

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



Tesis

Efecto de mordientes sobre propiedades colorimétricas, solidez y grupo funcional en fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñida con nogal (*Juglans regia*)

Presentado por:

Ruth Sinai Torvisco Rios

Para optar el título de Ingeniero Agroindustrial

Abancay, Perú

2026



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



TESIS

**Efecto de mordientes sobre propiedades colorimétricas, solidez y grupo funcional en
fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñida con nogal (*Juglans regia*)**

Presentado por **Ruth Sinai Torvisco Rios**, para optar el título de Ingeniero
Agroindustrial

Sustentado y aprobado 12 de junio de 2026, ante el jurado evaluador:

Presidente:



Dr. Alex Ernesto Muñoz Cáceres

Primer miembro:



Mtro. Luis Antonio Pillaca Vilca

Segundo miembro:



Dr. Almer Ventura Román

Asesores:



Mg. Ruth Mery Ccopa Flores



Mg. Arturo Quispe Quispe



Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N°198-2026

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la tesis titulada: **Efecto de mordientes sobre propiedades colorimétricas, solidez y grupo funcional en fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñida con nogal (*Juglans regia*)**, presentado por la Bachiller: **RUTH SINAI TORVISCO RIOS**, 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 **(21%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos en el reglamento de investigación, aprobado con Resolución N°168-2024(2)-CU-UNAMBA.

Abancay, 15 de julio del 2026

Atentamente,



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA

Dr. Walquer...
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA

C. C:
Archivo/
WHCE/D-UIFI
YOVANA / SEC
REG. N°688

Agradecimiento

Agradezco grandemente a Dios por guiarme, darme soporte, fortaleza y permitirme ver uno de mis sueños hecho realidad.

A mi padre Augusto Torvisco y hermana Edith Torvisco, por su ejemplo de trabajo, responsabilidad, perseverancia, por su amor y apoyo incondicional. Gracias por enseñarme a luchar por mis metas, decirles que los amo inmensamente y ser mi fuerza e inspiración sobre la que construyo mis sueños.

A la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, por enriquecerme con sus conocimientos y brindarme muchas oportunidades. A mis asesores, Mag. Ruth Mery Ccopa Florez, y Mag. Arturo Quispe Quispe por compartir sus conocimientos, por apoyo, guía y dedicación durante todo el proceso de esta tesis.



Dedicatoria

A Dios, fuente de sabiduría y fortaleza, por haberme acompañado en cada paso de este camino académico.

A mi padre Augusto Torvisco, por su amor, sacrificio y ejemplo de perseverancia que me motiva a alcanzar este logro que es tuyo, a mi madre Santusa Rios, por su amor y enseñarme a ser fuerte ante cualquier circunstancia a no rendirme al primer intento.

A mi hermana Edith, por estar conmigo siempre alentándome en cada paso que doy, gracias por creer en tu hermanita y brindarme tu amor infinito.

A mis sobrinos Adriano y Rayzel, por ser mi motivación a ser mejor cada día, y ser la fuente de alegría de mi vida.

A Miguel Ángel Pimentel, por su amor, comprensión, motivación constante y por acompañarme con amor y serenidad en cada etapa de este camino. Gracias por creer en mí cuando más lo necesitaba y por recordarme que los sueños se alcanzan con fe y perseverancia.

A mi familia y amigos, gracias por sus palabras de aliento y apoyo constante.

“Todo lo puedo en Cristo que me fortalece”

—Filipenses 4.13



Efecto de mordientes sobre propiedades colorimétricas, solidez y grupo funcional en fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñida con nogal (*Juglans regia*)

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	4
CAPÍTULO I	5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.1 Descripción del problema	5
1.2 Enunciado del problema	6
1.2.1 Problema general	6
1.2.2 Problemas específicos	6
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	15
3.2.1 Alpaca Huacaya (<i>Vicugna pacos</i>)	15
3.2.2 Fibras naturales	16
3.2.3 Fibra de alpaca	17
3.2.4 Propiedades físicas de la fibra de alpaca Huacaya	19
3.2.5 Propiedades químicas de la fibra de alpaca Huacaya	20
3.2.6 Características del árbol de nogal	20
3.2.7 Tintes naturales	21
3.2.8 Tintes	22
3.2.9 Teñido	23



3.2.10	Parámetros que influyen en el teñido	23
3.2.11	Mordientes	23
3.2.12	Propiedades colorimétricas	24
3.2.13	Pruebas de solidez	25
3.2.14	Grupo funcional (FTIR)	27
3.3	Marco conceptual	28
CAPÍTULO IV		30
METODOLOGÍA		30
4.1	Tipo y nivel de investigación	30
4.1.1	Tipo de investigación	30
4.1.2	Nivel de investigación	30
4.2	Diseño de la investigación	30
4.3	Población y muestra	33
4.3.1	Población	33
4.3.2	Muestra	34
4.4	Procedimiento	34
4.4.1	Proceso de obtención de las hojas de nogal	34
4.4.2	Proceso de lavado de la fibra	35
4.4.3	Obtención de tinte por método convencional (maceración)	35
4.4.4	Teñido de la fibra con mordientes	36
4.5	Técnica e instrumentos	38
4.5.1	Propiedades colorimétricas	38
4.5.2	Prueba de solidez	39
4.5.3	Grupos funcionales (espectroscopia infrarroja por Transformada de Fourier)	39
4.5.4	Materiales e insumos	40
4.6	Análisis estadístico	41
CAPÍTULO V		42
RESULTADOS Y DISCUSIONES		42
5.1	Análisis de resultados	42
5.1.1	Análisis de propiedades colorimétricas de la fibra de alpaca Huacaya (<i>Vicugna pacos</i>) teñida con hojas de nogal (<i>Juglans regia</i>).	42
5.1.2	Análisis de propiedades de solidez de color de la fibra de alpaca Huacaya teñida con hojas de nogal (<i>Juglans regia</i>).	47
5.1.3	Análisis de los grupos funcionales (FTIR) de la fibra de alpaca Huacaya (<i>Vicugna pacos</i>) teñida con tinte de hojas de nogal (<i>Juglans regia</i>).	52
5.2	Contrastación de hipótesis	53
5.3	Discusión	54
CAPÍTULO VI		58

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
6.1 Conclusiones	58
6.2 Recomendaciones	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
ANEXOS	64



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 — Operacionalización de variables	9
Tabla 2 — Clasificación taxonómica	16
Tabla 3 — Composición elemental de la fibra natural proteica	17
Tabla 4 — Taxonomía de las hojas de nogal (<i>Juglans regia</i>)	20
Tabla 5 — Valoración de la solidez en las fibras	27
Tabla 6 — Región de 4000 a 1500 (<i>cm</i> – 1) (grupos funcionales)	28
Tabla 7 — Diseño estadístico de la investigación	31
Tabla 8 — Diseño para evaluar las propiedades colorimétricas en fibra de alpaca Huacaya teñido con hojas de nogal	31
Tabla 9 — Diseño para evaluar las propiedades de solidez al lavado en la fibra de alpaca Huacaya (<i>Vicugna pacos</i>) teñido con hojas de nogal (<i>Juglans regia</i>)	32
Tabla 10 — Diseño para evaluar las propiedades de solidez al frote en seco en la fibra de alpaca Huacaya (<i>Vicugna pacos</i>) teñido con hojas de noga (<i>Juglans regia</i>)	33
Tabla 11 — Parámetros de color obtenidos de la muestra de fibra teñida con tinte de hojas de nogal (<i>Juglans regia</i>)	42
Tabla 12 — Evaluación del cambio de color en solidez al lavado doméstico	48
Tabla 13 — Transferencia de color hacia fibra de algodón blanqueado (Multifibra)	49
Tabla 14 — Evaluación de la solidez al frote en seco (Escala de Grises)	51
Tabla 15 — Resultados de las propiedades colorimétricas con sus repeticiones	65
Tabla 16 — ANOVA para la luminosidad L*	66
Tabla 17 — Test Tukey para Luminosidad	66
Tabla 18 — ANOVA para la coordenada a*	67
Tabla 19 — Test de Tukey para la coordenada a*	67
Tabla 21 — Test de Tukey para la coordenada b*	68
Tabla 22 — ANOVA para Cromo C*	68
Tabla 23 — Test de Tukey para la cromina C*	69
Tabla 24 — ANOVA para el ángulo de matiz h°	69
Tabla 25 — Test de Tukey para el ángulo de matiz h°- factor mordiente	69
Tabla 27 — Resultados de prueba de solidez al lavado	71
Tabla 28 — Resultados de prueba de solidez al frote en seco	73

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 — Alpaca Huacaya (<i>Vicugna pacos</i>)	16
Figura 2 — Estructura de la fibra de alpaca	18
Figura 3 — Árbol de nogal (<i>Juglans regia</i>)	21
Figura 4 — Estructura química del colorante natural de color café	22
Figura 5 — Diagrama de espacios de color L, a* y b*	24
Figura 6 — Escala de grises para evaluar el cambio de color	26
Figura 7 — Escala de grises para evaluar la transferencia de color	26
Figura 8 — Diagrama de flujo del teñido de la fibra de alpaca Huacaya (<i>Vicugna pacos</i>) con hojas de nogal (<i>Juglans regia</i>)	37
Figura 9 — Diagrama de luminosidad (L*)	43
Figura 10 — Diagrama de la coordenada a*	44
Figura 11 — Diagrama de la coordenada b*	45
Figura 12 — Diagrama de la croma (C*)	45
Figura 13 — Diagrama del ángulo de matiz (h°)- factor mordiente	46
Figura 14 — Diagrama del ángulo de matiz (h°)- factor tinte	47
Figura 15 — Resultados visuales de solidez al lavado por tratamiento	49
Figura 16 — Resultados visuales de solidez al lavado por tratamiento	50
Figura 17 — Comportamiento de la solidez al frote en seco por tratamiento	51
Figura 18 — Espectros obtenidos por FTIR en los 12 tratamientos	52
Figura 19 — Apariencia del hilado después del proceso de lavado	72
Figura 20 — Recolección	75
Figura 21 — Secado	75
Figura 22 — Alumbre	76
Figura 23 — Sal de limón	76
Figura 24 — Collpa	76
Figura 25 — Pesado de mordientes 1 g de cada uno, 12 tratamientos*3=36	76
Figura 26 — Limpieza preliminar	77
Figura 27 — Cardado	77
Figura 28 — Hilado de fibra	77
Figura 29 — Pesado 4g c/u por 36 T	77
Figura 30 — Fibra 4 g c/u	78

Figura 31 — Bicarbonato, shampoo	78
Figura 32 — Midiendo la T a 30°C	78
Figura 33 — Lavado	79
Figura 34 — Enjugado	79
Figura 35 — Secado	79
Figura 36 — Pesado de hojas de nogal (20, 30 y 40 g)	80
Figura 37 — Extracción de tinte de hojas de nogal	80
Figura 38 — Maceración	80
Figura 39 — Tinte extraído	80
Figura 40 — Mordentado de fibras hiladas	81
Figura 41 — Tinte extraído	81
Figura 42 — Teñido	81
Figura 43 — Fibra teñida	82
Figura 44 — Lavado	82
Figura 45 — Secado	82
Figura 46 — Tejido	83
Figura 47 — Colorímetro	83
Figura 48 — Sin mordiente + nogal	83
Figura 49 — Collpa + nogal	84
Figura 50 — Alumbre + nogal	84
Figura 51 — Sal de limón + nogal	84

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria textil experimenta un desarrollo constante, evidenciando un incremento simultáneo de su producción y de su productividad en los distintos sectores que la conforman. No obstante, este progreso ha conllevado la progresiva desaparición de diversas técnicas y materias primas de carácter tradicional, las cuales han sido reemplazadas por procesos industrializados que requieren un mayor uso de fibras sintéticas y colorantes artificiales.

El empleo de sustancias químicas artificiales ha generado impactos adversos tanto en el medio ambiente como en la salud humana, esta problemática ha impulsado a productores y consumidores a reconsiderar y retomar métodos de producción ecológicos que no ocasionen perjuicios. Desde tiempos ancestrales se han utilizado tintes y pigmentos naturales extraídos de diferentes partes de las plantas. Entre ellos, el color marrón destacó por su amplio uso en la elaboración de ponchos, frazadas, mantas y otros tejidos, debido a la diversidad de tonalidades e intensidades obtenidas mediante la aplicación de distintos mordientes naturales. Dicho color se alcanzaba a partir de la fruta, los tallos o las hojas del nogal.

Los pigmentos extraídos de fuentes naturales, es una opción para el teñido de sustratos textiles, por lo que existe una amplia gama de tonalidades para su ampliación en el proceso de teñido, obteniendo buenas solidez de color y logrando productos con etiqueta verde, con ello se está ayudando a reducir la contaminación ambiental porque pueden degradarse fácilmente al momento de realizar el desagüe de los baños utilizados en la tintura (OBANDO, 2013).

En este contexto, el estudio titulado “Efecto de mordientes sobre propiedades colorimétricas, solidez y grupo funcional en fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñida con nogal (*Juglans regia*)” tuvo como propósito analizar la relación entre las variables involucradas en las técnicas de teñido tradicional, así como las múltiples tonalidades que pueden obtenerse mediante el uso de hojas de nogal (*Juglans regia*). El objetivo principal consistió en evaluar el efecto de diversos mordientes sobre las propiedades colorimétricas, solidez y grupo funcional en fibras de alpaca (*Vicugna pacos*) teñidas con nogal (*Juglans regia*).



RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de los mordientes sobre las propiedades funcionales, colorimétricas y solidez del color en la fibra de alpaca Huacaya (*Vicugna pacos*) teñida con tinte de hojas de nogal (*Juglans regia*). El estudio se desarrolló bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con arreglo factorial A*B. El tinte de nogal a base de hojas secas se obtuvo por cocción a una temperatura de 85°C por un tiempo de 50 minutos y posteriormente llevado a maceración durante 24 horas. El proceso de teñido se realizó a 85°C por 50 minutos empleando concentraciones de 20, 30 y 40 g de tinte, con fibra pre-mordentada con collpa, alumbre y sal de limón (1g cada uno de los mordientes). Determinando las propiedades colorimétricas, en la escala del sistema CIELab en las coordenadas (L*, a*, b*, C* y h°), la solidez del color mediante la escala de grises (1-5) y el grupo funcional (espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR)) expresado en Numero de onda (cm^{-1}).

Los resultados del análisis de las propiedades colorimétricas, el T6 (fibra teñida con tinte de nogal, pre-mordentada con collpa (1 g)) presentó mayores valores de luminosidad (L*: 61.43) y croma (C*: 55.04) con una tendencia a tonalidades intermedias claras con una mayor saturación, mientras que el T10 (fibra teñida con tinte de nogal, pre mordentado con sal de limón (1g)) registró valores menores (L*: 56.38) y croma (C*: 47.31) con una tonalidades intermedia claros y saturación intermedia, en cuanto a la solidez del color al lavado, el T2 (fibra 4g teñida nogal con 30g de nogal sin mordiente) presentó mejor solidez al lavado 4/5 con un cambio ligero en el color, y T10 (fibra teñida con tinte de nogal, pre mordentada con sal de limón 1g) mostro un cambio notable, mientras que la prueba de solidez al frote en seco donde el T3(fibra teñido con tinte de nogal, sin mordiente) y T12 (fibra teñido con tinte de nogal, pre mordentado con sal de limón 1g) se obtuvo resultados con una valoración 2-3/5, todo lo contrario los demás tratamientos evidenciando un manchado considerable y los grupos funcionales (FTIR), se evidenció en los tratamientos teñidas sin mordiente presentaron una mayor longitud de onda en la banda de 3275 cm^{-1} que los tratamientos teñidas con mordiente.



Se concluye que los mordientes influyen significativamente en la fijación del tinte y en la variación tonal, confirmando el potencial del extracto de hojas de nogal (*Juglans regia*) como alternativa sostenible para el teñido de fibra de alpaca (*Vicugna pacos*).

Palabras clave: Alpaca Huacaya, tinte de nogal, mordiente, solidez de color.



ABSTRACT

This research aimed to evaluate the effect of mordants on the functional, colorimetric, and colorfast properties of Huacaya alpaca (*Vicugna pacos*) fiber dyed with walnut (*Juglans regia*) leaf dye. The study was conducted using a completely randomized block design (CRBD) with an A*B factorial arrangement. The walnut dye, made from dried leaves, was obtained by boiling at 85°C for 50 minutes and then macerating for 24 hours. The dyeing process was carried out at 85°C for 50 minutes using concentrations of 20, 30, and 40 g of dye, with fiber pre-mordanted with collpa, alum, and lemon salt (1 g of each mordant). Determining the colorimetric properties, on the CIELab scale using the coordinates (L*, a*, b*, C*, and h°), the color fastness using the grayscale (1-5), and the functional group (Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy) expressed as wavenumber (cm⁻¹).

The results of the colorimetric properties analysis showed that T6 (fiber dyed with walnut dye, pre-mordanted with collpa (1 g)) presented higher values of lightness (L*: 61.43) and chroma (C*: 55.04) with a tendency towards light intermediate tones with greater saturation, while T10 (fiber dyed with walnut dye, pre-mordanted with lemon salt (1 g)) registered lower values (L*: 56.38) and chroma (C*: 47.31) with light intermediate tones and intermediate saturation. Regarding color fastness to washing, T2 (4 g fiber dyed walnut with 30 g of walnut without mordant) presented better wash fastness 4/5 with a slight change in color, and T10 (fiber dyed with walnut dye, pre-mordanted with lemon salt) showed lower values. The treatment with 1g of lemon salt showed a notable change, while the dry rub fastness test, where T3 (fiber dyed with walnut dye, without mordant) and T12 (fiber dyed with walnut dye, pre-mordanted with 1g of lemon salt), yielded results with a rating of 2-3/5, in contrast to the other treatments, which showed considerable staining. The functional groups (FTIR) were also observed in the treatments dyed without mordant, which exhibited a longer wavelength in the 3275 cm⁻¹ band than the treatments dyed with mordant.

It is concluded that mordants significantly influence dye fixation and tonal variation, confirming the potential of walnut leaf extract (*Juglans regia*) as a sustainable alternative for dyeing alpaca fiber (*Vicugna pacos*).

Keywords: *Huacaya alpaca, walnut dye, mordant, color fastnes.*



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

En la actualidad, el interés por la protección y conservación del medio ambiente ha impulsado la búsqueda de alternativas sostenibles, entre ellas el desarrollo de tecnologías limpias que permitan disminuir el impacto ambiental. En este contexto, el empleo de insumos de origen natural ha adquirido una creciente relevancia. En los valles interandinos del país se encuentran diversas especies vegetales con múltiples propiedades que, en muchos casos, no son plenamente aprovechadas. Tal es el caso del nogal (*Juglans regia*), una planta reconocida principalmente por el valor de su madera, mientras que sus cualidades tintóreas (corteza, hojas y fruto) permanecen escasamente utilizadas en la actualidad, a partir de los cuales se obtienen principalmente tonalidades marrones (LUNA CHAVEZ, 2013).

Las hojas del nogal (*Juglans regia*) pueden emplearse como materia prima para la extracción de colorantes naturales, los cuales resultan aptos para el teñido de fibras textiles como la alpaca, el ovino y el algodón. Esta práctica no solo amplía el aprovechamiento de los recursos vegetales locales, sino que también contribuye a la revalorización de conocimientos y técnicas tradicionales que, con el tiempo, se han ido perdiendo debido a la limitada transmisión intergeneracional y a la falta de registros documentados.

Por otra parte, la fibra de alpaca Huacaya (*Vicugna pacos*) es ampliamente reconocida por su durabilidad, alta calidad, diversidad de tonalidades naturales y sostenibilidad en comparación con otras fibras de origen animal. En diversas comunidades de bajos recursos, ubicadas en zonas donde crecen estas especies vegetales y se desarrolla la crianza de camélidos sudamericanos, la fibra de alpaca Huacaya (*Vicugna pacos*) constituye una importante materia prima textil que puede ser teñida con colorantes naturales extraídos del nogal (*Juglans regia*), generando una alternativa productiva con potencial para fortalecer el desarrollo económico local y regional.



No obstante, a pesar del potencial de los colorantes naturales y de la fibra de alpaca, existe una limitada información científica sobre el efecto de los distintos mordientes en las propiedades colorimétricas, solidez y grupo funcional en la fibra de alpaca Huacaya (*Vicugna pacos*) teñida con extractos de hojas de nogal (*Juglans regia*). Esta carencia de estudios técnicos dificulta la optimización de los procesos de teñido y la mejora de la calidad del color obtenido.

En este sentido, la presente investigación busca evaluar el uso de diferentes mordientes en el teñido de la fibra de alpaca Huacaya (*Vicugna pacos*) con colorante natural extraído de las hojas de nogal (*Juglans regia*), como una alternativa sostenible al uso de colorantes sintéticos, orientada a mejorar las propiedades de la fibra de alpaca Huacaya (*Vicugna pacos*) y a generar una gama de colores de adecuada calidad.

1.2 Enunciado del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuál será el efecto de los mordientes sobre las propiedades colorimétricas, solidez y grupo funcional en fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñida con nogal (*Juglans regia*)?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál será el efecto de los mordientes sobre las propiedades colorimétricas en fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñida con nogal (*Juglans regia*)?
- ¿Cuál será el efecto de los mordientes sobre la solidez en fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñida con nogal (*Juglans regia*)?
- ¿Cuál será el efecto de los mordientes sobre el grupo funcional en fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñida con nogal (*Juglans regia*)?

1.3 Justificación de la investigación

La presente investigación es de suma importancia para la industria textil tanto como para el medio ambiente, ya que los resultados pueden mitigar el impacto negativo que se va generando en el medio ambiente por el uso de colorantes sintéticos en los procesos textiles y artesanales. Estos colorantes generan efluentes textiles que son fuentes de contaminación del recurso hídrico por ende el suelo por una degeneración ecológica. Por lo cual, este



estudio busca ofrecer una alternativa más sostenible que reduzca el impacto ambiental y promover prácticas en la industria.

- **Sostenibilidad ambiental:** Estos tintes naturales se descomponen con gran facilidad en el entorno y es segura con el medio ambiente a diferencia de los tintes sintéticos que son difíciles de degradar, por ende promover tintes vegetales biodegradables en este caso el nogal representa una mejor alternativa sostenible menos agresiva.
- **Salud y seguridad:** Estos tintes naturales no tienen componentes tóxicos, lo que reduce la posibilidad de provocar perjuicios hacia la salud.
- **Conservación cultural:** La aplicación de tintes naturales garantiza la persistencia de las tradiciones de cómo obtener el tinte y de cómo teñir la fibra, y sean transmitidos de generación en generación.

Al obtener el tinte de hojas de nogal y los mordientes como opciones factibles, la cual esto podría dar una solución sin dañar al medio ambiente y además pueda generar ventajas económicas y sociales para incrementar y dar durabilidad de color en textiles.

Los resultados de este estudio contribuirá en el conocimiento científico y técnico en el teñido natural, prometiendo una base sólida para próximas investigaciones, mejorar las propiedades colorimétricas, solidez y grupo funcional con métodos ecológicos podrían cambiar la sostenibilidad ambiental, donde se reducirían el uso de productos químicos y así se pueda disminuir la contaminación del agua y suelo, dándonos productos de calidad con diferentes tonalidades, más duraderos y así poder impulsar la innovación en la industria textil.



CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de mordientes sobre las propiedades colorimétricas, solidez y grupo funcional en la fibra de Alpaca (*Vicugna pacos*) teñida con nogal (*Juglans regia*).

2.1.2 Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de mordientes sobre las propiedades colorimétricas en fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñida con nogal (*Juglans regia*).
- Evaluar el efecto de mordientes sobre la solidez en fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñida con nogal (*Juglans regia*).
- Evaluar el efecto de mordientes sobre el grupo funcional en la fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñida con nogal (*Juglans regia*).

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.1 Hipótesis general

El Efecto de mordientes influirá sobre propiedades colorimétricas solidez y grupo funcional en fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñida con nogal (*Juglans regia*).

2.2.2 Hipótesis específicas

- El Efecto de mordientes influirá sobre propiedades colorimétricas en fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñida con nogal (*Juglans regia*).
- El Efecto de mordientes influirá sobre la solidez en fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñida con nogal (*Juglans regia*).



- El Efecto de mordientes influirá sobre el grupo funcional en fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñida con nogal (*Juglans regia*).

2.3 Operacionalización de variables

En la siguiente tabla 1, se representa la Operacionalización de variables

Tabla 1 — Operacionalización de variables

Variables	Mediciones	Indicadores	Índice
Variables independientes	Tipos de mordientes	• Collpa • Alumbre • Sal de limón	Gramos (g)
	Cantidad de tinte de hojas de nogal	• 20 • 30 • 40	Gramos (g)
Variables dependientes	Propiedades colorimétricas	Parámetros colorimétricos L*, a*, b*, C* y h°	• Adimensional • Grados(°)
	Solidez	• Solidez al lavado • Solidez al frote	Escala de grises (1-5)
	Grupo funcional	Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)	Numero de onda (cm^{-1})

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

- a) Pinche Gonzales (2025), en su estudio *“Evaluación colorimétrica, solidez y características textiles del hilo de fibra de alpaca teñido con flores de qolle (Buddleja coriácea) utilizando diferentes mordientes”* donde su método de teñido fue de manera directa introduciendo agua destilada 250ml, flores de qolle 8 g e hilo alpaca 5 g a parámetros constantes de temperatura, tiempo y cantidad de colorante para cada repetición. Posteriormente hizo 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.
- b) Huamani Navarro (2024), en su investigación *“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)”*, donde requirió utilizar 250 ml de agua destilada con tinte de cochinilla a diferentes concentraciones (2, 4, 6 y 10) gramos a 85°C por un tiempo de 5 minutos. Para obtener sus resultados de propiedades colorimétricas con la escala CIELab en las coordenadas L*, a*, b*, C* y °h, características textiles, bandas químicas con la ayuda de la espectroscopia FT-IR, y la solidez de color con la escala de grises, donde obtuvo como resultado de propiedades colorimétricas en la fibra teñida con tinte de cochinilla fue el T11(6 g de tinte de cochinilla con mordiente collpa) el cual presento mejor teñido, con respecto a las características textiles se determinó que el T16(10g de tinte con sal de limón) presento una mejor calidad de fibra y para las bandas químicas



el T2 (tinte de cochinilla sin mordiente) presenta mayor intensidad en el espectro con respecto a los picos y con una longitud de onda de 3288cm^{-1} y solidez de color obtuvo un mejor resultado con una puntuación de 5 con el T10(4g de tinte de cochinilla con collpa) y solides al lavado, frote y húmedo se obtuvo mejor el T15(6g de tinte de cochinilla con sal de limón).

- 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 collí (Buddleja coriácea)*”, lo 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 collí (Buddleja coriácea), donde tuvo la metodología de extraer el colorante usando agua potable a temperatura de ebullición, posterior teñido mediante inmersión del hilo en 160 ml de extracto y finalmente se realizó un post- mordentado con mordientes (collpa, alumbre y sal de limón), dando como resultados de que los hilos teñidos con collí posterior post-mordentado el cual incrementan significativamente el diámetro observando el mayor cambio el tratamiento teñido con flores de collí más un post- mordentado con sal de limón ($30.09\text{ }\mu\text{m}$), donde 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 collí incremento en $0.44\text{ }\mu\text{m}$; mordentado con collpa en $2.78\text{ }\mu\text{m}$; alumbre en $3.31\text{ }\mu\text{m}$ y sal de limón en $3.51\text{ }\mu\text{m}$ comparado con el hilo blanco.
- d) Guerra *et al.* (2022), en su investigación “*Tinturado de la fibra de alpaca utilizando diferentes partes de la planta del nogal (corteza, hojas y fruto)*”, tuvo como objetivo tinturar la fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) con diferentes partes del nogal (*Juglans neotrópica*), se realizó en el laboratorio de fibras agroindustriales de la escuela superior politécnica del Chimborazo. Las unidades experimentales fueron de 3 tratamientos T1= Tinturado a base de corteza de nogal + piedra de alumbre, T2= Tinturado a base de hojas de nogal + piedra de alumbre, T= Tinturado a base de fruto de nogal + piedra de alumbre, con 5 repeticiones por cada muestra, estuvo por ovillos de 50 g, dando un total de 750 g de la fibra de alpaca y se utilizó un diseño completamente al azar. Las variables evaluadas fueron índice de refracción, pH, resistencia a la tensión mediante Newton por centímetro cuadrado(N/cm²), porcentaje de elongación, solidez a la luz (escala de



grises). Resultados obtenidos reportan valores más altos de refracción con 3° Brix, un pH 4.40, resistencia a la tensión 20036,32 N/cm², porcentaje de elongación 33,08% y solidez a la luz no existió decoloración.

- e) Sucasaca *et al.* (2021), en su estudio “*Teñido de hilado de alpaca utilizando pigmento extraído de la col morada (Brassica oleracea var. Capitata f. rubra)*”. Tuvo como propósito realizar el proceso de teñido de hilado de alpaca con pigmento extraído de la col morada, con la finalidad de obtener hilados teñidos de diferentes tonalidades cromáticas con buenas solidez de color. Para ello, desarrollo la extracción del pigmento mediante el método tradicional de infusión con agua como disolvente y con el pigmento ya extraído realizó el teñido del hilo de alpaca utilizando diferentes mordientes: ácido cítrico, sulfato de hierro, alumbre y sulfato de aluminio, evaluando la solidez del color a la luz solar. Obtuvo como resultado de la evaluación de solidez de las madejas con valores de 3 a 4.5 usando los mordientes mencionados, pero con el mordiente sulfato de aluminio hubo menor pérdida de color al momento del enjuague. En el cual concluye que, con el mordiente sulfato de aluminio, se obtiene una mejor afinidad al pigmento de col morada para lograr tonos azules. Además, este estudio de teñido de hilo de alpaca indica que el pigmento extraído de la col morada puede lograr tintes en gamas de colores: azul, rosado, verde y beige.
- f) Carrasco *et al.* (2021) en su investigación “*Estudio preliminar de teñido de fibra de alpaca utilizando extracto acuoso de molle (Schinus molle) como pigmento natural*”. El teñido de prendas con pigmentos naturales es una alternativa al uso de colorantes químicos que a menudo resultan tóxicos para el medio ambiente y la salud humana. El objetivo del estudio fue realizar el proceso de teñido de fibra de alpaca con pigmento natural proveniente de molle fresco y seco. Para este propósito, se llevó a cabo la extracción acuosa presurizada del pigmento de molle, midiendo el color (L*, a* y b*), el pH, los sólidos totales y evaluando la estabilidad del extracto durante el almacenamiento. El agua se evaporó parcialmente y el extracto concentrado se empleó para teñir la fibra de alpaca utilizando los siguientes mordientes: ácido cítrico, sulfato de cobre, sulfato ferroso, sulfato de aluminio, bitartrato de potasio y sulfato de amonio. Se evaluó la intensidad del color, así como la solidez del mismo al frote y al lavado. Los resultados indicaron que la mejor condición de almacenamiento del extracto fue a 5 °C en la oscuridad, y que la evaluación de la solidez del color al frote y al lavado en las madejas mostró valores de 4-5 con los mordientes mencionados, aunque con ácido



cítrico se requirieron menos enjuagues. Se concluye que el ácido cítrico fue el mordiente con mayor afinidad al pigmento de molle y que, para el teñido de fibra de alpaca, fueron satisfactorios 21 ml y 4 ml de extracto concentrado de molle fresco y seco, respectivamente.

- g) Luna Chávez *et al.* (2020), en su investigación “*Comportamiento del colorante de las hojas del nogal (Junglans neotrópica Diels) durante el teñido de fibras de lana respecto a la temperatura de teñido y tiempo de pos cosecha*”, tuvo como objetivo de evaluar el comportamiento del colorante de las hojas de nogal durante el teñido de fibras de lana con respecto a la temperatura, tiempo de teñido y tiempo de pos cosecha de las hojas. Tiñeron muestras de 1 g de lana con colorante extraído de las hojas de nogal en relación de baño de 1:100. Las corridas experimentales tuvieron como variables independientes la temperatura de teñido (40, 60, 80 y 100°C), el tiempo de teñido (5, 10, 15, 20, 25 y 30 minutos) y el tiempo de pos cosecha de las hojas de nogal (1, 2, 3 y 4 semanas). El colorante se extrajo con agua a ebullición hasta una relación de 100 g hojas: 1 L de agua.
- h) Stanciuc De Palma (2020), en su investigación “*Teñido mordentado de fibras naturales con colorante extraído de las hojas de nogal (Juglans neotrópica)*”, utilizó lana de oveja en forma de fibra e hilado artesanalmente de color natural blanco crema sin tratamiento previo, hojas frescas de nogal, paso I preparación previa de la lana, II preparación de soluciones de mordentado, III extracción del colorante en agua a ebullición, IV mordentado de la lana y teñido de la lana mordentado, V lavado y VI secado. Los parámetros del teñido que obtuvo mejores colores es a 30 minutos y temperatura de 100°C. La preparación de la solución de colorante se hizo en base a la cantidad de peso e hojas de nogal, así como la base al tiempo de teñido considerando un tiempo de 60 minutos. Las muestras teñidas, una vez lavadas y secadas han sido fotografiadas y analizadas visualmente con el uso del espectrofotómetro de tipo Data color. Los resultados obtenidos indica que al usar sales mordientes como alumbre, sulfato cuprúprico y bicromato de potasio dan tonos de matiz amarillo.
- i) Arroyo *et al.* (2017), en su estudio titulado “*Teñidos de fibras naturales (lana y algodón) con tintes naturales*”, el objetivo de este estudio fue realizar pruebas de teñido de fibras naturales (lana y algodón) con colorantes naturales (cebolla, girasol, cacao y la grana cochinilla) y medir el color de cada una de las fibras teñidas. Utilizaron el método de coloración por pre- mordentado, además utilizaron diversas concentraciones



del extracto del tinte (50, 75 y 100%) en relación al peso de la fibra. Para conseguir datos, se determinó el color de las fibras coloreadas utilizando un colorímetro CR 400 HEAD, utilizando la escala CIEL*ab en las coordenadas L*:20.23, a*: 43.81 y b*: 4.51, como resultado se observaron variaciones de color en la lana y algodón teñidos con la grana cochinilla tonos rojizos, con valores ideales, debido a distintas concentraciones de los extractos empleados.

- j) Mendoza Huamani (2018), en su investigación “*Evaluación del tipo y cantidad de mordientes en la intensidad de color y solidez al lavado del teñido de fibra de alpaca (Vicugna pacos) con aliso (Alnus acuminata H.B.K)*”. Esta investigación busca medir como la cantidad y tipo de producto usado para fijar el color y solidez al lavado del teñido de la fibra con aliso. Se extrajo un colorante de la corteza del aliso, se preparó la fibra y se tiño con el tinte obtenido. Se usó 500ml de tinte y 5 g de fibra de alpaca Baby y se probaron diferentes cantidades de alumbre y bicarbonato de sodio (2 y 4 g) para fijar esta. Donde hay un efecto significativo ($p < 0.05$) del tipo (a) y cantidad de mordiente (b), así como la interacción (A*B). Según el tratamiento A2T1 (2g/500mL de alumbre), al usar esta cantidad de mordiente hace que el producto sea de muy buena calidad, con los siguientes valores: L*=81.45; a*=5.98; b*= 40.33; C*=28.65; H*=83.43 y buena resistencia al lavado. El trabajo de investigación mostro que teñir fibras de alpaca con aliso las hace muy resistentes al lavado, obteniendo un grado 4 en solidez al lavado.
- k) Hoyos Mallqui (2016), en su estudio “*Evaluación de frutos de mío- mío (Coriaria ruscifolia) a distintos mordientes y parámetros de teñido en fibra de alpaca (Lama pacos)*”. El cual tuvo como objetivo de evaluar los frutos de mío- mío a distintos mordientes y parámetros de teñido en fibra de alpaca, este estudio fueron evaluado en laboratorio, del cual se evaluó un 83.33% de H y pruebas fitoquímicas, donde estos observaron que los frutos tienen flavonoides de tipo flavonas, auronas y chalconas; taninos de clase pirogalotánicos este indica que tiene propiedades tintóreas. Para comprobar lo dicho realizó pruebas de teñido en fibra de alpaca con el colorante extraído de frutos de mío- mío, para la cual la fibra se pre-mordentó con mordientes ácido sulfúrico a 0.02 N y alumbre, fue teñido a un pH de 3.5 y 4.5 a temperatura de 80-90°C. posterior se realizó pruebas de solidez a la luz, lavado y frote. Obteniendo como resultado una fibra teñida con frutos de mío –mío que presenta una buena solidez a la luz y lavado, fue la fibra pre mordentada con ácido sulfúrico a 0.02 N teñido a pH 3.5 a



90°C, sin embargo la fibra teñida con mejor solides al frote fue la pre mordentada con alumbre y teñido a pH 3.5 y a 90°C.

- l) Luna Chávez, *et. al.* (2015), en su investigación “*Influencia de la temperatura en el tratamiento de fibras proteicas (queratina) con hojas de nogal*”. Se utilizó como materia prima lana de oveja esta investigación consistió en cinco corridas experimentales en tres etapas: tratamiento previo de la lana, extracción del colorante en agua a ebullición y teñido por agitación con la solución de colorante extraído. A temperaturas de 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, y 100°C. las muestras teñidas ya secas fueron fotografiadas para la carta de colores donde hay la variación del color con la temperatura varían en intensidad y tonalidad en cuanto a la evaluación visual indica que a temperatura menores de 60°C da tonalidades marrón amarillento mientras mayores a 70 °C tienen a marrón rojizos. El análisis de la hipótesis reveló una correlación positiva muy significativa entre variables en investigación.
- m) Luna Chávez (2013), en su investigación “*Teñido de fibras proteicas (queratina) con hojas de nogal, en frio*”. Trata de rescatar una técnica que utiliza las hojas de nogal para teñir a la lana por maceración en agua y ebullición, pero a diferencia de esta, se plantea realizarlo en frio, tratando de incorporar productos auxiliares y reactivos utilizando a nivel industrial y estudiando la influencia que el tiempo pueda tener en la misma. El colorante utilizado es el extraído de las hojas de nogal, con el cual se ha conseguido teñir hilos de lana en color marrón amarillento (beige), resultando que el teñido es posible de realizar a temperaturas entre 25 y 40 °C “en frio”, directamente por el sistema de teñido por agotamiento tanto en 30 como a 60 minutos. Sin que necesariamente el teñido requiera del uso de productos auxiliares o electrolito.

3.2 Marco teórico

3.2.1 Alpaca Huacaya (*Vicugna pacos*)

La alpaca (*Vicugna pacos*), es uno de los camélidos domesticados de America del Sur y su hábitat ocurre naturalmente en las tierras altas de los andes en Bolivia, Perú, Argentina, Chile y Ecuador, tiene un cuello largo, cabeza, orejas diminutas y un hocico punta roma. La alpaca se cría principalmente para obtener fibra y carne la cual puede llegar a pesar unos 70 Kg y una estatura promedio entre 80-90 cm. El sistema de producción tradicional de estos animales son extensas y especializadas, y



este sistema es el más bien conocido y ampliamente utilizado en la comunidad agrícola (OYAGE, 2010).



FUENTE: Adaptado de imágenes Andes alpaca, 2025

Figura 1 — Alpaca Huacaya (*Vicugna pacos*)

3.2.1.1 Taxonomía de la Alpaca Huacaya (*Vicugna pacos*)

Tabla 2 — Clasificación taxonómica

Clasificación	
Reino	Animalia
Subreino	Eumetazoa
Rama	Bilateria
Filo	Vertebrata
Superclase	Gnathostomate
Clase	Mamalia
Orden	Artiodactyla
Familia	Camelidae
Género	<i>Vicugna</i>
Especie	<i>Vicugna pacos</i>
FUENTE: BUSTINZA, 2001	

3.2.2 Fibras naturales

Según (RODRIGUEZ, 2000), las fibras naturales son materiales filamentosos de procedencia biológica, cuyas propiedades químicas, físicas y mecánicas les confieren atributos como su apariencia, textura, resistencia, flexibilidad y longitud, lo que las hace idóneas para ser utilizadas. Las fibras naturales se destacan como opción para reforzar materiales compuestos, debido a su coste reducido, menor uso de energía y peso reducido durante la fabricación en contraposición a las fibras sintéticas. Según (MARÍN, 2013), nos indica que las fibras naturales sustentables están ganando

mayor popularidad por no generar daño al medio ambiente y por su generar nuevos hábitos de consumo.

3.2.3 Fibra de alpaca

La fibra de alpaca está hecha principalmente de una proteína llamada queratina, que contiene carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y azufre; la fibra de alpaca tiene una capa externa formada por células superpuestas en forma de escamas que ayudan a unir las fibras al hilarse y tejerse (CARPIO, 1991).

Según (BUSTINZA, 2001), la fibra tiene una superficie áspera, un vellón grueso y esponjoso como el de una oveja Corriedale o Rommey, que hace que se vea más voluminosa. Además, hay bucles marcados a lo largo de la hebra. Esta característica facilita la absorción de tintes.

La fibra textil es un material que se puede convertir en hilo o tela y se puede teñir con colores para hacer diferentes hilados. Hilado es un conjunto de fibras agrupadas que forman un rollo largo y delgado, pueden tener diferentes grosores y pesos lineales determinado que tienden a formar una estructura cilíndrica de mucha longitud y poco área transversal (ADOT, 2010).

Tabla 3 — Composición elemental de la fibra natural proteica

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

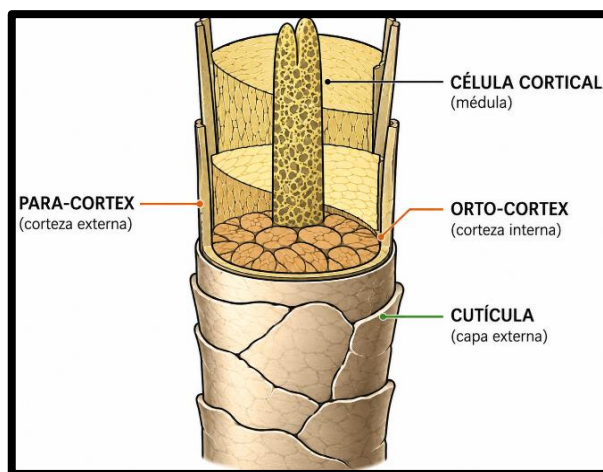
Según (OBANDO, 2013), en la lana, fibras proteicas están compuestas con elementos de carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y azufre, la queratina está hecha de moléculas y cadenas de péptidos unidos por enlaces salinos entre aminoácidos dibasicos y dicarboxílicos, compuestos por la cistina. La estructura de los aminoácidos de la queratina no es constante, ya que las fibras varían entre sí, esta variación se debe de acuerdo de su nutrición y varios componentes estructurales de

esta. Esta cistina tiene un alto contenido en la queratina que otras proteínas, lo que la hace especial las propiedades físicas, químicas de las fibras de camélidos.

3.2.3.1 Características morfológicas de la fibra de alpaca

Según (HOLLEN, 2002), en la capa exterior de la fibra de alpaca, hay unas escamas que van en una sola dirección hacia el extremo, el pelo del camélido tiene menos escamas que la lana de la oveja, las escamas de la fibra de alpaca Huacaya sobresalen más que de la alpaca Suri.

Estas fibras tienen tres partes: un tejido que acepta el colorante, un canal central llamado medula y la capa exterior. Este hecho de células que se superponen, la capa exterior tiene una capa muy resistente y cuando se rompe, la tintura se absorbe más rápido. La fibra es una sustancia que se produce en la piel de los animales y está formada por tres partes: la cutícula, médula y córtex.



FUENTE: HOLLEN, 2002

Figura 2 — Estructura de la fibra de alpaca

3.2.3.2 Clasificación por calidades

Según la NTP 231.301:2014, clasifica diferentes grupos de calidades de la fibra.

- **Baby alpaca:** Esta fibra tiene la conformación más delgada, oscilando entre 20.1- 23 μm . Usualmente se consigue del primer corte de la alpaca.
- **Alpaca fleece:** Tiene un diámetro que oscila entre 23.1-26.5 μm y una longitud promedio mínima de 70 mm.

- **Alpaca médium fleece:** Su diámetro está comprendido en 26.6-29 μm y con una longitud mínima promedio de 70 mm.
- **Alpaca huarizo:** Fibra cuyo diámetro esta ente 29.1 y 31.5 μm y longitud mínima promedio 70 mm.
- **Alpaca gruesa:** Fibra gruesa por tanto se encuentra su diámetro entre 31.5 μm . Con una longitud mínima promedio 70mm.
- **Alpaca corta:** Tiene una longitud menor de 50 mm.

3.2.4 Propiedades físicas de la fibra de alpaca Huacaya

- **Resistencia:** Permite a la lana estirarse en gran proporción, antes de romperse, ya que esta propiedad es muy importante desde el punto de vista textil, en procesos de industrialización tales como el cardado, peinado e hilado, que se someten a considerables tensiones a la fibra de lana, donde esta debe tener extensibilidad suficiente para conservase integras a través de los mencionados procesos.
- **Higroscopicidad:** Tiene la propiedad de absorber humedad de la atmosfera y entre ellas la fibra de alpaca, esta propiedad de absorber vapor de agua en una atmosfera húmeda y de perderla en un ambiente seco puede pasar hasta un 50% de su peso en escurrimiento.
- **Flexibilidad:** Esta propiedad de la fibra hace que puedan ser dobladas con facilidad sin romperse (ROJAS, y otros, 2011).
- **Elasticidad:** Esta propiedad se refiere a que la fibra vuelva a su largo natural luego de que se haya sido estirada, dentro de límite, ya que llega un momento donde se rompe los enlaces químicos, y la fibra no vuelve a su largo original. Esta elasticidad de la fibra se da porque tiene una estructura helicoidal de sus moléculas.



3.2.5 Propiedades químicas de la fibra de alpaca Huacaya

Según (DE GEA, 2007), se refiere a su composición y estructura molecular, donde presenta como las propiedades químicas a la resistencia a la degradación, se refiere a su capacidad para mantener su estructura y propiedades físicas y químicas frente a los elementos que pueden provocar su degradación o deterioro, incluyendo a la proteína, grasas, humedad y minerales en su composición química.

3.2.6 Características del árbol de nogal

Su nombre por el mundo:

- Nogal (español)
- Walnut tree (ingles)
- Noyer (francés)

Tabla 4 — Taxonomía de las hojas de nogal (*Juglans regia*)

CLASIFICACION TAXONÓMICA	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Fagales
Familia	Juglandaceae
Subfamilia	Juglandoideae
Tribu	Juglandaeae
Género	<i>Juglans</i>
Especie	<i>Juglans regia</i>
FUENTE: VALVERDE, 2020	

El nogal proviene de Sudamérica, Ecuador, Perú y Colombia. Esta especie habita entre los 1 000-3 000 metros de altitud, con temperaturas de 12 a 18 °C y forma parte de un ecosistema semidenso que alterna climas estacionales con lluvias esporádicas y prolongadas en climas secos (VALVERDE, 2020).

También conocido como *Juglans regia*, es un árbol monoico y caducifolio perteneciente a la familia de la Juglandácea, perteneciente al orden de las *Fagalea*, esta ubica en Perú en los valles interandinos mesodérmicos. Posee un tronco robusto y frondoso, con frutos en drupa con una semilla comestible en celdillas. Tanto las hojas como los frutos contienen ácido gálico, ácido cafeico, queratina y kaenferol (PONCE y MORALES, 2011).

El nogal es un árbol que pierde parte de sus hojas en cierta época del año, puede crecer hasta 30 metros de altura y su tronco, de color gris, puede llegar a tener 2 metros de ancho. Las hojas del nogal son grandes, miden alrededor de 25 cm y tienen un tallo que pueden medir entre 5-8 centímetros. Son de color verde intenso, se presentan en gran cantidad y se ubican alternadamente en las ramas.



FUENTE: Elaboración propia

Figura 3 — Árbol de nogal (*Juglans regia*)

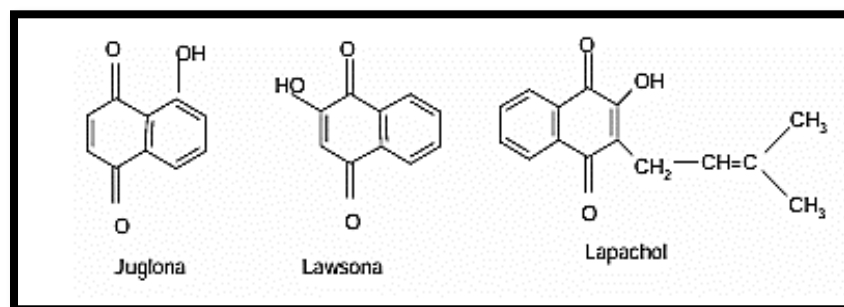
3.2.7 Tintes naturales

Un tinte natural es un colorante que se obtiene de fuentes orgánicos, minerales, insectos, plantas, invertebrados u hongos, y que no contiene aditivos químicos ni sintéticos, ya sean pulverizados o triturados, aquellos que no requieren mordientes

tóxicos, sino mordientes naturales de impacto ecológico reducido o inexistente (ROJAS, y otros, 2011).

3.2.7.1 Tinte de las hojas de nogal (*Juglans regia*)

El colorante Juglona (5-hidroxi-1,4 naftoquinona) que tienen un color marrón-rojo, se encuentra en las cascaras de nueces verdes y en las hojas de nogal. Al reaccionar con el aire, cambia a un tono marrón oscuro (GIBAJA, 1988).



FUENTE: GIBAJA, 1998

Figura 4 — Estructura química del colorante natural de color café

3.2.8 Tintes

Los tintes pueden ser sustancias naturales, orgánicas o artificiales, transparentes y solubles en dispersión, poseen color, aunque no poseen un cuerpo que proporcione su color mediante la adición, absorción o unión con el sustrato químicamente teñible (MAIER, y otros, 2007).

- **Tintes sintéticos:** Son sustancias fabricadas en laboratorio mediante procesos químicos, el cual algunos estudios han determinado que los usos de estos colorantes sintéticos son perjudiciales para quienes lo consumen los productos (PALACIOS, 2021).
- **Tintes naturales:** Son obtenidos de ciertas partes de las plantas como raíz, tallos, hojas, flores, y frutos. El cual es preciso conocer sobre sus características de cada una de estos vegetales para saber cuál de estas serían las más utilizadas en la practicas de obtención de colorantes (PAZOS, 2017).

3.2.9 Teñido

Esto significa como la fibra se mezcla con el agua y el tinte, creando iones y reacciones químicas, también se dispersa en la fibra. Este proceso es muy preciso el cual hace que se impregne, igualmente los colores de la fibra se crean con enlaces covalentes a las moléculas alargadas de la fibra (OJEDA, 2012).

3.2.9.1 Aplicación en el teñido

Este procedimiento puede llevarse a cabo mediante diversas técnicas, que varían en función del tipo de fibra y el resultado esperado en este contexto, hay tres métodos, el pre mordentado, posmordentado y el método directo. El cual estos procedimientos contribuyen a mantener y cambiar la tonalidad.

- **Pre mordentado:** Este procedimiento se realiza antes de teñir las fibras textiles, se aplica un mordiente para ayudar a fijar el tinte y este sea más duradero, esta técnica generalmente se utiliza en las artesanías.

3.2.10 Parámetros que influyen en el teñido

Según (COSTA, 1990) los parámetros que inciden en el teñido son el siguiente:

- **Impacto del tiempo de interacción entre la fibra y baño:** El tiempo apropiado facilita una absorción homogénea, lo que resulta crucial para obtener teñidos ideales.
- **Relación de baño:** Es crucial la relación entre masa-volumen del líquido del sustrato para garantizar una distribución homogénea del tinte líquido.
- **Efecto de temperatura:** Este indicador es crucial en el proceso de teñido ya que puede influir en su calidad y estabilidad del color. Un incremento en la temperatura acelera el proceso de teñido, dado que la fibra en los segmentos de cadena de las zonas amorfas incrementa la movilidad y consecuentemente la absorción del tinte.

3.2.11 Mordientes

- **Mordentado:** Son sustancias químicas que tienen la capacidad de establecer conexiones entre los pigmentos y las fibras textiles, funcionando como agentes de fijación. Esto facilita que el color se adhiera a la fibra y sea más resistente al lavado y a la luz.



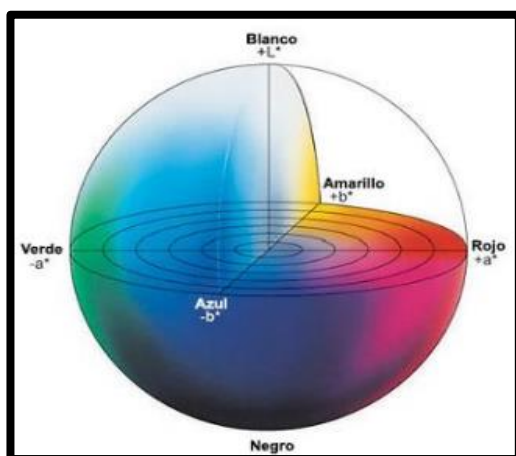
- **Mordiente:** Puede ser un compuesto sintético o natural que contribuye a capturar y mantener el color en las fibras, proporcionando solides a la luz, lavado y frotado, dependiendo de su uso en el procedimiento. Al disolverse en agua caliente, se produce la separación de sal y metal al unirse a los puentes de hidrogeno de la fibra.

3.2.12 Propiedades colorimétricas

Las propiedades colorimétricas emplean reactivos que provocan una variación de color que se puede cuantificar en presencia del analito, estas se emplean extensamente en bioquímica para verificar la existencia de enzimas, anticuerpos, hormonas, compuestos particulares, entre otros analitos.

- **Espacio de color $L^*a^*b^*$:** También referido como CIELab, es uno de los espacios de color más empleados y homogéneos que se emplean para valorar el color de un objeto. El sistema cartesiano de coordenadas representa la luminosidad a través del eje z, con valores de 0-100 para luminosidad con tonalidades entre negro y blanco. En este sistema, el eje positiva a^* simboliza la cantidad de componente rojo o verde; mientras que el eje positivo b^* simboliza el componente amarillo si es positivo o azul si es negativo.

También se representan en el diagrama C^* simboliza el croma (pureza, cantidad o saturación de color), mientras que el h° simboliza el tono, que se caracteriza por el Angulo en $^\circ$ en la rueda de colores.



FUENTE: BOLAÑOS, 2012.

Figura 5 — Diagrama de espacios de color L , a^* y b^*

Asimismo, se presentan las ecuaciones empleadas para determinar los parámetros de C^* (Croma) y h° (ángulo de tono).

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$h^\circ = [\arctg(\frac{b^*}{a^*})] \quad (2)$$

3.2.13 Pruebas de solidez

La prueba de solidez (también llamada ensayo de solidez) es un análisis que se realiza principalmente en textiles, tintes o materiales para evaluar la resistencia del color o del material frente a diferentes factores externos.

Nos indica lo siguiente:

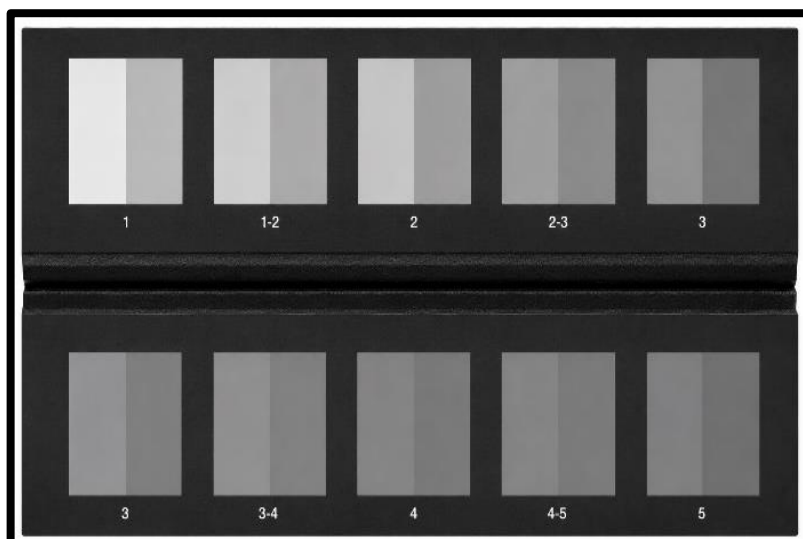
- **Solidez de lavado:** Según la Norma (ISO 105-C06, 2010), establece los métodos de prueba para determinar la solidez del color al lavado en textiles de todo tipo y evalúa tanto la decoloración (pérdida de color) de la tela como la posible transferencia (tinción) de color a otros tejidos adyacentes durante lavados domésticos o comerciales.
- **Solidez de frote:** Según la Norma (ISO 105-X12, 2016), es el estándar internacional para determinar la solidez del color de los textiles al frotamiento (también conocido como “crocking”). Evalúa la resistencia de los tintes a transferirse desde la tela a otros materiales por fricción.

3.2.13.1 Escala de grises

Según la NTP (ISO 105-C06, 2010) y (ISO 105-X12, 2016), Sirven para poder evaluar la solidez del color en los elementos textiles que son sometidos a prueba. La cual cuenta con valores de 1-5 e crece por medio de valor (1, 1 1/2, 2, 2 1/2 y así sucesivamente) siendo 5 el valor más alto.

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, lana y tela), 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.

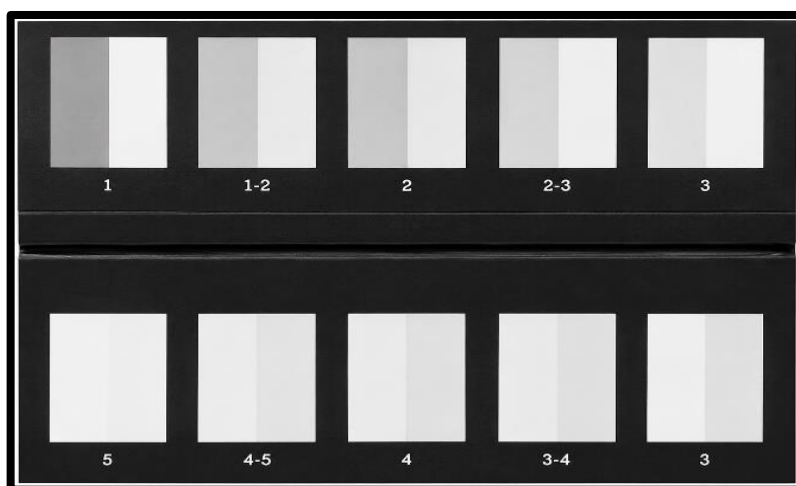


FUENTE: Adaptado de la NTP ISO 105-C06, 2010.

Figura 6 — Escala de grises para evaluar el cambio de color

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

La escala de grises para evaluar las trasferencias 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 trasferencia del color hacia el testigo blanco luego del frote y la parte inferior representa el testigo blanco sin tratamiento alguno.



FUENTE: Adaptado según la NTP ISO 105-X12, (2016).

Figura 7 — Escala de grises para evaluar la transferencia de color

La escala de grises está compuesta 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 (mejor calificación).
- **Grado 1:** Cambios drásticos apreciados a simple vista (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: Extraído de la NTP (ISO 105-C06, 2010) y (ISO 105-X12, 2016)		

3.2.14 Grupo funcional (FTIR)

Según el autor (SILVERSTEIN M., 2014), el análisis de grupos funcionales por FTIR (Espectroscopia infrarroja por Transformada de Fourier) identifica las unidades estructurales de una molécula al medir como absorben la luz infrarroja. Cada tipo de enlace vibra a frecuencias características, creando un “espectro de huella dactilar”.

Para identificar los grupos funcionales más comunes, el espectro (medido en números de onda, cm^{-1}) se divide en zonas típicas:

Tabla 6 — Región de 4000 a 1500 (cm^{-1}) (grupos funcionales)

Grupo funcional	Tipo de enlace	Región (cm^{-1})	Intensidad y forma de la banda
Alcoholes y Fenoles	O-H (Tensión)	3650-3200	Fuerte y muy ancha (por puentes de hidrogeno)
Ácidos Carboxílicos	O-H (Tensión)	3300-2500	Muy fuerte y extremadamente ancha
Aminas y Amidas	N-H (Tensión)	3500-3300	Media; a menudo presenta dos picos si es primaria
Alquinos	$\text{C} \equiv \text{C-H}$ (Tensión)	3333-3267	Fuerte y aguda (fácil de identificar)
Alquenos/Aromáticos	$=\text{C-H}$ (Tensión)	3100-3000	Media; justo arriba de los 3000 cm^{-1}
Alcanos	C-H (Tensión)	2960-2850	Fuerte a media; justo debajo de los 3000 cm^{-1}
Aldehídos	C-H (tensión carbonílica)	2830-2695	Dos bandas débiles llamadas el “doblete de Fermi”
Nitrilos	C=N (Tensión)	2260-2220	Media y muy delgada
Carbonilos(cetonas, Aldehídos, Esteres)	C=O (Tensión)	1750-1680	Extremadamente fuerte, intensa y puntiaguda
Alquenos	C=C (Tensión)	1680-1640	Débil a media
FUENTE: Extraído de SILVERSTEIN M., 2014			

3.3 Marco conceptual

- **Mordiente:** Es una sustancia que se utiliza para poder fijar los colores a la fibra o tejidos. Donde puede ser de origen sintético o natural, ya sea sales metálicas, ácidos, sustancias orgánicas, etc.
- **Teñido:** Es un proceso químico que se basa en agregar un tinte a un material poroso para poder dar un color diferente.



- **Colorimétricas:** Los ensayos colorimétricos son en la cual utilizan reactivos que experimentan un cambio de color medible.
- **Textil:** Son materiales flexibles hechos comúnmente de fibras tejidas ya que estas pueden ser artificiales como nylon o poliéster o naturales como lana, algodón.
- **Fibra:** Es el vellón originario de la alpaca, que se distingue por su finura, calidad o capacidad de calor.
- **Nogal:** Se trata de un árbol monoico y caducifolio perteneciente a la familia de *Juglandaceae*, perteneciente a la familia Fagales. Se trata de la especie más extendida en Europa, abarcando todo el sureste y centro de Asia, hasta el Himalaya y el sudoeste de China.
- **Sal de limón:** Es una sustancia de color blanco con partículas pequeñas.



CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

4.1.1 Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, porque busca utilizar los conocimientos teóricos del teñido natural para poder resolver un problema práctico y optimizar los procesos de coloración en el sector textil (HERNANDEZ-SAMPIERI, 2018). Asimismo, se desarrolla en un contexto real y de laboratorio, orientándose a la mejora de los resultados en la fijación del color.

4.1.2 Nivel de investigación

Esta investigación se sitúa en un nivel explicativo. De acuerdo (HERNANDEZ-SAMPIERI, 2018), este nivel va más allá de la descripción de conceptos, ya que está dirigido a responder por las causas de los eventos físicos o fenómenos. En este sentido, la investigación pretende determinar el cómo y el porqué las propiedades funcionales, colorimétricas y solidez afectan o no a la fibra de alpaca teñidas con el tinte de hojas de nogal premordentado con diferentes mordientes.

4.2 Diseño de la investigación

Para esta investigación, se optó por un diseño experimental. Según (ARIAS, 2012), el diseño experimental consiste en un proceso que requiere la manipulación intencional de variables independientes (causas) para analizar sus efectos sobre variables dependientes (efectos) en una situación de control. En este estudio, las variables independientes manipuladas correspondieron al tipo de mordiente (collpa, alumbre y sal de limón y sin mordiente) y la concentración de hojas de nogal (20g, 30g y 40g).

El propósito fue evaluar si hay un efecto o no sobre las variables dependientes o de respuesta: las propiedades funcionales, colorimétricas, solidez (lavado y frote).



Tabla 7 — Diseño estadístico de la investigación

		Factor A (Sin y con Mordientes)			
		A1	A2	A3	A4
Factor B (Cantidad tinte de hojas de nogal)	B1	A1xB1	A2xB1	A3xB1	A4xB1
	B2	A1xB2	A2xB2	A3xB2	A4xB2
	B3	A1xB3	A2xB3	A3xB3	A4xB3
NOTA Factores A, sin y con mordiente; Factor B, tinte de hojas de Nogal; A1, sin mordiente; A2, Collpa; A3, Alumbre; A4, Sal de limón; B1, 20 gramos, B2, 30 gramos, B3, 40 gamos.					

Tabla 8 — Diseño para evaluar las propiedades colorimétricas en fibra de alpaca Huacaya teñido con hojas de nogal.

T	Factor A	Factor B	Propiedades colorimétricas				
	Sin y con Mordientes (g)	Cantidad de tinte de hojas de nogal (g)	L*	a*	b*	C*	h°
T1	S/M	20					
T2	S/M	30					
T3	S/M	40					
T4	Collpa	20					
T5	Collpa	30					
T6	Collpa	40					
T7	Alumbre	20					
T8	Alumbre	30					
T9	Alumbre	40					
T10	Sal de limón	20					
T11	Sal de limón	30					
T12	Sal de limón	40					
NOTA							

Sin mordiente(S/M), y con mordientes Collpa (CO), Alumbre (AL) y Sal de limón (SL). Las propiedades colorimétricas son la luminosidad (L^*), coordenada (a^* y b^*), croma C^* y el ángulo de matiz (h°).

Tabla 9 — Diseño para evaluar las propiedades de solidez al lavado en la fibra de alpaca Huacaya (*Vicugna pacos*) teñido con hojas de nogal (*Juglans regia*).

T	FACTOR A Sin y con mordientes (g)	FACTOR B Cantidad de tinte de hojas de nogal (g)	Valoración Visual (Escala de Grises 1-5)	Interpretación
T1	S/M	20		
T2	S/M	30		
T3	S/M	40		
T4	Collpa	20		
T5	Collpa	30		
T6	Collpa	40		
T7	Alumbre	20		
T8	Alumbre	30		
T9	Alumbre	40		
T10	Sal Limón	20		
T11	Sal Limón	30		
T12	Sal Limón	40		
NOTA Las propiedades de solidez al lavado evaluados visualmente e instrumentalmente (Software Datacolor Tools 1.1) bajo la luz D65, escala de grises con valoración (1-5) donde 1 es cambio severo y 5 sin cambio de color.				

Tabla 10 — Diseño para evaluar las propiedades de solidez al frote en seco en la fibra de alpaca Huacaya (*Vicugna pacos*) teñido con hojas de nogal (*Juglans regia*).

T	FACTOR A Sin y con Mordientes (g)	FACTOR B Cantidad de tinte de hojas de nogal (g)	Valoración Visual (Escala de Grisés 1-5)	Interpretación
T1	S/M	20		
T2	S/M	30		
T3	S/M	40		
T4	Collpa	20		
T5	Collpa	30		
T6	Collpa	40		
T7	Alumbre	20		
T8	Alumbre	30		
T9	Alumbre	40		
T10	Sal Limón	20		
T11	Sal Limón	30		
T12	Sal Limón	40		
NOTA Las propiedades de solidez al frote en seco evaluados en un fotómetro o “crockmeter, escala de grises para transferencia de color (1-5) donde 1 es transferencia de color severa. 5 no hay transferencia de color.				

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población

La población de esta investigación estuvo conformada por el total de alpacas de la raza Huacaya (*Vicugna pacos*) de color blanco y de dos años de edad, pertenecientes a los productores criadores de la comunidad de Quillcaccasa ubicada a una altitud de 4,228 m.s.n.m. en el distrito de Cotaruse, provincia de Aymaraes, departamento de Apurímac. Esto concuerda con lo establecido por (HERNANDEZ-SAMPIERI, 2018), quienes señalan que la población debe delimitarse con claridad entorno a sus características de contenido, lugar y tiempo.



Las evaluaciones experimentales se realizaron en la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial en el laboratorio de industria textil de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.

4.3.2 Muestra

La muestra fue de tipo no probabilístico e intencionada (por conveniencia), seleccionada bajo el criterio del investigador, (ARIAS, 2012), Define este procedimiento como aquel donde “los elementos son escogidos de forma directa e intencionada por el investigador, de acuerdo con criterios previamente establecidos”, constituida por 2 libras de fibra de alpaca de raza Huacaya, color blanco y de dos años de edad, seleccionada específicamente de la zona del costillar bajo y lomo del animal, la cual fue hilada de manera artesanal, posterior obtención de madejas de 4 g para cada tratamiento.

4.4 Procedimiento

Se desarrolló según (LUNA CHAVEZ, 2013), (SUCASACA, 2021), y (LOZANO, y otros, 2024), en esta investigación se obtuvo el teñido de fibra de alpaca Huacaya (*Vicugna pacos*) con tinte de hojas de nogal (*Juglans regia*) con diferentes mordientes (Collpa, Alumbre, Sal de limón) para poder determinar el efecto de las propiedades químicas, colorimétricas y pruebas de solidez al lavado y al frote.

4.4.1 Proceso de obtención de las hojas de nogal

- **Recolección :** Las hojas de nogal (*Juglans regia*) se recolecto un total de 3 Kg en hojas frescas con todo y tallo, en el mes de Diciembre 2024 en el distrito de Tamburco de la provincia de Abancay del departamento de Apurímac, Perú que está a los 2,377 m.s.n.m..
- **Selección:** Se seleccionaron las ramas con hojas más bonitas, verdes, libres de materias extrañas.
- **Lavado:** Se sumergieron en 20 litros de agua, para sacar materia extraña de las hojas.



- **Secado:** Por un tiempo de 5 días a temperatura ambiente en ausencia de luz solar. Del cual se seleccionaron solo las hojas secas un promedio de 2 Kg para posteriormente ser usado para la extracción de tinte.

4.4.2 Proceso de lavado de la fibra

El proceso de lavado de la fibra según (HURTADO Y ARROYO, 2016).

- **Muestreo:** De todo un vellón de alpaca Huacaya (*Vicugna pacos*) de color blanco, se tomó la muestra de la zona del costillar, lomo.
- **Cardado:** con la finalidad de desenredar las fibras, eliminar impurezas (paja, tierra, etc.).
- **Hilado:** Con la fibra ya cardada se transforma en hilo donde se ah hilado de manera manual con rueca, posteriormente se pesó en 4 g para 12 tratamientos y con sus respectivos repeticiones en un total de 36 tratamientos.
- **Lavado:** Fueron lavadas con agua destilada a 30 °C en tinas o bateas, I lavado con 5mL de shampoo marca JOHNSON´S más 3 g bicarbonato de sodio de marca SOLUTest por un tiempo de 30 minutos en remojo, el II lavado de igual manera con agua destilada a 25 °C con 5 mL de shampoo de marca JOHNSON´S por un tiempo de 15 minutos en remojo.
- **Enjuagado:** Se utilizó agua destilada a 20°C para el I enjuague por un tiempo de 15 minutos de reposo y II enjuague con 1L de agua destilada a 20°C más acondicionador 10 mL y III enjuagado con el mismo procedimiento.
- **Secado:** Se escurre las fibras lavadas de manera suave hasta extraer toda el agua para su posterior secado de 3 días en ausencia de la luz solar.

4.4.3 Obtención de tinte por método convencional (maceración)

El proceso de obtención de tinte por el método convencional se desarrolló según (LUNA CHAVEZ, 2013) y (SUCASACA, 2021).

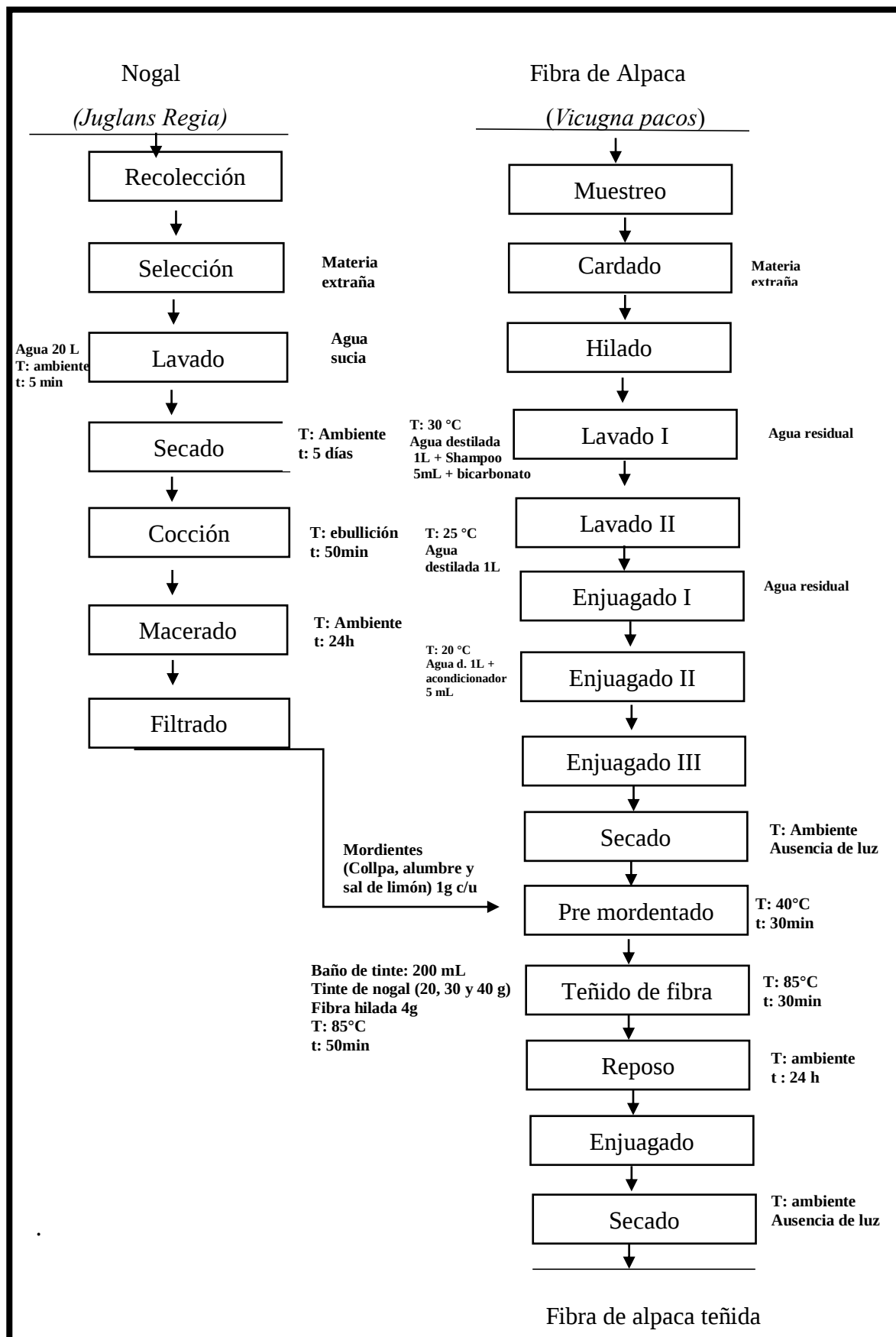


- **Pesado:** Utilizando una balanza analítica de marca H.W.Kessel S.A. se procedió a pesar las hojas de nogal (*Juglans regia*) secas en proporciones de 20, 30 y 40 g un total de 1440 Kg.
- **Cocción:** Utilice 3 ollas de acero inoxidable con agua destilada 4L cada uno a 85 °C para luego colocar las hojas de nogal seca por un tiempo de 50 minutos.
- **Macerado:** Después de la cocción se colocó en 3 baldes tapados herméticamente debidamente rotulados por un tiempo de 24 horas a temperatura ambiente en un lugar oscuro.
- **Filtrado:** Pasado el tiempo de 24 horas, utilizando un colador se filtra para separar las hojas y extraer el tinte de las hojas de nogal para que posteriormente sea utilizado en el teñido.

4.4.4 Teñido de la fibra con mordientes

- **Pre mordentado:** Es el proceso de preparación de la fibra de alpaca para recibir el tinte en el cual se pesó los mordientes (Collpa, Alumbre y Sal de limón) en una balanza analítica 1g para cada tratamiento, utilizando un vaso precipitado con agua destilada a 40 °C sumergimos la fibra hilada 4g, moviendo constantemente por un tiempo de 30 minutos (CARRASCO, y otros, 2021).
- **Teñido de fibra:** Utilizando la fibra ya mordentada y el tinte extraído se procede a medir 200 mL en un vaso precipitado debidamente rotulados se lleva a la cocina eléctrica hasta llegar una temperatura de 85 °C por 50 minutos moviendo constantemente (LUNA CHAVEZ, 2013).
- **Reposo:** Luego del teñido se deja en reposo por un tiempo máximo de 24 horas posterior al teñido para que así se puede impregnar mejor el tinte en la fibra.
- **Lavado:** Pasados las 24 horas se procede a lavar con agua destilada todas las fibras ya teñidas, hasta el punto de que no se transfiera el color.
- **Secado:** Se coloca bajo temperatura ambiente bajo sombra por un tiempo de 3 días.





FUENTE: Extraído de (LUNA CHAVEZ, 2013), SUCASACA *et al.*, (2021) y (LOZANO, y otros, 2024)

Figura 8 — Diagrama de flujo del teñido de la fibra de alpaca Huacaya (*Vicugna pacos*) con hojas de nogal (*Juglans regia*).

4.5 Técnica e instrumentos

4.5.1 Propiedades colorimétricas

Para la determinación de las propiedades colorimétricas se toma como referencia descrito por (CAPILLA *et al.*, 2002), para evaluar los cambios de tono y matiz de los 12 tratamientos de fibras teñidas con tinte de hojas de nogal y diferentes mordientes, se utilizó el sistema CIEL*a*b*, establecido por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) y adoptado por las normas (ISO 11664-4, 2019), el cual permite una descripción objetiva y cuantitativa del color.

La evaluación colorimétrica se basará en la determinación de los siguientes parámetros:

- Luminosidad (L^*): representa la claridad u oscuridad del color y varía en una escala de 0 (negro) a 100 (blanco). Valores elevados de L^* indican colores más claros, mientras que valores bajos corresponden a tonalidades oscuras.
- Coordenada a^* : define la variación cromática entre los ejes verde ($-a^*$) y rojo ($+a^*$). Valores positivos de a^* indican una tendencia hacia tonalidades rojizas, mientras que valores negativos reflejan una inclinación hacia tonos verdosos.
- Coordenada b^* : expresa la variación cromática entre los ejes azul ($-b^*$) y amarillo ($+b^*$). Valores positivos de b^* indican una tendencia hacia tonos amarillos, mientras que valores negativos corresponden a tonalidades azuladas.

A partir de las coordenadas a^* y b^* se calcularon los parámetros derivados:

- Croma (C^*), que representa la intensidad o saturación del color, indicando cuán puro o vivo es el color; valores más altos reflejan una mayor intensidad cromática.
- Ángulo de matiz (h°), que define la tonalidad del color, expresada en grados, permitiendo identificar la orientación del color dentro del espacio cromático (por ejemplo, amarillo, amarillo-marrón o rojizo).

Tomando de referencia a la norma (ISO 11664-4, 2019), para poder determinar los cambios de colores o matices en los 36 tratamientos de fibras teñidas con tinte de



hojas de nogal mordentados con Collpa, Lumbre y Sal de limón y tratamientos sin mordiente.

4.5.2 Prueba de solidez

Las pruebas de solidez del color se realizaron en los laboratorios de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) en los laboratorios de ingeniería textil en el laboratorio N° 24, siguiendo los lineamientos de las normas internacionales ISO.

La solidez al lavado se evaluó conforme a la Norma, empleando un launderómetro, así como la escala de grises para el cambio de color (1-5) y la escala de grises para la transferencia de color (1-5), con el propósito de determinar la variación cromática de la fibra teñida y el grado de manchado sobre fibras adyacentes (ISO 105-C06, 2010).

La solidez al frote en seco se determinó de acuerdo con la Norma, utilizando un frotómetro o (crockmeter). La evaluación de la transferencia de color se realizó mediante la Escala de Grises para la Transferencia de Color (EGTC), bajo condiciones de iluminación controladas en una cabina de luz Datacolor (ISO 105-X12, 2016).

De manera complementaria, la medición objetiva de los cambios cromáticos se efectuó mediante un espectrofotómetro de reflectancia Datacolor, permitiendo la obtención de resultados instrumentales reproducibles y confiables.

4.5.3 Grupos funcionales (espectroscopia infrarroja por Transformada de Fourier)

Se realizó mediante Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), tomando como referencia la (ISO 11664-4, 2019) para el análisis de fibras textiles y la (ASTM E1252-13, 2013), la cual establece los lineamientos para la obtención e interpretación de espectros infrarrojos en análisis cualitativo.

Se evaluará en los 12 tratamientos de fibra que serán teñidas con colorante de hojas de nogal y diferentes mordientes la cual se llevará a cabo con el equipo espectrofotómetro (Thermo NICOLET is50, EEUU) en un rango $400-4000\text{ cm}^{-1}$. Para los cuales los 12 tratamientos estarán adecuados para su medición en forma de tejidos en la Figura C.7 del anexo C.



4.5.4 Materiales e insumos

a) Materia prima

- Hojas de nogal (*Juglans regia*) seca 2 Kg
- Fibra de alpaca Huacaya (*Vicugna pacos*) 150 g

b) Materiales y equipos

- Shampoo de bebé marca Johnson
- Acondicionador marca ballerina
- Bicarbonato de sodio marca SOLUTest
- 3 Ollas de acero inoxidable
- Cocina eléctrica de mesa marca Imaco
- Papel tornasol pH
- Bagueta
- Vasos precipitados de 250 mL, 500 mL y 1000 mL
- Espátula
- Guantes de látex
- 3 Baldes de 8L
- Colador grande
- Cronometro
- Termómetro de mercurio
- Colorímetro Avantes AvaSpec-ULS2048CL-EVO
- Balanza analítica marca H.W.Kessel S.A
- Launderómetro
- Cabina de luces marca Datacolor
- Espectrofotómetro de reflectancia Datacolor
- Frotómetro o “crockmeter”

c) Mordientes

- Collpa (Sulfato de Sodio) 120g
- Alumbre (Sulfato de Aluminio y potasio) 120g
- Sal de limón (Ácido Oxálico) 120g



4.6 Análisis estadístico

Se empleó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con arreglo factorial de 4*3, estructurado de la siguiente forma:

- Factor A (tipo de mordiente): 4 niveles (collpa (1g), alumbre (1g), sal de limón (1g) y sin mordiente).
- Factor B (cantidad de tinte de hojas de nogal): 3 niveles (20g, 30g y 40g).

De la combinación de estos factores resultaron 12 tratamientos. Cada tratamiento se evaluó con tres repeticiones (n=3), para un total de 36 unidades experimentales. Los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA). En los casos donde se detectaron diferencias significativas, se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$).

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software InfoStat.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \delta_k + \epsilon_{ijk}$$

dónde

Y_{ijk}	valor observado de la propiedad colorimétrica en el i-ésimo tipo de mordiente, j-ésima cantidad de tinte y k-ésimo bloque;
μ	media general del experimento;
α_i	efecto del i-ésimo nivel del factor A (Tipo de mordiente, donde $i = 1, 2, 3, 4$);
β_j	efecto del j-ésimo nivel del factor B (Cantidad de tinte de hojas de nogal, donde $j = 1, 2, 3$);
$(\alpha\beta)_{ij}$	efecto de la interacción entre el i-ésimo nivel del factor A y j-ésimo nivel del factor B;
δ_k	efecto del bloque;
ϵ_{ijk}	error experimental.



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Análisis de resultados

5.1.1 Análisis de propiedades colorimétricas de la fibra de alpaca Huacaya (*Vicugna pacos*) teñida con hojas de nogal (*Juglans regia*).

Tabla 11 — Parámetros de color obtenidos de la muestra de fibra teñida con tinte de hojas de nogal (*Juglans regia*).

T	Factor A	Factor B	Propiedades colorimétricas				
	Sin y con Mordiente (g)	Tinte de hojas de nogal (g)					
			L*	a*	b*	C*	h°
T1	S/M	20	59.27±1.86	20.01±0.43	46.38±1.44	50.52±1.45	60.66±0.43
T2	S/M	30	60.35±2.71	19.51±0.34	46.28±1.79	50.23±1.78	67.13±0.43
T3	S/M	40	58.00±1.24	20.31±0.90	45.19±2.17	49.55±2.35	65.80±0.15
T4	CO	20	60.80±0.79	19.62±0.19	50.79±1.96	54.45±1.89	68.86±0.58
T5	CO	30	59.29±0.19	20.24±0.23	51.88±1.52	55.68±1.50	68.68±0.36
T6	CO	40	61.43±3.11	20.69±1.27	50.95±4.83	54.99±4.94	67.86±0.74
T7	AL	20	58.63±0.64	20.74±0.13	49.20±2.14	53.40±1.94	67.12±0.97
T8	AL	30	59.67±0.24	19.53±0.29	47.43±0.27	51.30±0.35	67.62±0.20
T9	AL	40	59.53±1.42	20.57±0.18	47.82±0.96	52.05±0.81	66.71±0.59
T10	SL	20	56.38±1.80	20.44±0.62	43.31±1.17	47.90±1.31	64.74±0.18
T11	SL	30	58.78±1.02	20.64±0.12	43.52±0.61	47.97±0.50	64.62±0.43
T12	SL	40	58.05±1.35	20.32±0.28	42.73±1.18	47.31±1.19	64.56±0.30

NOTA

Factor A: Tipos de mordientes (sin mordiente, collpa, alumbre y sal de limón), Factor B: cantidad de tinte de hojas de nogal (20,30 y 40), mediante la interacción se evalúa las propiedades colorimétricas. Luminosidad (L*); Coordenada cromática(a*,b*); saturación (C*); Angulo de tono(h°): En donde (T1) Sin mordiente(S/M)0; (T4) Collpa(CO); (T7) Alumbre (AL) y (T10) Sal de limón(SL)

En la Tabla 11, se muestran los resultados promedio obtenidos para los doce tratamientos aplicados, los cuales corresponden a un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con dos factores, factor A: sin y con mordientes, factor B: tinte de hojas de nogal (*Juglans regia*). Se reportan los valores promedio y su respectivas desviaciones estándar correspondientes a las propiedades colorimétricas medidas: L*(luminosidad), a* (tendencia verde-rojo), b*(tendencia azul- amarillo), C* (croma o saturación) y h° (ángulo de tono), obtenidos de los resultados en la Tabla A.1 (Anexo A). Estos

parámetros nos permiten describir de forma cuantitativa las variaciones cromáticas generadas por cada tratamiento, y constituyen una base objetiva para la comparación del efecto de los distintos mordientes sobre el color final de las fibras teñidas.

A continuación, se observa el análisis detallado de los parámetros colorimétricos evaluados en las muestras experimentales.

- **Luminosidad (L^*)**

En la Tabla A.2 (Anexo A), del análisis de varianza ANOVA, para determinar la luminosidad (L^*), los resultados referentes al diseño en bloques completos al azar (DBCA) con arreglo factorial ($A*B$) con $p < 0.05$, se observa que estadísticamente no existe diferencias significativas, entre los tratamientos referente al factor tinte y las interacciones mordiente*tinte, pero si referente al factor mordiente.

Al efectuar la prueba de comparación de promedio de Tukey Tabla A.3 (Anexo A), la luminosidad varía de 0 (negro u oscuro) a 100 (blanco o claro) de los 12 tratamientos reportan valores en el rango de (56.38 – 61.43); el T6 (fibra teñida con tinte de nogal, premordentado con collpa 1g) presenta mayor luminosidad (L^* : 61.43), y el T10 (fibra teñida con tinte de nogal, premordentado con sal de limón 1g), con L^* : 56.38, el cual nos indica que tanto el T6 y T10 tienden a tonalidades intermedias claras, como se observa en la Figura 9.

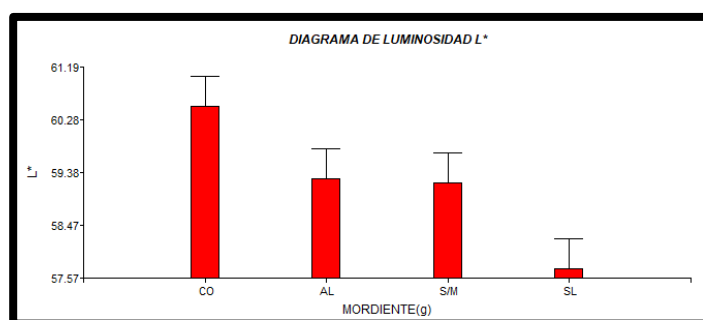


Figura 9 — Diagrama de luminosidad (L^*)

- **Coordenada a^***

De acuerdo a la Tabla A.4 (Anexo A), de análisis de varianza ANOVA, mostraron los resultados para la coordenada a^* , referentes al diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con significancia $p < 0.05$, observando que estadísticamente existe diferencias significativas, en la interacción mordiente*tinte mas no en el factor mordiente ni factor tinte respecto a la coordenada a^* .

Al realizar la prueba de comparación de promedio de Tukey según la Tabla A.5 (Anexo A), correspondiente a la interacción mordiente*tinte, de los 12 tratamientos evaluados se observan el rango esta (19.51 - 20.74). Por lo tanto, el T7 (fibra teñida con tinte de nogal, premordentado con alumbre 1g) registro mayor valor (a^* : 20.74) lo que indica una mayor intensidad hacia tonalidades rojizas. Por su parte, el T2 (fibra teñida con tinte de nogal, sin mordiente) presento menor valor (a^* : 19.51), evidenciando una menor contribución del componente rojo, como se observa en la Figura 10.

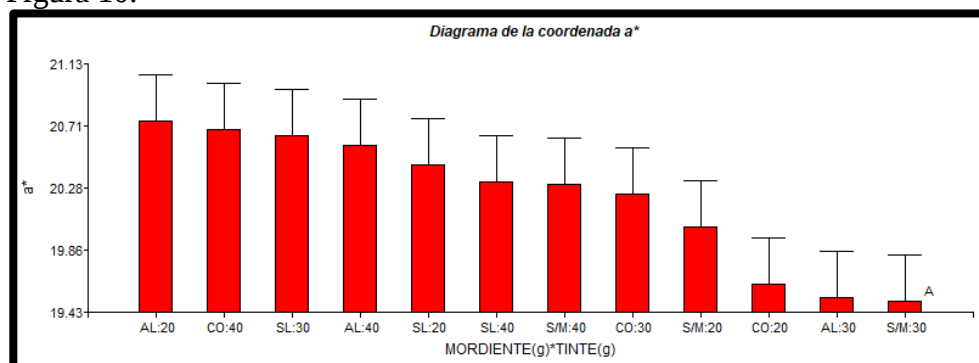


Figura 10 — Diagrama de la coordenada a*

- **Coordenada b***

De acuerdo a la Tabla A.6 (Anexo A), del análisis de varianza ANOVA, mostraron resultados referentes al diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con $p < 0.005$, observando que estadísticamente existe diferencias significativas, en el factor mordiente mas no entre la interacción mordiente*tinte ni factor tinte respecto a la coordenada b*.

Al realizar la prueba de comparación de promedios de Tukey de la Tabla A.7 (Anexo A), referente al factor mordiente se observan diferencias en la coordenada b* para los tres mordientes evaluados que se encuentran en el rango(42.73 – 51.88); el T12(fibra teñida con tinte de nogal, pre mordentado con sal de limón 1g) presenta menor valor de la coordenada (b^* :42.73), todos los tratamientos tienden a valores positivos, lo que significa que tiene una tendencia hacia tonos amarillos siendo el T5(fibra teñida con tinte de nogal, pre mordentado con collpa 1g) el que muestra mayor intensidad de color amarillo, como se observa en la Figura 11.

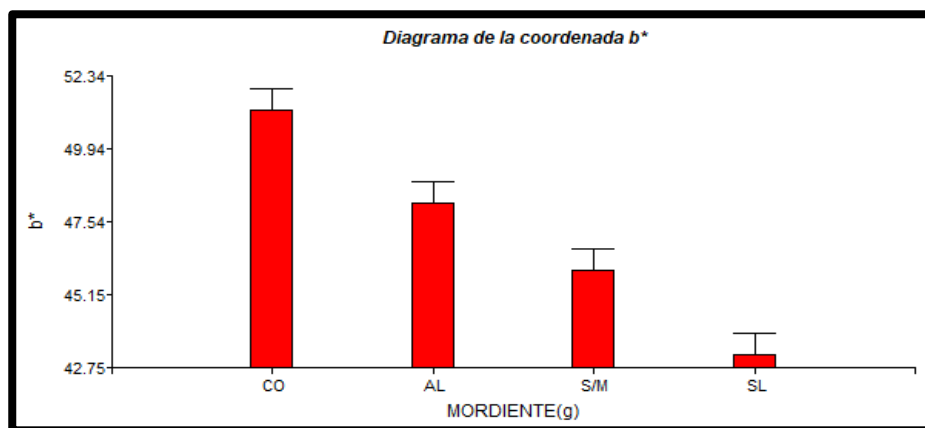


Figura 11 — Diagrama de la coordenada b*

- **Croma C***

De acuerdo a la Tabla A.8 (Anexo A), el análisis de varianza ANOVA, mostraron los resultados referentes al diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con $p < 0.05$, observando que existe diferencias significativas entre los tratamientos referente a al factor mordiente mas no al factor tinte ni a las interacciones mordiente*tinte respecto al croma C*.

Al efectuar la prueba de comparación de promedio de Tukey de la Tabla A.9 (Anexo A), referente al factor mordiente, de los 3 mordientes reportan valores en el rango (47.31 – 55.68) ; el T12(fibra pre mordentada con sal de limón 1g teñida con tinte de nogal 40g) presento un menor valor del croma C*: 47.31 , mientras que el T5(fibra pre mordentada con collpa 1g teñida con tinte de nogal 30g) tiene mayor valor C*: 55.68, el cual nos indica que tiene una buena intensidad cromática, como se observa en la Figura 12.

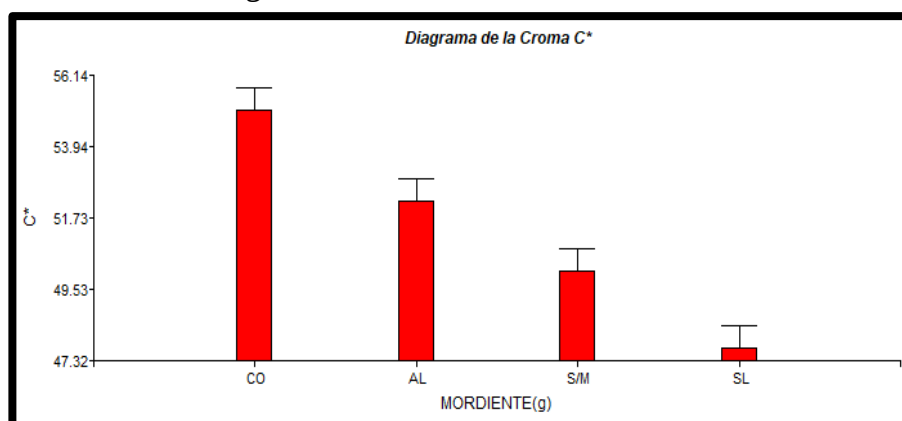


Figura 12 — Diagrama de la croma (C*)

- **Tono h°**

Según la Tabla A.10 (Anexo A) del análisis de varianza ANOVA, reportaron resultados referentes al diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con $p < 0.005$, observando que estadísticamente existe diferencias significativas en el factor mordiente y el factor tinte mas no en las interacciones de estas mordiente*tinte respecto al ángulo de matiz h° .

Al realizar la prueba de comparación de promedios de Tukey de la Tabla A.11 (Anexo A), referente al factor mordiente se observan los valores de los 3 mordientes del ángulo de matiz h° en un rango (60.66 – 68.86), el tono h° representa el tipo de color, el T4(fibra pre mordentado con collpa 1g teñida con tinte de nogal 20g) indica que tiene un matiz predominante amarillos h° : 68.86, T1(fibra teñida con tinte de nogal, sin mordiente) presento un valor menor h° : 60.66 pero de igual forma asociados a tonos amarillos-anaranjados, como se observa en la Figura 13.

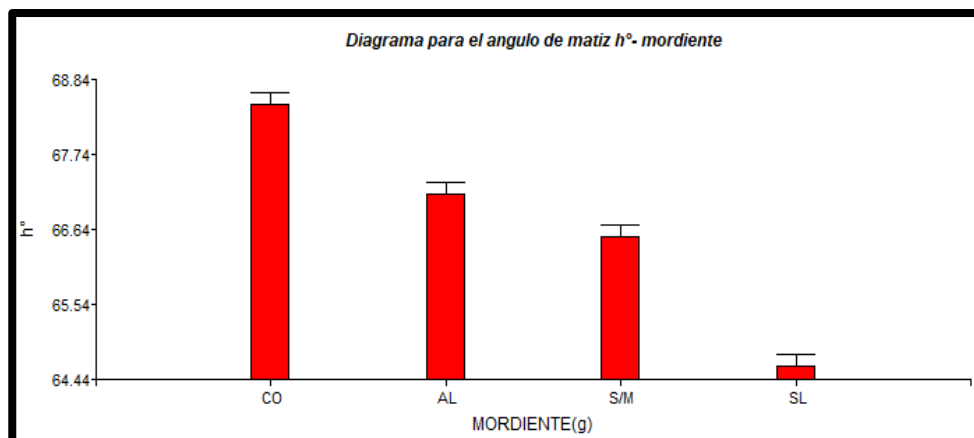


Figura 13 — Diagrama del ángulo de matiz (h°)- factor mordiente

Según la Tabla A.12 (Anexo A) al realizar la comparación de promedios de Tukey, respecto al factor tinte, se evaluaron tres cantidades de hojas de nogal. Los resultados evidencian que el tinte con 30 g presento el mayor valor del ángulo de matiz h° (67.01°), mientras que el tinte con 40 g registro el valor levemente bajo (66.23°). Dando tonalidades amarillas o matices amarillentos, como se observa en la Figura 14.

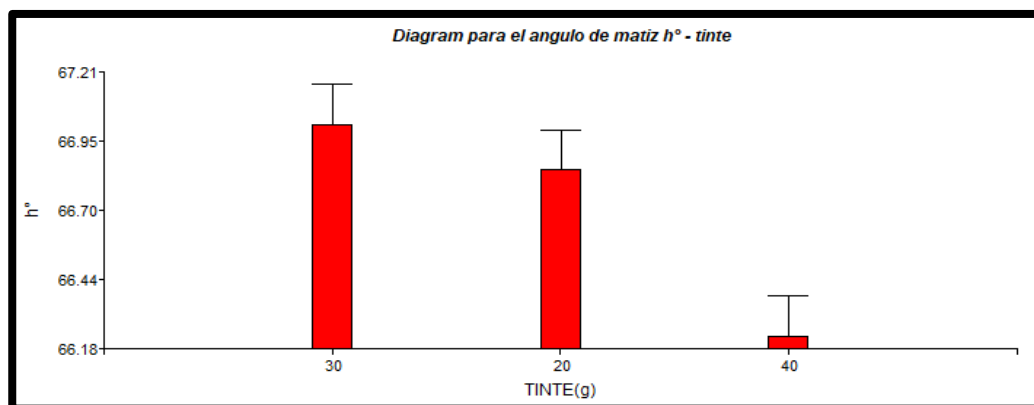


Figura 14 — Diagrama del ángulo de matiz (h°)- factor tinte

5.1.2 Análisis de propiedades de solidez de color de la fibra de alpaca Huacaya teñida con hojas de nogal (*Juglans regia*).

Las pruebas de solidez se realizaron en el Laboratorio N° 24 de Ingeniería Textil de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), siguiendo las normas técnicas internacionales ISO para evaluar la resistencia del color frente a procesos de lavado doméstico y de frotamiento. Se evaluaron 12 tratamientos (del T1 al T12).

5.1.2.1 Pruebas de solidez al lavado

La evaluación de la solidez al lavado doméstico se realizó conforme a la norma (ISO 105-C06, 2010), Test N° A1S. Las condiciones de la prueba incluyeron un baño de 150 ml con una concentración de 4 g/l de detergente, a 40 °C durante 30 minutos, utilizando un launderómetro. Posteriormente, se evaluaron tanto el cambio de color en la muestra de hilo como la transferencia de color a una multifibra testigo (DW).

a) Grado de cambio de color

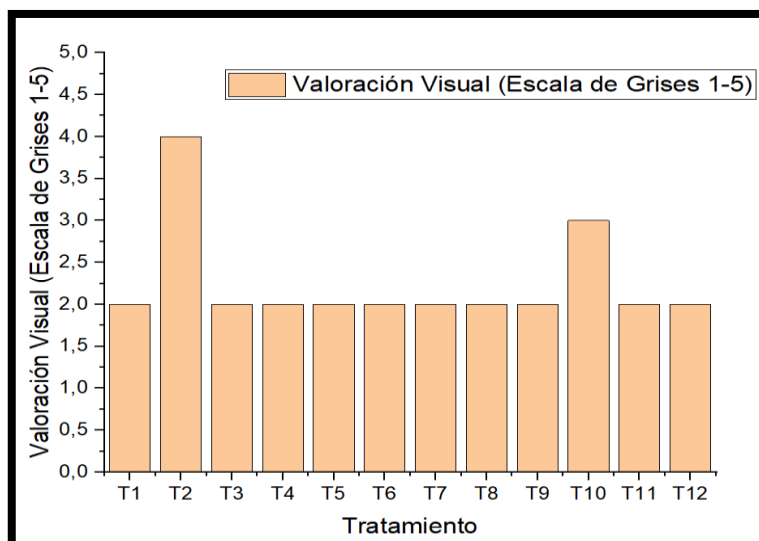
En la Tabla 12, los resultados del cambio de color del hilado, evaluados visualmente e instrumentalmente (software Datacolor Tools 1.1) bajo la luz D65, indican una variación significativa entre los tratamientos antes y después del lavado. El cual permitió determinar la transferencia de color del tinte con diferentes mordientes.

De acuerdo con la escala de grises para el cambio de color (donde 5 es sin transferencia de color y 1 es cambio de color severo), el T2(fibra teñida con tinte de nogal, sin mordiente) mostró el mejor desempeño, con una valoración visual de 4 (cambio ligero). Le sigue el T10 (fibra teñida con tinte de nogal,

pre mordentado con sal de limón 1g) con una valoración de 3. Los tratamientos (T4, T5, T6, T7, T8 y T12) obtuvieron valores intermedios (2), mientras que (T1, T3, T9 y T11) presentaron los valores más bajos (1-2), lo que indica un cambio de color severo, como se observa en la Figura 15 y Figura 20 del Anexo B.1

Tabla 12 — Evaluación del cambio de color en solidez al lavado doméstico (Escala de Grises)

T	Sin y con Mordiente	Cantidad de tinte (g)	Valoración Visual (Escala de Grises 1-5)	Interpretación
T1	S/M	20	1-2	Cambio Severo
T2	S/M	30	4	Cambio Ligero
T3	S/M	40	1-2	Cambio Severo
T4	Collpa	20	2	Cambio Considerable
T5	Collpa	30	2	Cambio Considerable
T6	Collpa	40	2	Cambio Considerable
T7	Alumbre	20	2	Cambio Considerable
T8	Alumbre	30	2	Cambio Considerable
T9	Alumbre	40	1-2	Cambio Severo
T10	Sal Limón	20	3	Cambio Notable
T11	Sal Limón	30	1-2	Cambio Severo
T12	Sal Limón	40	2	Cambio Considerable
FUENTE: Elaboración propia con base del Informe Técnico N° 023-2025-LAB24/FIQT/UNI				



FUENTE: Extraído del informe N° 023-2025-LAB24/FIQT/UNI (2025)

Figura 15 — Resultados visuales de solidez al lavado por tratamiento

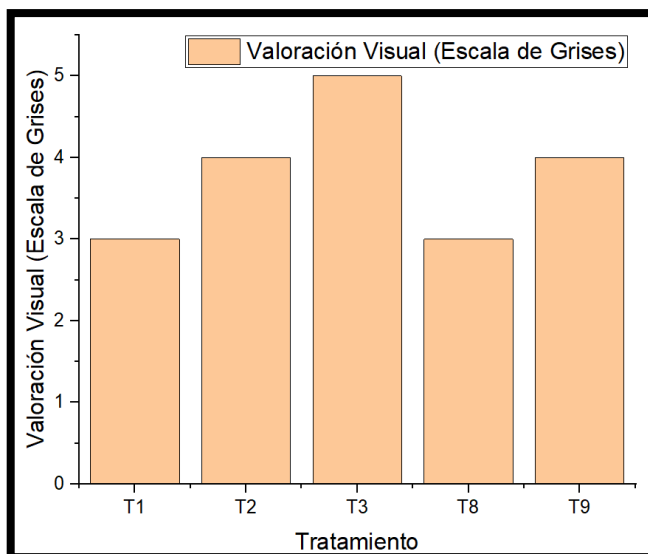
b) Grado de transferencia de color (Manchado)

La descarga o transferencia de color hacia las fibras adyacentes de la multifibra testigo mostró, en general, buenos resultados. A continuación en la Tabla 13, se presenta el comportamiento frente a la fibra de algodón, la más crítica.

Tabla 13 — Transferencia de color hacia fibra de algodón blanqueado (Multifibra DW)

Tratamiento	Valoración Visual (Escala de Grises)
T1	3
T2	4
T3 a T7	4-5
T8	3
T9 a T12	4
FUENTE: Elaboración propia con base en el informe técnico N° 023-2025-LAB24/FIQT/UNI.	

La mayoría de los valores se situaron entre 4 y 5, lo que indica un "ligero manchado". Sin embargo, la fibra de algodón blanqueado recibió una mayor transferencia en los tratamientos T1 y T8, como se observa en la Figura 16.



FUENTE: Extraído del informe técnico N° 023-2025-LAB24/FIQT/UNI.

Figura 16 — Resultados visuales de solidez al lavado por tratamiento

c) Observaciones cualitativas

Se observó migración de colorante al baño residual, especialmente en los tratamientos T5, T8 y T9. Asimismo, los hilados de los tratamientos T5 y T6 presentaron una mayor vellosidad superficial pos lavado. Como se muestra en la figura 20 Anexo B.1.1

5.1.2.2 Pruebas de solidez al frote

En la Tabla 14 nos indica la prueba de solidez al frote se realizó en seco, según la norma (ISO 105-X12, 2016), con una carga de $9 \pm 0,2$ N.

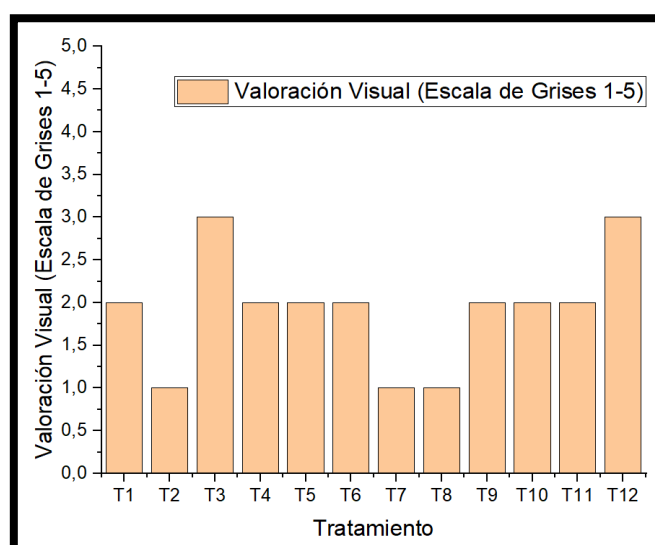
Los resultados que se muestran en la tabla 14 de la evaluación de solidez al frote en seco (escala de grises), de la transferencia de color al testigo blanco en seco muestran, en general, una baja solidez. Los tratamientos T3 (fibra teñido con tinte de nogal, sin mordiente) y T12 (fibra teñido con tinte de nogal, pre mordentado con sal de limón 1g) obtuvieron los mejores resultados en este grupo, con una valoración de 2-3. Por el contrario, T2, T7 y T8 presentaron los resultados más deficientes (1). En conclusión, todas las

muestras evidenciaron un "considerable manchado" durante la prueba de frote, como se observa en la Figura 17 y Figura 21 Anexo B.2.

Tabla 14 — Evaluación de la solidez al frote en seco (Escala de Grises)

T	Sin y con Mordiente (g)	Cantidad de tinte (g)	Valoración Visual (Escala de Grises 1-5)	Interpretación
T1	S/M	20	1-2	Solidez Baja
T2	S/M	30	1	Solidez Muy Baja
T3	S/M	40	2-3	Solidez Regular
T4	Collpa	20	1-2	Solidez Baja
T5	Collpa	30	2	Solidez Baja
T6	Collpa	40	1-2	Solidez Baja
T7	Alumbre	20	1	Solidez Muy Baja
T8	Alumbre	30	1	Solidez Muy Baja
T9	Alumbre	40	1-2	Solidez Baja
T10	Sal Limón	20	2	Solidez Baja
T11	Sal Limón	30	2	Solidez Baja
T12	Sal Limón	40	2-3	Solidez Regular

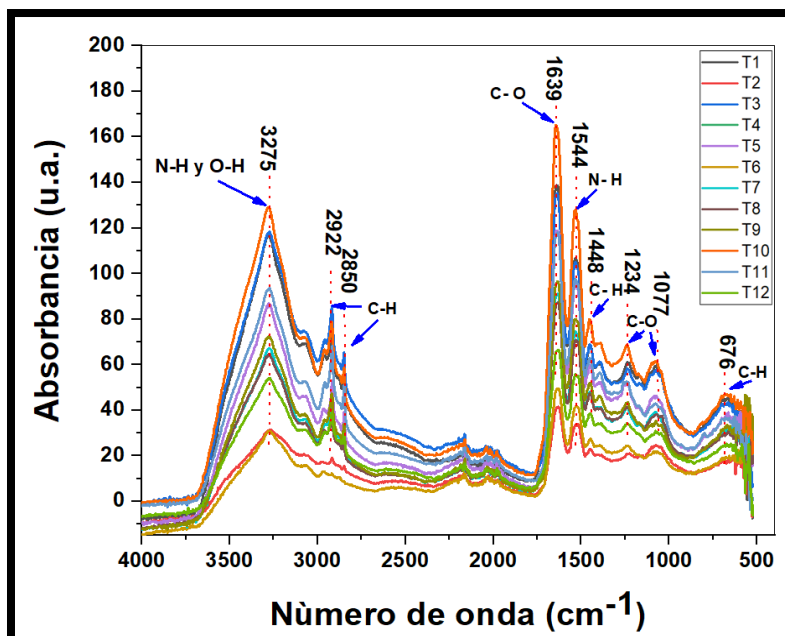
FUENTE: Extraído del Informe Técnico N° 023-2025-LAB24/FIQT/UNI



FUENTE: Extraído del informe técnico N° 023-2025-LAB24/FIQT/UNI

Figura 17 — Comportamiento de la solidez al frote en seco por tratamiento

5.1.3 Análisis de los grupos funcionales (FTIR) de la fibra de alpaca Huacaya (*Vicugna pacos*) teñida con tinte de hojas de nogal (*Juglans regia*).



FUENTE: Extraído de los datos obtenidos mediante uso de la espectroscopia
Figura 18 — Espectros obtenidos por FTIR en los 12 tratamientos

En la Figura 18, se presenta los espectros obtenidos mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) de la fibra de alpaca teñida con extracto de nogal en concentraciones de 20, 30 y 40 g, procesada con distintos mordientes (alumbre, collpa, sal de limón) y comparada con una muestra sin mordiente. El análisis espectroscópico permitió identificar los grupos funcionales característicos de la queratina y evaluar las interacciones químicas inducidas por el teñido, asignándose bandas específicas en distintas regiones del espectro: en la región de alta frecuencia, el pico en 3275 cm^{-1} se atribuye a las vibraciones de estiramiento de los grupos N-H y O-H (Amida A), mientras que las bandas en 2922 cm^{-1} y 2850 cm^{-1} corresponden al estiramiento del grupo C-H; en la región de la huella dactilar, se identificaron la banda en 1639 cm^{-1} del grupo C=O (Amida I), el pico en 1544 cm^{-1} del grupo N-H (Amida II) y la banda en 1448 cm^{-1} asociada a la flexión del grupo C-H; finalmente, en las regiones inferiores, los picos en 1234 cm^{-1} y 1077 cm^{-1} corresponden a los grupos C-O y el pico en 676 cm^{-1} a las vibraciones del grupo C-H. Al analizar la intensidad de las señales, se observó que las muestras teñidas sin mordiente presentaron una mayor absorbancia en la banda de 3275 cm^{-1} que la fibra blanca y los tratamientos con mordientes, comportamiento que se replicó en las bandas asociadas a los enlaces C-H, C=O y C-O. Las variaciones observadas en las intensidades de las bandas N-H, C=O y C-H se

atribuyen al proceso de pre-mordentado y a la incorporación de las moléculas del colorante en la matriz de la fibra (MORE, y otros, 2018), lo que evidencia modificaciones en las propiedades químicas superficiales y confirma la interacción efectiva entre los grupos funcionales de la queratina, los iones metálicos y el tinte (ERRA, y otros, 1997).

5.2 Contrastación de hipótesis

Hipótesis general: El Efecto de mordientes influirá sobre propiedades colorimétricas, solidez y grupo funcional en fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñida con nogal (*Juglans regia*).

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

a) Propiedades colorimétricas

- **Hipótesis específica 1**

El Efecto de mordientes influirá sobre las propiedades colorimétricas en fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñida con nogal (*Juglans regia*).

- **H₀:** El efecto de mordientes sobre propiedades colorimétricas (L^* , a^* , b^* , C y h°) en fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñida con nogal (*Juglans regia*) no afectan significativamente.
- **H_a:** El efecto de mordientes sobre propiedades colorimétricas (L^* , a^* , b^* , C y h°) en fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñida con nogal (*Juglans regia*) afectan significativamente.

Según los resultados obtenidos a través del análisis estadístico ANOVA y prueba de Tukey demuestran que el uso de mordientes no genera efectos significativos en las propiedades colorimétricas de las fibras analizadas, entonces se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.

b) Propiedades de solidez

- **Hipótesis específica 2**

El Efecto de mordientes influirá sobre las propiedades de solidez en fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñida con nogal (*Juglans regia*).



- **Ho:** El Efecto de mordientes sobre las propiedades de solidez en fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñida con nogal (*Juglans regia*) no afectan significativamente.
- **Ha:** El Efecto de mordientes influirá sobre las propiedades de solidez en fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñida con nogal (*Juglans regia*) afectan significativamente.

En los resultados obtenidos utilizando para el análisis de solidez al lavado se usó un launderómetro y solidez al frote en seco se usó un frotómetro demuestran que las fibras analizadas no afectan significativamente, lo cual se acepta la hipótesis nula y rechaza la alterna.

c) Propiedades funcionales (FTIR)

- **Hipótesis específica 3**

El Efecto de mordientes influirá sobre grupo funcional en fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñida con nogal (*Juglans regia*).

- **Hipótesis nula (Ho):** El efecto de mordientes sobre el grupo funcional (FTIR) en fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñida con nogal (*Juglans regia*) no afectan significativamente.
- **Hipótesis alterna (Ha):** El efecto de mordientes sobre el grupo funcional (FTIR) en fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) teñida con nogal (*Juglans regia*) afectan significativamente.

Según los resultados obtenidos a través del análisis espectroscópico que permitió identificar los grupos funcionales característicos de la queratina y así evaluar las interacciones químicas inducidas en el teñido, no genera efectos significativos en las propiedades químicas. Entonces se acepta la hipótesis nula y se rechaza la alterna.

5.3 Discusión

a) Propiedades colorimétricas

Según la cuantificación del color mediante el sistema CIEL*a*b*, la luminosidad (L*) el T10(fibra teñida con tinte de nogal, pre mordentada con sal de limón 1g) evidenció un bajo valor L*:56.38 dando como tonos medios claros; la coordenada a*:19.51



T2(fibra teñida con tinte de nogal, sin mordiente) indica a una tendencia a componentes rojizos; la coordenada b^* :42.73 T12(fibra teñida con tinte de nogal, pre mordentado con sal de limón 1g) tiene una tendencia hacia colores amarillos-anaranjados; croma C^* :47.31 T12(fibra teñida con tinte de nogal, pre mordentada con sal de limón 1g) tienen una tonalidades menos saturados y finalmente el ángulo de matiz h° :60.66 indica un matiz a naranja claro con tendencia hacia el amarillo.

Estos resultados concuerdan parcialmente con lo reportado por (STANCIUC DE PALMA, 2020) obteniéndose una mayor gamma de tonalidades de color marrón, desde color marrón menos oscuro de matiz amarillo hasta marrón más oscuro de matiz rojo que difiere de acuerdo al uso de cata tipo de mordiente, (GUERRA, y otros, 2022) obtuvo en el T2(tinturado a base de las hojas de nogal + piedra de alumbre) el color marrón compone 65.88% de rojo, 41% de verde y 27.84% de azul.

Tiene una saturación de 41% y una luminosidad de 47%, (LOZANO, y otros, 2024), quienes evaluaron el efecto del mordiente sobre la variación del diámetro y tono de color en hilo de fibra de alpaca teñida con flores de colli. Dichos autores reportaron una disminución de la luminosidad (L^* : 51.42), una coordenada a^* : -0.48, asociada a un color verde oscuro con mordiente collpa, y una coordenada b^* : 64.36, correspondiente a tonalidades amarillas. Además, el croma (C^* : 64.43) indicó una saturación media y un ángulo de matiz (h° : 92.03), característico de un matiz amarillo-verde.

En conjunto, los resultados confirman que la incorporación de diferentes mordientes en el extracto de nogal produce leves cambios en la coloración de la fibra de alpaca, influyendo significativamente en la luminosidad, saturación e inclinación tonal. En este sentido, la presente investigación resulta relevante para la selección adecuada de mordientes que permitan obtener tonalidades específicas y para comprender cómo estos procesos afectan posteriormente las características colorimétricas de la fibra.

b) Solidez

De acuerdo con los datos presentados en la Tabla 12 se realizó una evaluación de solidez de color donde el T2 (fibra teñido con tinte de nogal 30g, sin mordiente) con una buena firmeza de color con valoración 4/5 con un cambio ligero de color y el T10 (fibra teñido con tinte de nogal, pre mordentado con sal de limón 1g) con una valoración de 3/5 con cambio ligero de color. Y en la Tabla 14 con respecto a la solidez



de frote en seco, indica que en los tratamientos hay una baja solidez, el T3 (fibra teñido con tinte de nogal, sin mordiente) y T12 (fibra teñida con tinte de nogal, pre mordentada con sal de limón 1g) obtuvieron mejor valoración (2-3/5) de los demás tratamientos, en conclusión todos los tratamientos evidenciaron un considerable manchado.

Los valores obtenidos son consistentes previo, (LUNA CHAVEZ, 2013) reporto que tiene resistencia del teñido luego de diversos tratamientos de lavado, frote, planchado etc., (STANCIUC DE PALMA, 2020), reporto en solidez en la fibra de alpaca en un rango 3-4/5, y solidez al lavado presentan muy buena solidez 4/5, (GUERRA, y otros, 2022) registraron valores de solidez al frote de 3-4/5, considerados buenos conforme a la (ISO 105-X12, 2016), al emplear alumbre como mordiente en el tinturado de fibra de alpaca utilizando diferentes partes del nogal. (SUCASACA, 2021), reportó valores de solidez a la luz de 3-4/5, evaluados bajo condiciones de ebullición durante 60 minutos, considerados aceptables según las escalas normalizadas.

En conjunto, los resultados demuestran que el teñido de la fibra de alpaca con extracto de nogal permite alcanzar niveles aceptables de solidez al lavado según la norma (ISO 105-C06, 2010), especialmente en tratamientos sin pre-mordentado. No obstante, la solidez al frote en seco (ISO 105-X12, 2016) se presenta como un factor limitante, lo que evidencia la necesidad de optimizar el tipo de mordiente, su concentración y el método de aplicación, con el fin de mejorar la fijación del colorante y reducir la transferencia de color en aplicaciones textiles.

c) Grupo funcional (FTIR)

Para el efecto del teñido de la fibra de alpaca Huacaya con tinte de nogal a diferentes concentraciones se determinó el análisis mediante Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), se observó que la absorbancia de los enlaces químicos presentes en el espectro muestra mayor intensidad con el número de ondas con los enlaces N-H y O-H(alrededor de 3275 cm^{-1}), similar a (LOZANO, y otros, 2024) quien, en su estudio sobre el efecto del mordiente en la variación del diámetro y tono de color en hilo de fibra de alpaca teñida con flores de colli, observaron que las fibras teñidas sin mordiente presentaron una mayor intensidad en el enlace N-H y O-H ($3500\text{ a }3200\text{ cm}^{-1}$ la vibración de estiramiento), mientras que los hilos teñidos y mordentados con collpa mostraron una disminución en la intensidad de dicha banda.



De manera similar, (HUAMANI NAVARRO, 2024) en su investigación sobre el efecto del teñido con tinte de cochinilla (*Dactylopius coccus*) los tratamientos de fibra teñido sin mordientes presentan una longitud de onda 3288 cm^{-1} con mayor intensidad y mordientes metálicos en la fibra de alpaca Huacaya (*Vicugna pacos*), evidenció que las fibras teñidas únicamente con extracto de hojas de cochinilla mostraron una mayor intensidad espectral, mientras que la fibra blanca sin teñir presentó un espectro FTIR de menor intensidad.

En conjunto, los resultados del análisis FTIR indican que el proceso de teñido con tinte de nogal, tanto en presencia como en ausencia de mordientes, no genera cambios estructurales drásticos en la fibra de alpaca, solo produce variaciones en la intensidad de las bandas características, principalmente en la región asociada a los grupos N–H y O–H. Estas variaciones evidencian interacciones químicas entre el tinte, los mordientes y la fibra, las cuales influyen en la fijación del colorante y en las propiedades finales del material, sin comprometer la integridad química de la fibra, aspecto fundamental para su aplicación en procesos textiles sostenibles.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- El teñido de la fibra de alpaca Huacaya (*Vicugna pacos*) con tinte de nogal (*Juglans regia*) demostró que el tipo de mordiente influye significativamente en las propiedades colorimétricas, evidenciándose que la collpa favorece mayores valores de luminosidad (L^*), croma (C^*) y coordenada b^* , lo que permite obtener tonalidades más claras, intensas y con predominio de matices amarillo-marrón en comparación con la sal de limón y los tratamientos sin mordiente.
- La variación en la concentración del tinte de hojas de nogal (*Juglans regia*) mostró que la cantidad de tinte no genera cambios proporcionales en el matiz (h°), observándose que concentraciones intermedias permiten una mejor estabilidad tonal, lo que indica que la optimización del proceso no depende únicamente de la cantidad de tinte aplicado.
- En la evaluación de la solidez al lavado, realizada conforme a la norma (ISO 105-C06, 2010), los tratamientos presentaron valores entre 3 - 4/5, considerados aceptables a buenos, destacando aquellos tratamientos sin mordentado y pre-mordentado con sal de limón evidenciaron menor cambio de color y menor transferencia hacia la fibra multifibra de algodón.
- La solidez al frote en seco, evaluada según la (ISO 105-X12, 2016), mostró valores predominantemente bajos (2-3/5), evidenciando un manchado considerable en todos los tratamientos, lo que señala una limitación del tinte de nogal en cuanto a resistencia mecánica del color, aun en presencia de mordientes.
- El análisis del grupo funcional mediante FTIR (Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier) evidenció la presencia de bandas características de la fibra proteica, destacando el pico alrededor de 3275 cm^{-1} , atribuido a los grupos N-H y O-H (Amida A), sin observarse alteraciones estructurales significativas en la queratina, lo que indica que el proceso de teñido y mordentado no compromete la integridad química de la fibra.



- En conjunto, los resultados demuestran que el uso de tinte de nogal (*Juglans regia*) como tinte natural constituye una alternativa viable y sostenible para el teñido de fibra de alpaca (*Vicugna pacos*), permitiendo obtener tonalidades estables y estéticamente aceptables; sin embargo, se requiere la optimización del sistema de mordentado para mejorar la solidez al frote, aspecto clave para su aplicación a nivel industrial.

6.2 Recomendaciones

- Optimizar el tipo y la concentración de mordiente, priorizando la collpa y sal de limón, debido a que demostraron una mejor influencia en las propiedades colorimétricas y en la estabilidad del color en comparación del alumbre, especialmente para aplicaciones textiles que requieran tonalidades más intensas y uniformes.
- Evaluar la aplicación de post-mordentado como alternativa al pre-mordentado, dado que los resultados sugieren una mejor fijación del colorante y una reducción del cambio de color y de la transferencia durante el lavado, conforme a los criterios establecidos por las normas ISO 105.
- Profundizar en estudios orientados a mejorar la solidez al frote en seco, mediante la combinación del tinte de nogal con otros mordientes naturales o metálicos, así como la modificación de parámetros del proceso de teñido, tales como tiempo, temperatura y pH, con el fin de disminuir el manchado observado en todos los tratamientos.
- Realizar análisis complementarios, como FTIR comparativo antes y después de ensayos, para evaluar posibles cambios en las interacciones químicas entre el tinte, el mordiente y la fibra tras los procesos de lavado y frote.
- Ampliar la investigación hacia la evaluación de la solidez a la luz (ISO 105-B02), con el propósito de obtener una caracterización integral del comportamiento del color en la fibra de alpaca teñida con extracto de nogal, considerando su posible aplicación en productos textiles de uso prolongado.
- Replicar el estudio utilizando otras variedades de fibra de alpaca y diferentes títulos de hilo, con el fin de determinar la influencia de la estructura y finura de la fibra en la absorción del tinte y en las propiedades colorimétricas y de solidez.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADOT, Oscar Gabriel et al. 2010.** Introducción a la industrialización de la lana y fibras especiales
- ARIAS, F. G. 2012.** *El proyecto de investigacion. introduccion a la metodologia cientifica*(6ta ed.) Editorial Episteme (2, 3).
- ARROYO FIGUEROA, Gabriela y ALVAREZ CANELO, Jesus Guadalupe. 2017.** *Teñido de fibras naturales con colorantes naturales*. Guanajuato : s.n., 2017.
- ASTM E1252-13, American society for testing and materials. 2013.** *Standard practice for general techniques for obtaining infrared spectra for qualitative analysis*. West Conshohocken.: s.l. : ASTM International, 2013.
- BARRAZA, GUILLERMO Y OTROS. 2013.** *La microespectroscopia de infrarrojo con transformada de fourier en el estudio de sistemas biologicos*. 2013. vol 41,3.
- BUSTINZA, CHOQUE A. Victor. 2001.** *La alpaca*. Puno : Printed in Peru, 2001.
- CAPILLA, Pascual; y otros. Fundamentos de colorimetría.** España: Universitat de València, 2002. ISBN 84-370-5420-6.
- CARPIO, M. 1991.** *La fibra de camelidos*. Lima : Novoa, 1991. 295-356.
- CARRASCO BOCANGEL Jose y SUCASACA Alexander. 2021.** *Estudio preliminar de teñido de fibra de alpaca utilizando extracto acuoso de molle(Schinus molle) como pigmento natural*. Puno : Revista de innovacion y trasferencia productiva-ritp, 2021.
- DE GEA, Gines. 2007.** *El ganado lanar en la argentina*. Argentina : Universidad Nacional de Rio, 2007. 978-950.
- ERRA, P., y otros. 1997.** *FTIR analysis to study chemical changes in wool following a sulfitolysis treatment*. s.l. : textile research journal, 1997. 67(6), 397-401.
- GIBAJA, S. 1988.** *Pigmentos naturales quinónicos*. Lima : Edicion Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 1988.
- GUERRA, Wilmo, VACA, Maritza y GUZMAN, Manuel. 2022.** *Tinturado de la fibra de alpaca utilizando diferentes partes de la planta de nogal(Corteza, hojas t fruto)*. Ecuador : reciencia, 2022.
- GUTIÉRREZ, J.** *Utilización de colorantes naturales en el teñido de fibras de algodón en tejido de punto aplicados por el método de agotamiento*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2005.



- GREGOR, M.; WUANG, B. A.; LIU, X. G.** Comparisons of the Fourier transform infrared spectra of cashmere, guard hair, wool and other animal fibres. 2017, p. 109.
- HERNANDEZ-SAMPIERI, R. & MENDOZA, C. P. 2018.** *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.* McGraw-Hill Education [2, 3].
- HOLLEN, Norma. 2002.** *Introduccion a loa textiles.* 2002.
- HOYOS MALLQUI, Marina. 2016.** Evaluación de frutos de mio.mio (*Coriaria ruscifolia*) a distintos mordientes y parámetros de alpaca de teñido en fibra de alpaca (*Lama pacos*)
- HUAMANI NAVARRO, Liz Nerida. 2024.** *Efecto del teñido de tinte de "cochinilla" (Dactylopius coccus) y mordientes metalicos sobre las propiedades de colorimetricas, bandas quimicas y de solidez de color en fibra de alpaca Huacaya(Vicugna pacos).* 2024.
- ISO 105-C06, Organizacion internacional de normalizacion. 2010.** *extiles — Tests for colour fastness — Part C06: Colour fastness to domestic and commercial laundering.* Ginebra : s.n., 2010.
- ISO 105-X12, Organizacion internacional de normalizacion. 2016.** *Textiles — Tests for colour fastness — Part X12: Colour fastness to rubbing.* Ginebra : s.n., 2016.
- ISO 11664-4, Organizacion internacional de normalizacion. 2019.** *Colorimetría — Parte 4: Espacio de color CIE L*a*b*.* Ginebra : s.n., 2019.
- LOZANO, FRANKLIN Y QUISPE, ARTURO Y VILCANQUI, FULGENCIO. 2024.** *Efecto de mordientes sobre la variacion de diametro y tono de color en hilos de fibra de alpaca teñidos con flores de colli(Buddleja coriacea).* Abancay, Apurimac : s.n., 2024.
- LUNA CHAVEZ, CARMEN MABEL y REYNA MENDOZA, GLADIS ENITH. 2020.** *Comportamiento del colorante de las hojas del nogal (Juglans neotropica Diels) durante el teñido de fibras de lana respecto a la temperatura de teñido y tiempo de pos cossecha.* Callao-Perú : Universidad Nacional de Callao, 2020.
- LUNA CHAVEZ, CARMEN MABEL 2015.** *Influencia de la temperatura en el tratamiento de fibras proteínicas (queratina) con hojas de nogal.* LIMA : Universidad Nacional del Callao, 2015.
- LUNA CHAVEZ, 2013.** *Teñido de fibras preoteicas (queratina) con hojas de nogal, en frio.* LIMA : Universidad Nacional del Callao, 2015.
- MAIER, M y DOS SANTOS, A. 2007.** *QUIMICA Y COLOR EN LOS TEXTILES .* s.l. : Universidad de buenos Aires, 2007.
- MARÍN, y otros. 2013.** *Fibras textiles naturales sustentables y nuevos hábitos de consumo.* 2013.



- MENDOZA HUAMANI, CELIA MARTA. 2018.** *Evaluación del tipo y cantidad de mordiente en la intensidad de color y solidez al lavado del teñido de fibra de alpaca (Vicugna pacos) con aliso (Alnus acuminata H.B.K)*
- MORE, S. V y CHAVAN, S y PRABHUNE, A. A. 2018.** *Silk degumming and utilization of silk sericin by hydrolysis using protease from Beauveria Sp. (MTCC5184): A green approach.* s.l. : Journal of natural Fibers, 2018.
- OBANDO PORTILLO, Ruth Elizabeth. 2013.** *Tintura alternativa en hilos de lana con colorantes naturales.* Ibarra : Universidad tecnica del norte, 2013.
- OJEDA, GALO ANTONIO. 2012.** *Teñido de fibra de alpaca utilizando colorante extraído de la cochinilla .* Quito : Universidad de Loja, 2012.
- OYAGE, Javier Mateo. 2010.** *Características de la carne de alpaca y procesamiento de charqui en los departamentos de puno y cusco.* Lima : Graficas Celarayn S.A., 2010.
- PALACIOS, B.G. 2021.** *Extraccion, productividad y aplicacion de tintes naturales.* Ecuador : s.n., 2021.
- PAZOS, S. 2017.** *Teñido en base a tintes naturales: conocimiento y tecnicas ancestrales de artistas de Peru y Bolivia compilacion.* 2017.
- PINCHE GONZÁLES, Luz María.** *Evaluación colorimétrica, solidez y características textiles del hilo de fibra de alpaca teñido con flores de qolle (Buddleja coriacea) utilizando diferentes mordientes.* Abancay: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, 2025. Tesis.
- RODRIGUEZ, A.R. 2000.** *Las fibras clisificacion y definicion.* Mexico : Universidad Autonoma Metropolitana, 2000.
- ROJAS, OSWALDO y MAVILA, DANIEL y ROJAS , Nora. 2011.** *Insumoz ecologicos en la serigrafia textil.* Lima : Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2011. Vol. 14. 1560-9146.
- SILVERSTEIN M., ROBERT. 2014.** *Spectrometric identification of organic compounds.*
- STANCIUC DE PALMA, VIORICA. 2020.** *Teñido mordentado de fibras naturales con colorantes extraído de las hojas de nogal (Juglans neotrópica).*
- SUCASACA, Alexander. 2021.** *Teñido de hilado de alpaca utilizando pigmento extraído de la col morada (Brassica oleracea var. capitata f. rubra).* Puno : Centro de Innovación Productiva y Transferencia Tecnológica Textil Camélidos Puno (CITetextil Puno), 2021.
- VALVERDE, JHULIANA XIOMARA ET AL. 2020.** *Composiciom quimica de la madera de Jglans neotropica Diels y su reaccion con las propiedades quimicas del suelo en la parroquia valladolid.* Ecuador : s.n., 2020.



TESTEX. *Solidez del color: introducción a la solidez del color al lavado.* 2010. Disponible en: <https://www.testextextile.com/es/solidez-del-color-tinte-de-introducci%C3%B3n-solidez-del-color-lavado/>



ANEXOS



Anexo A

A.1 Resultados de las propiedades colorimétricas

Tabla 15 — Resultados de las propiedades colorimétricas con sus respectivas repeticiones

T	Factor A	Factor B	Propiedades colorimétricas				
	Sin y con Mordientes (g)	Tinte de hojas de nogal (g)					
			L*	a*	b*	C*	h°
T1	S/M	20	59.25	19.73	46.55	50.56	67.03
	S/M	20	61.13	20.51	47.73	51.95	66.75
	S/M	20	57.42	19.8	44.87	49.04	66.19
T2	S/M	30	58.84	19.34	45.29	49.25	66.88
	S/M	30	58.73	19.29	45.2	49.15	66.89
	S/M	30	63.48	19.9	48.35	52.28	67.62
T3	S/M	40	58.41	19.97	44.67	48.94	65.91
	S/M	40	56.61	21.33	47.58	52.14	65.85
	S/ M	40	58.99	19.63	43.33	47.57	65.63
T4	CO	20	61.63	19.41	48.63	52.36	68.24
	CO	20	60.05	19.74	52.45	56.04	69.38
	CO	20	60.73	19.72	51.3	54.96	68.97
T5	CO	30	59.07	19.98	50.12	53.95	68.26
	CO	30	59.39	20.33	52.76	56.54	68.93
	CO	30	59.4	20.41	52.75	56.56	68.85
T6	CO	40	64.99	22.13	56.11	60.31	68.47
	CO	40	60.04	20.21	50.19	54.1	68.07
	CO	40	59.26	19.72	46.54	50.55	67.04
T7	AL	20	59.18	20.71	47.95	52.23	66.64
	AL	20	57.93	20.88	47.97	52.32	66.48
	AL	20	58.79	20.63	51.67	55.64	68.23
T8	AL	30	59.49	19.87	47.7	51.68	67.38
	AL	30	59.57	19.34	47.17	50.98	67.71
	AL	30	59.94	19.39	47.42	51.23	67.76
T9	AL	40	60.17	20.4	48.6	52.71	67.22
	AL	40	57.91	20.75	46.75	51.15	66.06
	AL	40	60.52	20.57	48.1	52.3	66.85
T10	SL	20	56.59	21.07	44.63	49.35	64.73
	SL	20	54.48	19.83	42.38	46.8	64.92
	SL	20	58.06	20.42	42.93	47.54	64.57
T11	SL	30	57.9	20.71	42.97	47.7	64.27
	SL	30	58.53	20.71	43.42	48.11	64.51
	SL	30	59.9	20.51	44.17	48.09	65.09
T12	SL	40	57.51	20.14	41.92	46.5	64.34
	SL	40	57.06	20.18	42.18	46.76	64.43
	SL	40	59.59	20.65	44.08	48.68	64.9



NOTA

En la tabla se visualiza las treinta y seis repeticiones en cuanto a las propiedades colorimétricas la luminosidad (L^*), coordenada (a^* y b^*), croma (C^*) y el ángulo de tonos (h°) y mordientes, sin mordiente(S/M), Collpa (CO), Alumbre (AL) y Sal de limón (SL).

En la tabla se visualiza las treinta y seis repeticiones en cuanto a las propiedades colorimétricas Luminosidad (L^*), Coordenada(a^* y b^*), Croma (C^*) y el Angulo de matriz (h°).

A.2 LUMINOSIDAD L^* **Tabla 16 — ANOVA para la luminosidad L^***

FACTOR DE VARIACION	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	71.22	13	5.48	2.30	0.0414
Mordiente (g)	34.71	3	11.57	4.85	0.0097
Tinte (g)	3.47	2	1.74	0.73	0.4945
Repeticiones	9.96	2	4.98	2.09	0.1480
Mordiente (g)*Tinte(g)	23.08	6	3.85	1.61	0.1910
Error	52.51	22	2.39		
Total	123.73	35			

Tabla 17 — Test Tukey para Luminosidad

Agrupar información utilizando método de Tukey a una confianza de 95%

Mordiente(g)	Medias	N	E.E.	Agrupación	
Collpa	60.51	9	0.53	A	
Alumbre	59.28	9	0.53	A	B
Sin mordiente	59.21	9	0.53	A	B
Sal de limón	57.74	9	0.53		B

Las medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

A.3 COORDENADA a*

Tabla 18 — ANOVA para la coordenada a*

FACTOR DE VARIACION	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6.91	13	0.53	1.76	0.1171
Mordiente (g)	1.29	3	0.43	1.42	0.2635
Tinte (g)	1.45	2	0.73	2.41	0.1134
Repeticiones	0.21	2	0.11	0.35	0.7076
Mordiente (g)*Tinte(g)	3.96	6	0.66	2.18	0.0838
Error	6.65	22	0.30		
Total	13.56	35			

Tabla 19 — Test de Tukey para la coordenada a*

Agrupar información utilizando método de Tukey a una confianza de 95%

Mordiente(g)	Tinte(g)	Medias	N	E.E.	Agrupación
Alumbre	20	20.74	3	0.32	A
Collpa	40	20.69	3	0.32	A
Sal de limón	30	20.64	3	0.32	A
Alumbre	40	20.57	3	0.32	A
Sal de limón	20	20.44	3	0.32	A
Sal de limón	40	20.32	3	0.32	A
Sin mordiente	40	20.31	3	0.32	A
Collpa	30	20.41	3	0.32	A
Sin mordiente	20	20.01	3	0.32	A
Collpa	20	19.62	3	0.32	A
Alumbre	30	19.53	3	0.32	A
Sin mordiente	30	19.51	3	0.32	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

A.4 COORDENADA b*

Tabla 20 — ANOVA para la coordenada b*

Factor de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	322.12	13	24.78	5.66	0.0002
Mordiente (g)	311.25	3	103.75	23.69	<0.0001
Tinte (g)	3.81	2	1.90	0.43	0.6530
Repeticiones	0.02	2	0.01	2.0E-03	0.9980
Mordiente (g)*Tinte(g)	7.05	6	1.18	0.27	0.9458
Error	96.37	22	4.38		
Total	418.49	35			

Tabla 21 — Test de Tukey para la coordenada b*

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

Mordiente(g)	Medias	n	E.E.	Agrupación		
Collpa	51.21	9	0.70	A		
Alumbre	48.15	9	0.70		B	
Sin mordiente	45.95	9	0.70		B	
Sal de limón	43.19	9	0.70			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

A.5 CROMA C*

Tabla 22 — ANOVA para Croma C*

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	273.48	13	21.04	4.57	0.0007
Mordiente (g)	262.05	3	87.35	19.73	<0.0001
Tinte (g)	2.09	2	1.05	0.24	0.7915
Repeticiones	0.11	2	0.06	0.01	0.9875
Mordiente (g)*Tinte(g)	9.23	6	1.54	0.35	0.9039
Error	97.42	22	4.43		
Total	370.90	35			



Tabla 23 — Test de Tukey para la croma C*

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

Mordiente(g)	Medias	n	E.E.	Agrupación		
Collpa	55.04	9	0.70	A		
Alumbre	52.25	9	0.70		B	
Sin mordiente	50.10	9	0.70		B	C
Sal de limón	47.73	9	0.70			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

A.6 ANGULO DE MATIZ h°

Tabla 24 — ANOVA para el ángulo de matiz h°

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	74.38	13	5.72	21.68	<0.0001
Mordiente (g)	68.39	3	22.80	86.37	<0.0001
Tinte (g)	4.06	2	2.03	7.69	0.0029
Repeticiones	0.24	2	0.12	0.46	0.6367
Mordiente (g)*Tinte(g)	1.68	6	0.28	1.06	0.4146
Error	5.81	22	0.26		
Total	80.18	35			

Tabla 25 — Test de Tukey para el ángulo de matiz h°- factor mordiente

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

Mordiente(g)	Medias	N	E.E.	Agrupación		
Collpa	68.47	9	0.17	A		
Alumbre	67.15	9	0.17		B	
Sin mordiente	66.53	9	0.17		B	
Sal de limón	64.64	9	0.17			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tabla 26 — Test de Tukey para ángulo de matiz h°- factor tinte

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

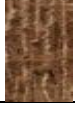
Tinte(g)	Medias	n	E.E.	Agrupación	
30	67.01	12	0.15	A	
20	66.84	12	0.15	A	
40	66.23	12	0.15		B

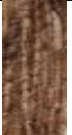
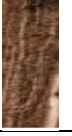
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo B

B.1 Propiedades solidez al lavado

Tabla 27 — Resultados de prueba de solidez al lavado

T	Sin y con Mordientes (g)	Valoración Visual (Escala de Grises 1-5)		Muestras de solidez al lavado	
		Espectrofotómetro	Visual	Antes	Después
T1	S/M	1-2	1-2		
T2	S/M	4	4		
T3	S/M	1-2	1-2		
T4	Collpa	2	2		
T5	Collpa	2	2		
T6	Collpa	2	2		
T7	Alumbre	3	2		
T8	Alumbre	2-3	2		
T9	Alumbre	1-2	1-2		
T10	Sal Limón	4	3		

T11	Sal Limón	1-2	1-2		
T12	Sal Limón	2	2		

NOTA
 Las propiedades de solidez al lavado evaluados visualmente e instrumentalmente (Software Datacolor Tools 1.1) bajo la luz D65, escala de grises con valoración (1-5) donde 1 es cambio severo y 5 sin cambio de color.
 FUENTE: Adaptado del INFORME TÉCNICO N° 023-2025-LAB24/FIQT/UNI, 2025

B.1.1 Apariencia del hilado después de la prueba de lavado domestico

- T5 (fibra teñido con tinte de nogal, pre mordentado con collpa 1g)
- T6 (fibra teñido con tinte de nogal, pre mordentado con collpa 1g)

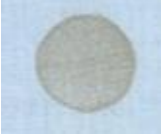
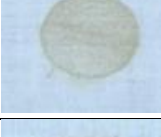


FUENTE: Extraído INFORME TÉCNICO N° 023-2025-LAB24/FIQT/UNI, 2025

Figura 19 — Apariencia del hilado después del proceso de lavado

B.2 Propiedades de solidez al frote

Tabla 28 — Resultados de prueba de solidez al frote en seco

T	Sin y con Mordientes (g)	Valoración Visual (Escala de Grises 1-5)		Muestras de solidez al frote en seco
		Espectrofotómetro	Visual	
T1	S/M	1-2	1-2	
T2	S/M	1	1	
T3	S/M	2-3	2-3	
T4	Collpa	1-2	1-2	
T5	Collpa	2	2	
T6	Collpa	1-2	1-2	
T7	Alumbre	1	1	
T8	Alumbre	1	1	
T9	Alumbre	1-2	1-2	
T10	Sal Limón	2	2	
T11	Sal Limón	2	2	

T12	Sal Limón	2-3	2-3	
NOTA Las propiedades de solidez al frote evaluados visualmente e instrumentalmente (Software Datacolor Tools 1.1) bajo la luz D65, escala de grises con valoración (1-5) donde 1 manchado severo y 5 sin transferencia de color. FUENTE: Adaptado INFORME TÉCNICO N° 023-2025-LAB24/FIQT/UNI, 2025				

Anexo C

C.1 Materia prima nogal (*Juglans regia*)

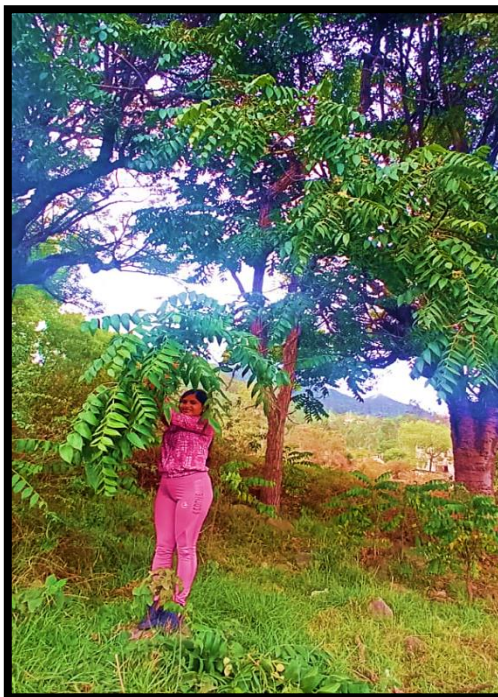


Figura 20 — Recolección



Figura 21 — Secado

C.2 MORDIENTES



Figura 22 — Alumbre



Figura 23 — Sal de limón



Figura 24 — Collpa



Figura 25 — Pesado de mordientes 1 g de cada uno, 12 tratamientos*3=36

C.3 Fibra de alpaca



Figura 26 — Limpieza preliminar



Figura 27 — Cardado



Figura 28 — Hilado de fibra



Figura 29 — Pesado 4g c/u por 36 T

C.4 Lavado de fibra de alpaca



Figura 30 — Fibra 4 g c/u



Figura 31 — Bicarbonato, shampoo



Figura 32 — Midiendo la T a 30°C



Figura 33 — Lavado



Figura 34 — Enjugado



Figura 35 — Secado

C.5 PROCESO DE EXTRACCION DE TINTE DE NOGAL



Figura 36 — Pesado de hojas de nogal (20, 30 y 40 g)



Figura 37 — Extracción de tinte de hojas de nogal



Figura 38 — Maceración



Figura 39 — Tinte extraído

C.6 MORDENTADO Y TEÑIDO



Figura 40 — Mordentado de fibras hiladas



Figura 41 — Tinte extraído



Figura 42 — Teñido



Figura 43 — Fibra teñida



Figura 44 — Lavado



Figura 45 — Secado

C.7 Pruebas de propiedades colorimétricas y FT-IR

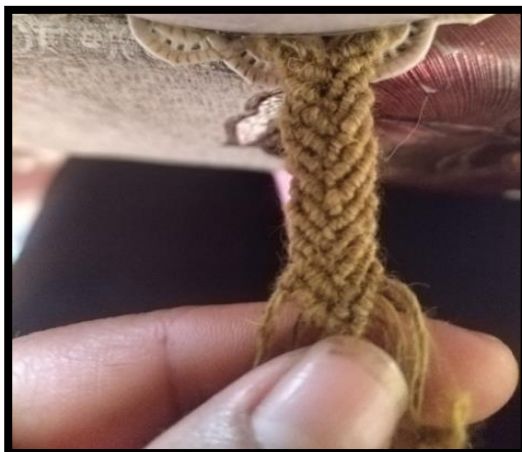


Figura 46 — Tejido

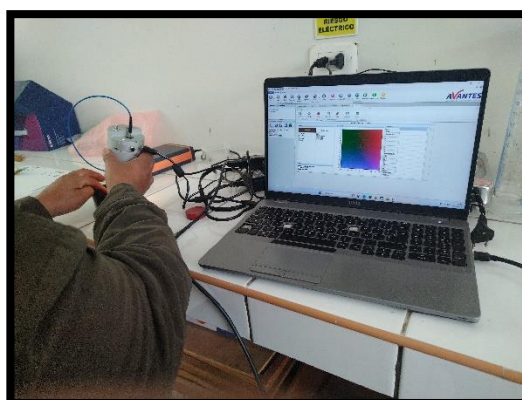


Figura 47 — Colorímetro



Figura 48 — Sin mordiente + nogal



Figura 49 — Collpa + nogal



Figura 50 — Alumbre + nogal



Figura 51 — Sal de limón + nogal