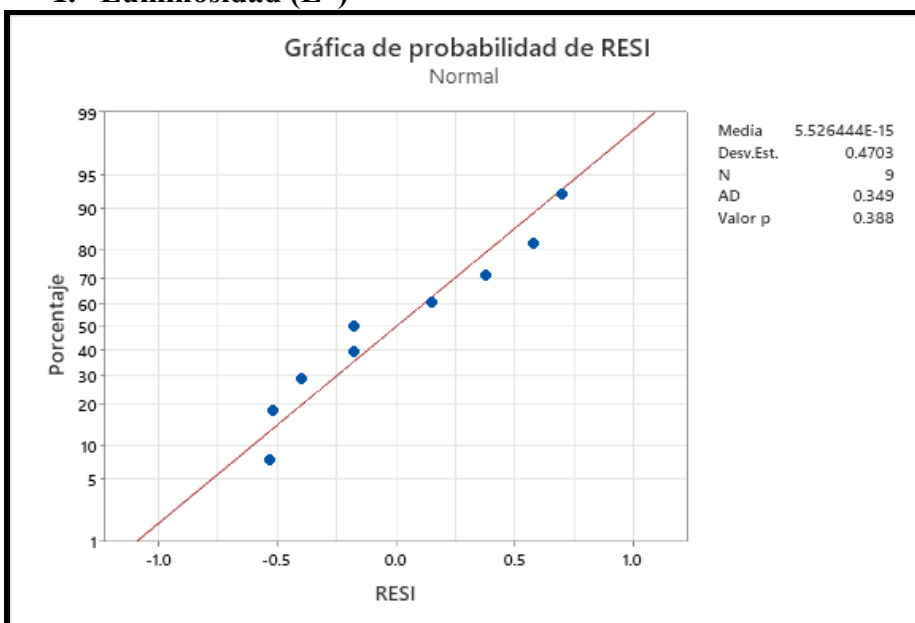


Figura 21 — Prueba de normalidad de residuos para Luminosidad (L*)

Tabla 22 — Test de Tukey para Luminosidad

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%



TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
SAL LIMON	3	57.860	A
ALUMBRE	3	51.220	B
COLLPA	3	46.190	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

2. Coordenada (a*)

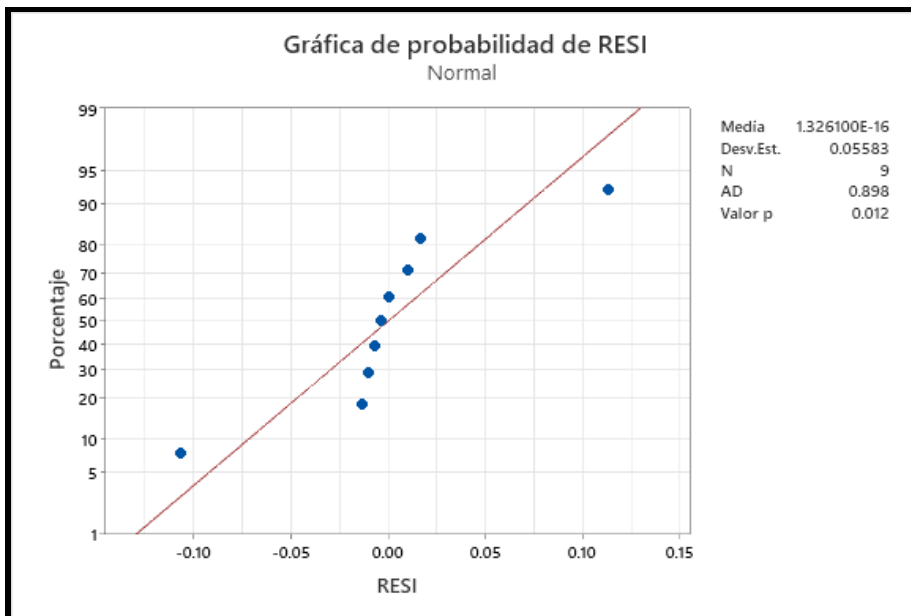


Figura 22 — Prueba de normalidad de residuos para la coordenada a*

Tabla 23 — Prueba de Kruskal-wallis para la coordenada a*

Fuente de variación	GL	Valor H	Valor P
Grupo	2	7.20	0.027

Dónde: (Gl) = Grados de libertad, Razón-H (H0) = Estadístico de prueba

- En la prueba de Kruskal-Wallis para la coordenada a* encontramos que hay diferencias importantes en los datos. Con un nivel de confianza del 95%, el Valor-p es 0.0027 que es menor a 0.05 y la Razón-H es de 7.20, lo que significa que el modelo es significativo.

3. Coordenada (b*)

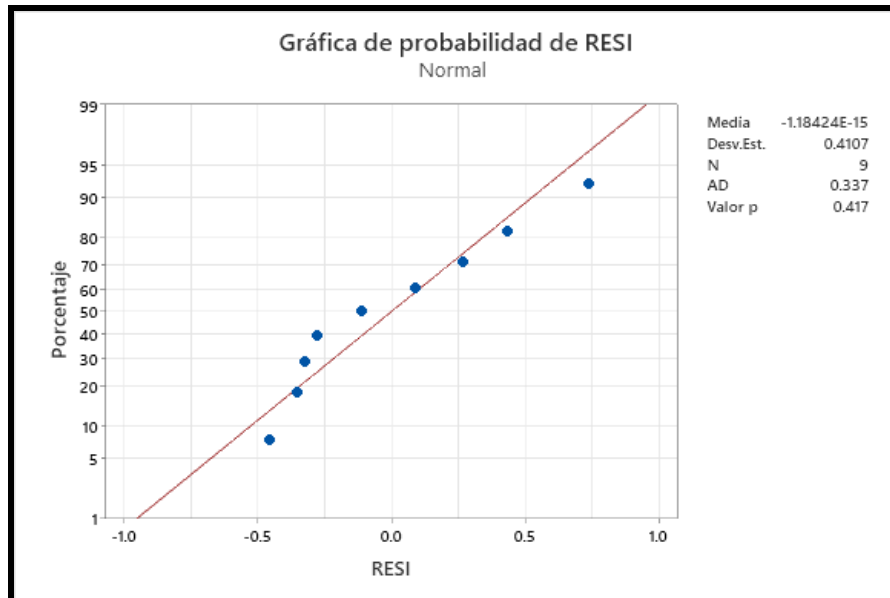


Figura 23 — Prueba de normalidad de residuos para la coordenada b*

Tabla 24 — Test de Tukey para la coordenada b*

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
SAL LIMON	3	33.980	A
ALUMBRE	3	29.253	B
COLLPA	3	21.543	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

4. Croma (C*)

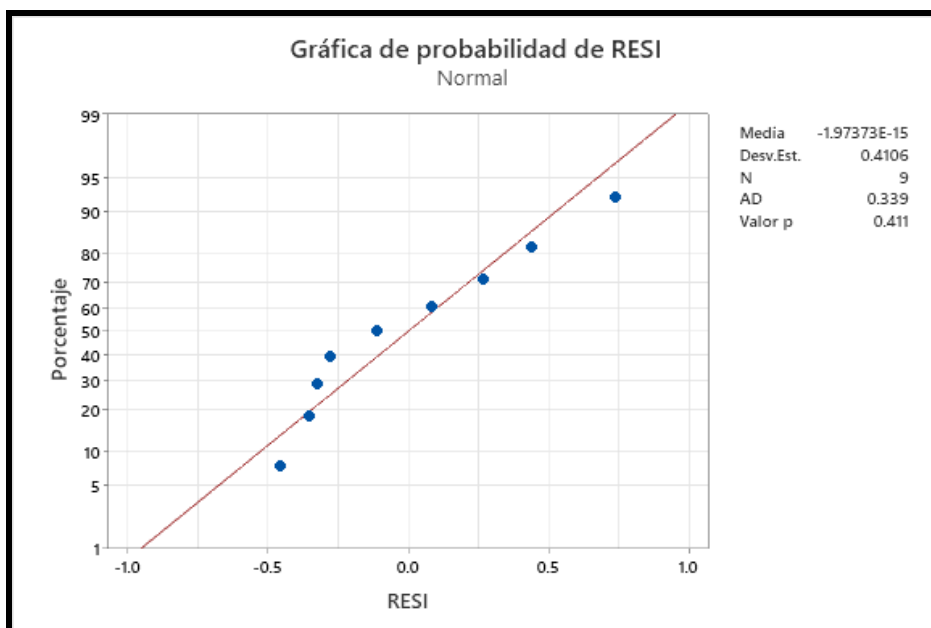


Figura 24 — Prueba de normalidad de residuos para croma C*



Tabla 25 — Test de Tukey para cromas C*

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
SAL LIMON	3	34.002	A
ALUMBRE	3	29.341	B
COLLPA	3	21.545	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

5. Tono (h°)

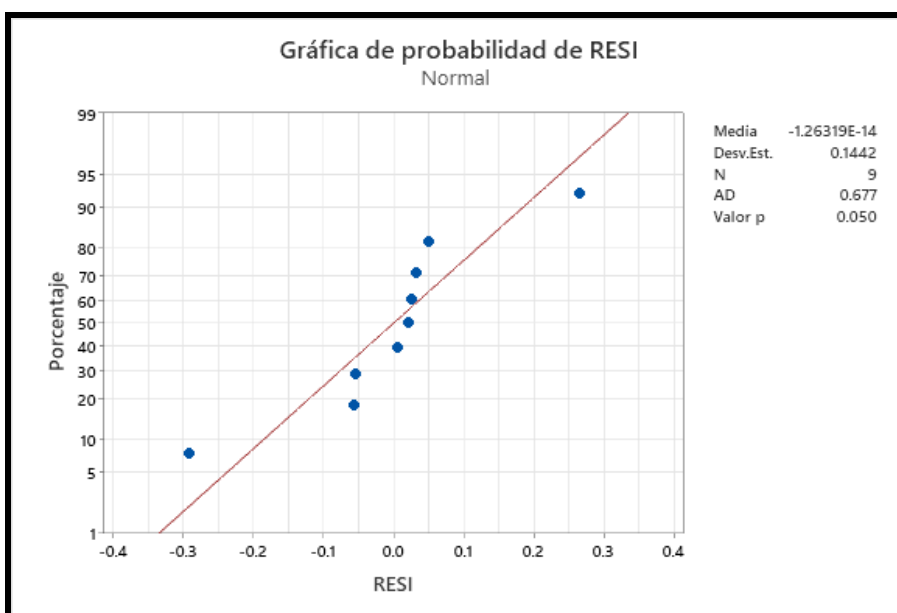


Figura 25 — Prueba de normalidad de residuos para el Tono h°

Tabla 26 — Test de Tukey para el Tono h°

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
COLLPA	3	90.750	A
SAL LIMON	3	87.9205	B
ALUMBRE	3	85.5818	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.



ANEXO 2

RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Tratamiento	Mordiente	Repetición	Propiedades colorimétricas				
			DMF µm	CV- DMF µm	FC %	IC µm	FH µm
T1	AL	R1	22.27	20.50	94.10	60.63	19.62
	AL	R2	23.53	18.40	93.53	61.33	20.73
	AL	R3	22.80	21.47	92.27	56.57	20.09
T2	CO	R1	24.13	19.23	91.27	65.83	21.26
	CO	R2	23.23	20.27	92.20	58.30	20.47
	CO	R3	21.33	21.40	95.43	63.03	18.79
T3	SL	R1	21.97	22.10	93.40	60.30	19.35
	SL	R2	23.13	21.63	91.73	61.37	20.38
	SL	R3	20.27	20.60	97.63	54.40	17.86

NOTA: Diámetro medio de fibra (DMF); Coeficiente de variación de diámetro medio de fibra (CV-DMF); Factor de confort (FC); Índice de curvatura (IC); Finura al hilado (FH).

En la tabla se visualiza las nueve observaciones en cuanto a las características textiles Diámetro medio de fibra (DMF), Coeficiente de variación de diámetro medio de fibra (CV-DMF), Factor de confort (FC), Índice de curvatura (IC), Finura al hilado (FH).

1. Diámetro medio de fibra

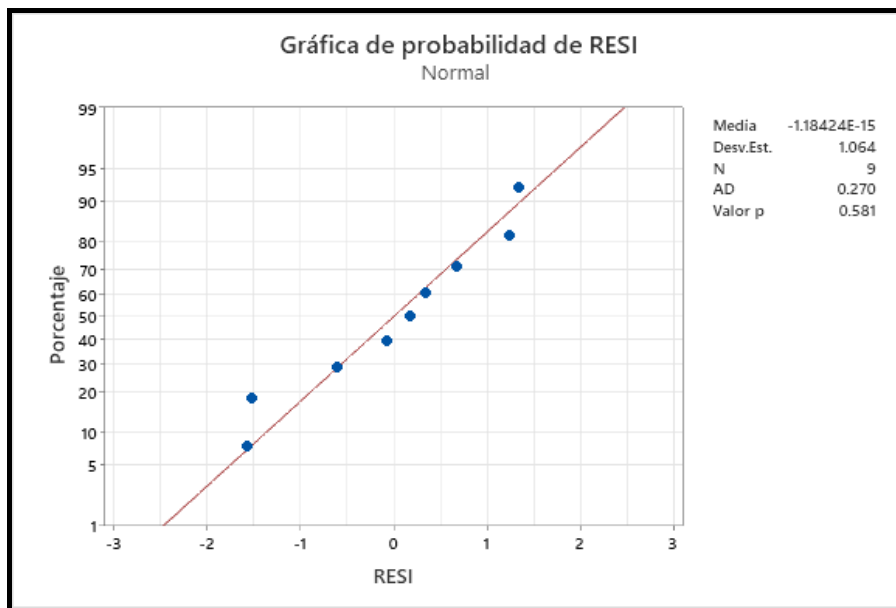


Figura 26 — Prueba de normalidad de residuos de diámetro medio de fibra (DMF)

Tabla 27 — Test de Tukey para el DMF

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
COLLPA	3	22.900	A
ALUMBRE	3	22.867	A
SAL LIMON	3	21.789	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

2. Coeficiente de Variación de Diámetro Medio de Fibra

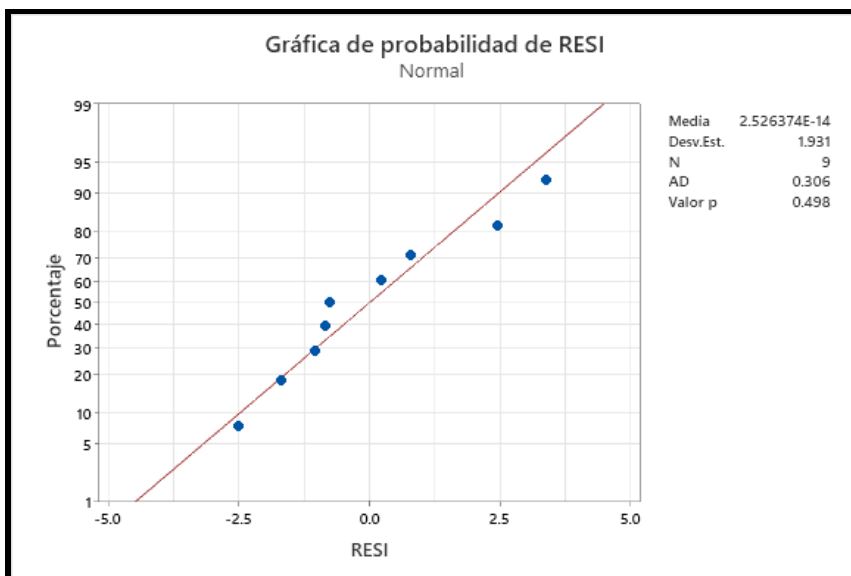


Figura 27 — Prueba de normalidad de residuos para coeficiente de variación de diámetro medio de fibra (CV-DMF)



Tabla 28 — Test de Tukey de CV-DMF

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
SAL LIMON	3	94.26	A
ALUMBRE	3	93.300	A
COLLPA	3	92.97	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

3. Factor de Confort

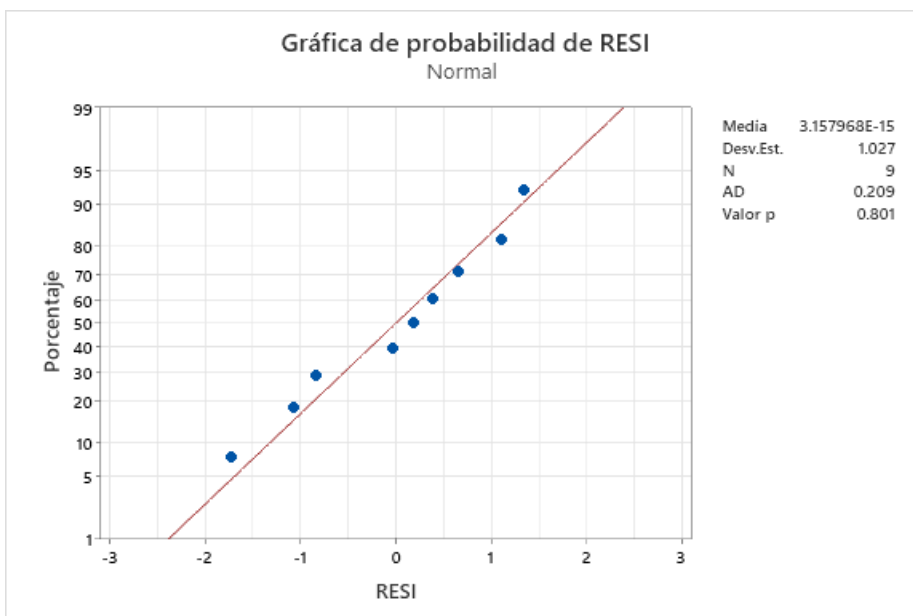


Figura 28 — Prueba de normalidad de residuos para factor de confort (FC)

Tabla 29 — Test de Tukey para FC

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
SAL LIMON	3	21.444	A
COLLPA	3	20.300	A
ALUMBRE	3	20.122	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

4. Índice de Curvatura



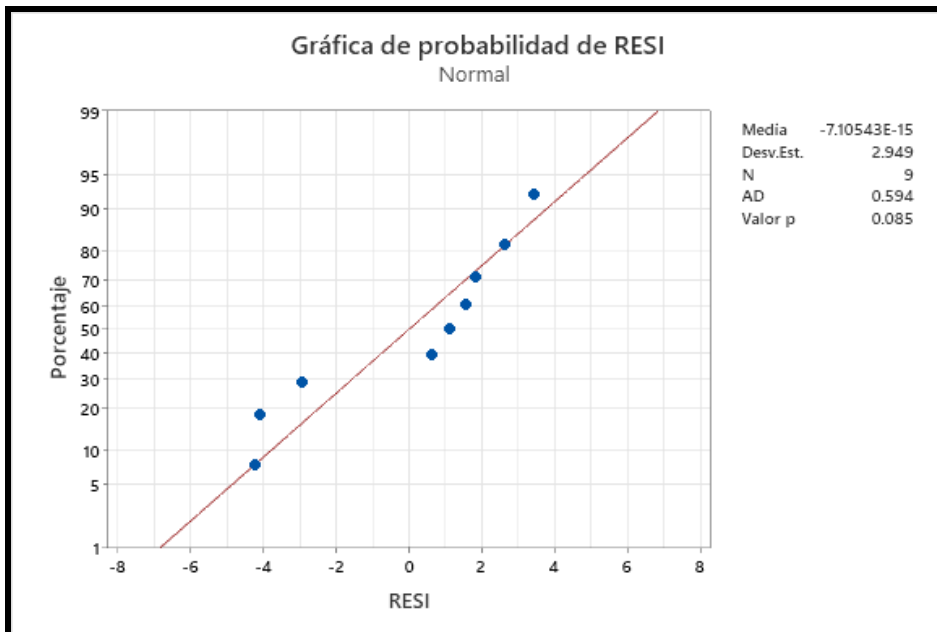


Figura 29 — Prueba de normalidad de residuos para Índice de curvatura (IC)

Tabla 30 — Test de Tukey para IC

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
COLLPA	3	62.39	A
ALUMBRE	3	59.51	A
SAL LIMON	3	58.72	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

5. Finura al Hilado

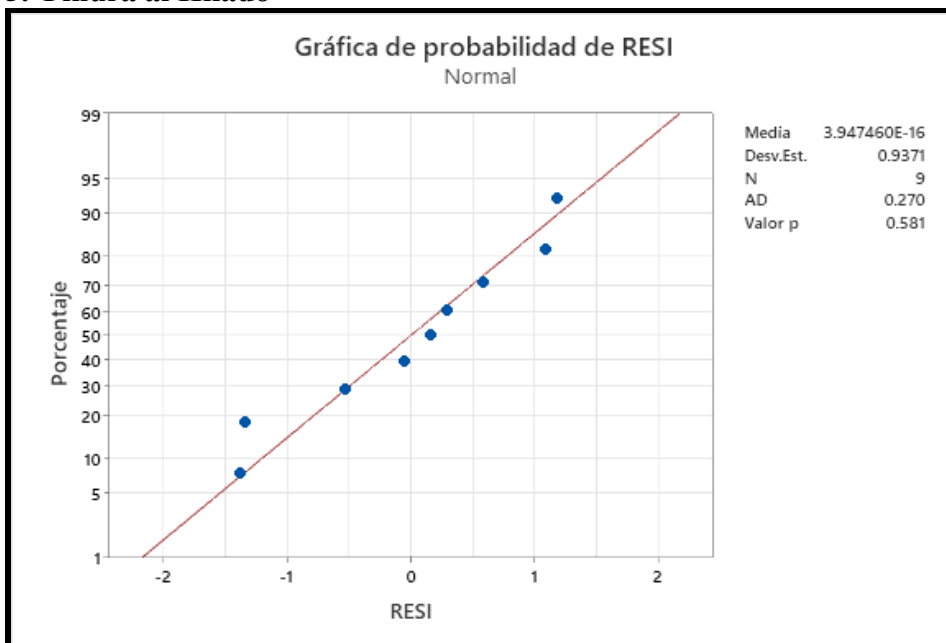


Figura 30 — Prueba de normalidad de residuos para Finura al Hilado (FH)

Tabla 31 — Test de Tukey para FH

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%



TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
COLLPA	3	20.175	A
ALUMBRE	3	20.146	A
SAL LIMON	3	19.196	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.



ANEXO 3



Figura 31 — Árbol de flores de qolle (Buddleja coriacea)



Figura 32 — Flores de qolle (Buddleja coriacea)



Figura 33 — Secado de las flores



Figura 34 — Obtención del Colorante



Figura 35 — Recolección de la fibra de alpaca de la comunidad de San Juan de Vilcarana



Figura 36 — Pesado de la fibra de alpaca



Figura 37 — Teñido de la fibra textil



Figura 38 — Pos-mordentado con alumbre, collpa y sal de limón



Figura 39 — Acondicionamiento para las pruebas