

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



Tesis

Efecto de mordientes en la variación de tonos de color y evaluación de características textiles en lana de ovino y algodón nativo teñidos con flores de colli (*Buddleja coriacea*)

Presentada por:

Clever Huarhua Huillcapaniora

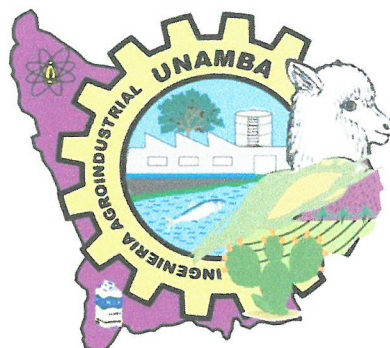
Para optar el título de Ingeniero Agroindustrial

Abancay, Perú

2025



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



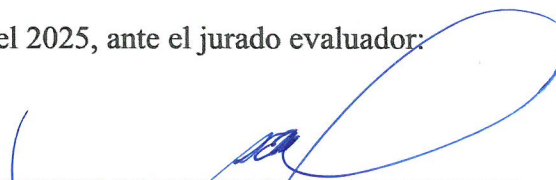
TESIS

**Efecto de mordientes en la variación de tonos de color y evaluación de características textiles en lana de ovino y algodón nativo teñidos con flores de colli
(*Buddleja coriacea*)**

Presentado por **Clever Huarhua Huillcapaniora**, para optar el título de Ingeniero Agroindustrial

Sustentada y aprobado el 18 de julio del 2025, ante el jurado evaluador:

Presidente:


Ing. Agustín Elguera Hilares

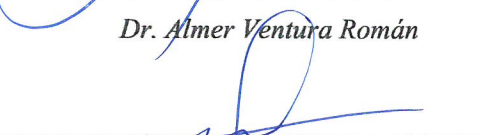
Primer miembro:


Dr. Anderson Nuñez Fernández

Segundo miembro:


Dr. Almer Ventura Román

Asesores:


Mag. Arturo Quispe Quispe


Mtro. Franklin Lozano Cusi

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 158-2025

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la Tesis intitulada: **Efecto de mordientes en la variación de tonos de color y evaluación de características textiles en lana de ovino y algodón nativo teñidos con flores de colli (*Buddleja coriacea*)**, presentado por el Bachr: **CLEVER HUARHUA HUILLCAPANIORA**, Para optar el Título de **Ingeniero de 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 (17%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos por la Universidad.

Abancay, 16 de julio del 2025

Atentamente,


UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
Dra. Hermeralda Rojas Enriquez
DIRECTORA DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA

C. c.
Archivo
REG. N° 517

Agradecimiento

*Agradezco a Dios por haberme acompañado en este proceso de mi vida y a mis padres : **Pedro Damian Huarhua Encalada** y **Justina Aurelia Huillcapaniora Huallpa** que me brindaron su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos. Con su cariño y sus palabras me impulsaron a seguir mis metas y no abandonar frente a las adversidades.*

Agradecer a los docentes de asoría, su experiencia, comprensión y tolerancia ayudaron a mi experiencia en el complejo y gratificante camino de la investigación. Su guía y su fe inquebrantable en mis habilidades me han motivado a alcanzar alturas que nunca imagine.

Clever Huarhua Huillcapaniora



Dedicatoria

A mis padres, este logro es un testimonio de su inmenso amor dedicación. Valoro mucho la lección de la vida que me impartieron y su apoyo que me brindaron. Esta tesis es un tributo a su legado y a su eterna admiración que siento, gracias por ser los mejores.

A mis hermanos y amigos, quienes, con su confianza y apoyo incondicional, estuvieron a mi lado en cada paso de este camino. Su aliento y compañía han sido fundamentales para alcanzar mi meta.

A mis asesores y docentes de estudio que me han apoyado y me hicieron ver que sin importar cuanto tiempo te tome en alcanzar tus metas , todo se puede si de verdad se quiere.

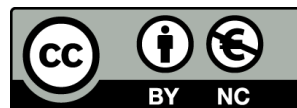
Clever Huarhua Huillcapaniora



Efecto de mordientes en la variación de tonos de color y evaluación de características textiles en lana de ovino y algodón nativo teñidos con flores de colli (*Buddleja coriacea*)

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	3
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	13
3.2.1 Ovino criollo	13
3.2.2 Algodón	17
3.2.3 Colli (<i>Buddleja coriácea</i>)	19
3.2.4 Colorantes	21
3.2.5 Teñido	22



3.2.6 Mordiente	28
3.2.7 Colorimetría	29
3.2.8 Características textiles	31
3.2.9 Diseño de experimentos	31
3.3 Marco conceptual	34
CAPÍTULO IV	36
METODOLOGÍA	36
4.1 Tipo y nivel de investigación	36
4.1.1 Tipo de investigación	36
4.1.2 Nivel de investigación	36
4.2 Diseño de investigación	36
4.3 Población y muestra	38
4.3.1 Población	38
4.3.2 Muestra	39
4.4 Procedimiento	39
4.4.1 Recolección de las flores de colli (<i>Buddleja coriacea</i>)	39
4.5 Técnica e instrumentos	43
4.5.1 Determinación de parámetros de colorimetría	43
4.5.2 Características textiles	43
4.5.3 Instrumentos	44
4.6 Análisis estadístico	45
CAPÍTULO V	46
RESULTADOS Y DISCUSIONES	46
5.1 Análisis de resultados	46
5.1.1 Análisis de colorimetría de algodón nativo teñido con colorante de flor de colli (<i>Buddleja coriacea</i>)	46
5.1.2 Análisis de colorimetría de la fibra de lana de ovino teñido con colorante de flor de colli (<i>Buddleja coriacea</i>)	54
5.1.3 Análisis de las características textiles teñidas con flores de colli (<i>Buddleja coriacea</i>) con muestras de hilos de algodón nativo	63
5.1.4 Análisis de las características textiles teñidas con flores de colli (<i>Buddleja coriacea</i>) con muestras de hilos de lana de ovino	70
5.2 Contrastación de hipótesis	79
5.3 Discusiones	81



5.3.1	Parámetros de colorimetría	81
5.3.2	Características textiles	82
CAPÍTULO VI		84
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		84
6.1	Conclusiones	84
6.2	Recomendaciones	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		86
ANEXOS		93



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 — Operacionalización de variables	9
Tabla 2 — Clasificación de los colorantes según su naturaleza química	17
Tabla 3 — Composición química del algodón	19
Tabla 4 — ANOVA para el diseño completamente al azar de un factor	34
Tabla 5 — Diseño de los tratamientos de las propiedades colorimétricas	37
Tabla 6 — Diseño de los tratamientos para las características textiles	38
Tabla 7 — Datos de análisis de color de algodón nativo teñida con colorante de flor de colli (<i>Buddleja coriacea</i>)	46
Tabla 8 — Análisis de varianza (ANOVA)	47
Tabla 9 — Test de Tukey para luminosidad	48
Tabla 10 — Análisis de varianza	49
Tabla 11 — Test de Tukey para la coordenada a*	49
Tabla 12 —Análisis de varianza	50
Tabla 13 — Test de Tukey para la coordenada b*	51
Tabla 14 — Análisis de varianza	52
Tabla 15 — Test de Tukey para el croma (C*)	52
Tabla 16 — Análisis de varianza	53
Tabla 17 — Test de Tukey para tono h°	54
Tabla 18 — Datos de análisis de color de la fibra de lana de ovino teñida con colorante de flor de colli (<i>Buddleja coriacea</i>)	55
Tabla 19 — Análisis de varianza	56
Tabla 20 — Test de Tukey para luminosidad	56
Tabla 21 — Análisis de varianza	57
Tabla 22 — Test de Tukey para la coordenada a*	58
Tabla 23 — Análisis de varianza	59
Tabla 24 — Test de Tukey para la coordenada b*	59
Tabla 25 — Análisis de varianza	60
Tabla 26 — Test de Tukey para croma	61

Tabla 27 — Análisis de varianza	62
Tabla 28 — Test de Tukey para h°	62
Tabla 29 — Datos de evaluación de características textiles de los hilos de algodón nativo teñida con colorante de flor de colli	64
Tabla 30 — Análisis de varianza	65
Tabla 31 — Test de Tukey para el DMF	65
Tabla 32 — Análisis de varianza	66
Tabla 33 — Test de Tukey para el CV	67
Tabla 34 — Análisis de varianza	68
Tabla 35 — Test de Tukey para el IC	68
Tabla 36 — Análisis de varianza	69
Tabla 37 — Test de Tukey para el FH	70
Tabla 38 — Datos de evaluación de características textiles de los hilos de lana de ovino teñida con colorante de flor de colli	71
Tabla 39 — Análisis de varianza	72
Tabla 40 — Test de Tukey para el DMF	72
Tabla 41 —Análisis de varianza	73
Tabla 42 — Test de Tukey para el CV	74
Tabla 43 — Análisis de varianza	75
Tabla 44 — Test de Tukey para el FC	75
Tabla 45 — Análisis de varianza	76
Tabla 46 — Test de Tukey para el IC	77
Tabla 47 — Análisis de varianza	78
Tabla 48 — Test de Tukey para FH	78
Tabla 49 — Resultados de las propiedades colorimétricas con sus respectivas repeticiones de algodón nativo	94
Tabla 50 — Resultados de las propiedades colorimétricas con sus respectivas repeticiones de lana de ovino	97
Tabla 51 — Resultados de las caracterísitcas textiles con sus respectivas repeticiones de algodón nativo	101
Tabla 52 — Resultados de las caracterisitcas textiles con sus respectivas repeticiones de lana de ovino	104
Tabla 53 — Cuantificación del pH del tinte de <i>Buddleja coriacea</i> con diferentes mordientes	108



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 — Estructura interna de la lana	14
Figura 2 — Características del algodón. Esquema de sección a) botón floral y b) flor madura de algodón	18
Figura 3 — Flor de colli madura en floración	21
Figura 4 — Proceso de teñido	25
Figura 5 — Coordenada tridimensional de la escala de CIEL $*a^*b^*$	30
Figura 6 — Diagrama de flujo del teñido de la fibra de algodón nativo y lana de ovino con colorante colli	42
Figura 7 — Representación gráfica de luminosidad (L^*)	47
Figura 8 — Representación gráfica del parámetro cromático a^*	49
Figura 9 — Representación gráfica del parámetro cromático b^*	50
Figura 10 — Representación gráfica de la saturación cromática (C^*)	52
Figura 11 — Representación gráfica del tono (h°)	53
Figura 12 — Representación gráfica de luminosidad (L^*)	56
Figura 13 — Representación gráfica de la coordenada a^*	57
Figura 14 — Representación gráfica de la coordenada b^*	59
Figura 15 — Representación gráfica del croma C^*	60
Figura 16 — Representación gráfica del ángulo de matiz (h°)	62
Figura 17 — Comparación gráfica del diámetro medio de fibra (DMF)	64
Figura 18 — Distribución del CV-DMF en función del tipo de mordiente	66
Figura 19 — Representación gráfica del índice de curvatura (IC)	68
Figura 20 — Comparación gráfica de finura al hilado (FH)	69
Figura 21 — Variación del DMF según tipo de mordiente	72
Figura 22 — Comportamiento del CV-DMF por tratamiento aplicado	73
Figura 23 — Comparación gráfica del FC en lana de ovino teñida	75
Figura 24 — Comparación del IC en los diferentes tratamientos	76
Figura 25 — Finura al hilado por tipo de tratamiento	78

Figura 26 — Prueba de normalidad de residuos para luminosidad (L*)	95
Figura 27 — Prueba de normalidad de residuos para la coordenada a*	95
Figura 28 — Prueba de normalidad de residuos para la coordenada b*	96
Figura 29 — Prueba de normalidad de residuos para el croma	96
Figura 30 — Prueba de normalidad de residuos para el tono h°	97
Figura 31 — Prueba de normalidad de residuos para luminosidad L*	98
Figura 32 — Prueba de normalidad de residuos para la coordenada a*	98
Figura 33 — Prueba de normalidad de residuos para la coordenada b*	99
Figura 34 — Prueba de normalidad de residuos para el tono C*	99
Figura 35 — Prueba de normalidad de residuos para el tono h°	100
Figura 36 — Prueba de normalidad de residuos de diámetro medio de fibra (DMF)	102
Figura 37 — Prueba de normalidad de residuos de CV	102
Figura 38 — Prueba de normalidad de residuos de IC	103
Figura 39 — Prueba de normalidad de residuos de FH	103
Figura 40 — Prueba de normalidad de residuos de diámetro medio de fibra (DMF)	105
Figura 41 — Prueba de normalidad de residuos de FC	106
Figura 42 — Prueba de normalidad de residuos de IC	106
Figura 43 — Prueba de normalidad de residuos de FH	107
Figura 44 — Cuantificación del pH del tinte de <i>Buddleja coriacea</i> con diferentes mordientes	108
Figura 45 — Arbusto de flores de colli (<i>buddleja coriacea</i>)	110
Figura 46 — Flores de colli (<i>Buddleja coriacea</i>)	110
Figura 47 — Fibra de lana de ovino (hilado)	111
Figura 48 — Fibra de algodón nativo (hilado)	111
Figura 49 — Pesado de mordiente	112
Figura 50 — Pos-mordentado de fibra con con alumbre, collpa y sal de limón	112
Figura 51 — Acondicionamiento de muestras para prueba	113
Figura 52 — Pruebas de colorimetria	113

INTRODUCCIÓN

La producción mundial de lana está dominada por China y Australia, seguidas de Nueva Zelandia, Turquía y Reino Unido. En América del Sur, Perú está en el cuarto lugar en la producción de lana sucia, siendo las regiones de Puno y Cusco las mayores productoras de ovejas criollas, seguidas por Huánuco, Huancavelica, Ancash, Junín y Apurímac (MIDAGRI, 2022). En cuanto al algodón nativo peruano (*Gossypium barbadense*), este destaca por su diversidad de colores y su importancia cultural. Se cultiva principalmente en Lambayeque, Piura y San Martín; en la sierra sur, como en Apurímac, su presencia es escasa y carente de procesos de conservación o transformación (GIL y LÓPEZ, 2015; DECLERP, 2017). Esta variedad se distingue por tallos altos, adaptación a diferentes altitudes y una capacidad ecológica superior frente a otras especies cultivadas (DECLERP, 2017).

El colli (*Buddleja coriácea*) es un arbusto altoandino que crece en suelos pedregosos entre 3000 y 4350 msnm, soportando temperaturas de -3 a 15 °C (AGUILAR, 2018). Sus flores, de intenso color amarillo-anaranjado cuando florecen, contienen alcaloides, taninos y flavonoides, compuestos con alto potencial tintóreo (NINA, 2018).

La industria textil moderna exige fibras finas, resistentes y confortables. Entre las propiedades clave se incluyen el diámetro medio de fibra (DMF), coeficiente de variación (CV), factor de confort (porcentaje de fibras < 30 μm), índice de curvatura y finura al hilado (QUISPE, 2013). Estos parámetros determinan la calidad final del tejido y su aceptación por el consumidor. La industria textil en los últimos años viene cumpliendo una serie de estándares establecidos para la obtención de fibras ya sea de origen animal o de origen vegetal requiriendo una fibra fina resistente y confortable, las características textiles tienen influencia en esta transformación de la fibra de tejidos, haciendo que el producto tenga una mayor rentabilidad y sea de preferencia del consumidor: estas principales características son: Diámetro medio de fibra (DMF), Coeficiente de variación (CV), Factor de Confort (FC), Factor de picazón (FP), Porcentaje de medulación total (TMED), Índice de Curvatura (IC) y Finura al hilado (FH) (QUISPE, 2013).

En la etapa de proceso de teñido de fibras animales y vegetales con colorantes naturales, el proceso de pos-mordentado es un paso importante que facilita la fijación del color sobre la fibra y mejora la uniformidad y brillo del mismo. Este proceso puede realizarse antes o después del teñido y consiste en disolver el mordiente en agua caliente junto con la fibra.

Los mordientes más comúnmente utilizados son el sulfato de aluminio y potasio ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$), ácido oxálico ($C_2H_2O_4$) y sulfato de sodio (Na_2SO_4). El objetivo de este proyecto es evaluar cómo distintos mordientes influyen en los tonos de color obtenidos y en las características textiles de hilos de lana de ovino y algodón nativo teñidos con flores de colli (*Buddleja coriacea*). El tinte de colli ofrece una alternativa natural a los colorantes sintéticos dominantes en el sector textil y artesanal. Estudiar métodos de teñido con tintes naturales y mordientes ecológicos es crucial para el desarrollo de productos textiles sostenibles.

En esta investigación se centra en teñir con extracto de la flor de colli y aplicar mordientes (alumbre, collpa y sal de limón) para analizar su efecto sobre las propiedades colorimétricas (espacio CIELAB) y las propiedades físicas del hilo de lana ovina y algodón nativo. Se pretende así generar conocimiento técnico y científico sobre recursos tintóreos locales y contribuir a la innovación textil basada en saberes tradicionales.



RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de tres mordientes naturales (alumbre, collpa y sal de limón) sobre los tonos de color y las características textiles de hilos de lana de ovino y algodón nativo, utilizando como colorante extractos de flores de *Buddleja coriacea*. Se desarrolló bajo un diseño completamente al azar, empleando un método de teñido directo seguido de posmordentado. Las muestras fueron analizadas mediante pruebas colorimétricas (espacio CIELab: L^* , a^* , b^* , C^* , h°) y físicas (diámetro medio de fibra DMF, finura al hilado - FH, índice de curvatura - IC, factor de confort - FC y coeficiente de variación - CV). Los resultados mostraron que el algodón nativo tratado con sal de limón presentó mayor luminosidad ($L = 57.86^*$) y croma ($C = 64.43^{**}$), mientras que la collpa generó colores más opacos ($L = 50.42$). En lana de ovino, la mayor fijación del tinte se evidenció con alumbre ($C = 62.80^*$) y sal de limón ($L = 53.72^*$), debido a su naturaleza proteica. En cuanto a características textiles, el DMF en algodón fue de $13.73 \mu\text{m}$, mientras que en lana alcanzó $28.74 \mu\text{m}$, sin diferencias significativas entre tratamientos. Los resultados confirman que los tintes naturales no alteran negativamente la calidad textil de las fibras y representan una alternativa viable, sostenible y culturalmente valiosa para la revalorización de recursos locales en la industria artesanal textil. La investigación aporta evidencia científica sobre el uso de recursos tintóreos locales y su aplicación en fibras tradicionales, contribuyendo así a la valorización de conocimientos ancestrales y a la innovación en la cadena productiva textil en regiones altoandinas.

Palabras clave: *Buddleja coriacea*, mordientes naturales, colorimetría, lana de ovino, algodón nativo, teñido sostenible.



ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the effect of three natural mordants (alum, lick, and lemon salt) on the color tones and textile characteristics of sheep wool and native cotton yarns, using *Buddleja coriacea* flower extracts as dye. The study was conducted under a completely randomized design, employing a direct dyeing method followed by post-mordanting. Samples were analyzed using colorimetric (CIELab space: L*, a*, b*, C*, h°) and physical tests (average fiber diameter DMF, fineness as spun (FH), curvature index (CI), comfort factor (CF), and coefficient of variation (CV)). The results showed that native cotton treated with lemon salt exhibited greater lightness (L = 57.86)* and chroma (C = 64.43)**, while the lick generated duller colors (L = 50.42). In sheep wool, the highest dye fixation was observed with alum (C = 62.80*) and lemon salt (L = 53.72*), due to their protein nature. Regarding textile characteristics, the DMF in cotton was 13.73 μm, while in wool it reached 28.74 μm, with no significant differences between treatments. The results confirm that natural dyes do not negatively alter the textile quality of the fibers and represent a viable, sustainable, and culturally valuable alternative for the reevaluation of local resources in the artisanal textile industry. The research provides scientific evidence on the use of local dyeing resources and their application to traditional fibers, thus contributing to the valorization of ancestral knowledge and innovation in the textile production chain in high Andean regions.

Keywords: *Buddleja coriacea*, natural mordants, colorimetry, sheep wool, native cotton, sustainable dyeing.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

En los últimos años, la preocupación global por los daños ambientales causados por la industria textil ha ido en aumento. Uno de los principales factores es el uso de colorantes sintéticos, que liberan sustancias tóxicas al ser descargados en aguas residuales, contaminando fuentes hídricas y afectando gravemente a la flora y fauna acuática (KANT, 2012). Esta situación ha llevado a muchos investigadores y productores a buscar alternativas más sostenibles, como los tintes naturales de origen vegetal, que no solo son biodegradables, sino que también permiten recuperar técnicas ancestrales de teñido artesanal (ALI et al., 2017).

En el Perú, esta problemática también está presente. A pesar de contar con una gran diversidad de fibras naturales y plantas tintóreas, su aprovechamiento sigue siendo limitado. La mayor parte de la lana de oveja, por ejemplo, se comercializa en su estado bruto, sin procesos de transformación que le otorguen mayor valor (INEI, 2022). Lo mismo ocurre con el algodón nativo, una fibra emblemática de la tradición textil prehispánica, que hoy sobrevive de forma silvestre en algunos valles, como el de Pachacha, pero sin apoyo para su conservación ni integración en circuitos productivos modernos. Además, la falta de estudios técnicos dificulta el desarrollo de procesos estandarizados que conecten estos recursos con las necesidades del mercado actual.

La región Apurímac reúne condiciones únicas para cambiar esta realidad. Posee un alto potencial en materia prima, como la lana de ovino con más de 39 mil ejemplares en Abancay y 25 mil en Antabamba (MIDAGRI, 2023), así como la presencia de variedades locales de algodón nativo. Además, en su ecosistema altoandino crece el colli (*Buddleja coriacea*), una planta cuyas flores contienen pigmentos naturales capaces de generar distintos tonos de color, dependiendo del mordiente con el que se combinen. El alumbre, la sal de limón y la collpa, por ejemplo, son mordientes



tradicionales que podrían aplicarse en estos procesos, pero aún no se ha investigado suficientemente cómo influyen en el resultado final ni en las características físicas de las fibras teñidas (VELÁSQUEZ, 2010; QUISPE, 2016). La falta de protocolos claros, adaptados a contextos locales, limita la posibilidad de que pequeños talleres textiles, especialmente en zonas rurales como Abancay y Oropesa, adopten estas prácticas de forma eficiente y sostenible.

Frente a ello, esta investigación propone estudiar de manera sistemática cómo distintos mordientes afectan tanto el tono del color como las propiedades físicas de hilos de lana de ovino y algodón nativo teñidos con flores de colli. Para ello, se utilizarán herramientas objetivas de análisis colorimétrico (L^* , a^* , b^* , C^* , h°) y se evaluarán características textiles como el diámetro medio de fibra (DMF), índice de curvatura (IC), finura al hilado (FH), factor de confort (FC) y coeficiente de variación del DMF (CV-DMF). Al generar datos técnicos y reproducibles, esta propuesta busca no solo reducir el impacto ambiental del teñido textil, sino también aportar al desarrollo de una cadena productiva sostenible.

1.2 Enunciado del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuál es el efecto de mordientes en la variación de tonos de color y evaluación de características textiles de lana de ovino y algodón nativo teñidos con flores de colli (*Buddleja coriacea*)?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo afectará el uso de mordientes en la variación de tonos de color en hilos de lana de ovino y algodón nativo teñidos con flores de colli (*Buddleja coriacea*)?
- ¿Cómo afectará el uso de mordientes en la variación de las características textiles en hilos de lana de ovino y algodón nativo teñidos con flores de colli (*Buddleja coriacea*)?

1.3 Justificación de la investigación

Esta investigación responde a los desafíos ambientales y técnicos que enfrenta la industria textil debido al uso intensivo de colorantes sintéticos. Al ser difíciles de



degradar y contener sustancias tóxicas, dichos tintes contribuyen a la contaminación del agua en regiones donde faltan plantas de tratamiento (KANT, 2012). En este escenario, promover colorantes vegetales biodegradables representa una alternativa sostenible, menos agresiva para el medio ambiente y con significado cultural en entornos rurales (ALI et al., 2017).

Desde el aspecto tecnológico, la investigación busca estandarizar las condiciones de extracción y aplicación del tinte en alta montaña, empleando insumos accesibles y mínima infraestructura. Al establecer un protocolo replicable con materiales locales, se facilita la adopción del teñido natural en procesos artesanales y preindustriales de zonas como Abancay y Antabamba. Esto fortalecerá la innovación rural basada en los conocimientos tradicionales y promoverá la revalorización de saberes ancestrales (MINCETUR, 2021).

Su relevancia socioeconómica radica en el potencial de valorizar dos recursos subaprovechados de Apurímac: la lana ovina y el algodón nativo. De las más de 64 000 cabezas de oveja en Abancay y Antabamba, gran parte de su lana se vende sin procesar (MIDAGRI, 2023). Asimismo, el cultivo de algodón nativo está casi desaparecido, sin conexión con mercados diferenciales. Incorporar técnicas de teñido natural para estas fibras permitiría reactivar cadenas productivas locales, mejorar los ingresos de las comunidades y preservar la identidad cultural textil.

Finalmente, desde una perspectiva ambiental, el uso de tintes naturales como el colli contribuye a reducir el impacto de los colorantes industriales y promueve una economía circular basada en el aprovechamiento responsable de recursos vegetales nativos. Debido a la necesidad de innovar y obtener productos naturales que no afecten nuestra salud ni el medio ambiente, es posible reducir la contaminación y otros problemas ambientales mediante el uso de estas especies vegetales.

Ésta investigación se justifica por su capacidad de la sostenibilidad ambiental, revalorización cultural, innovación tecnológica y desarrollo económico rural mediante el uso de recursos locales.



CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de mordientes en la variación de tonos de color y evaluación de características textiles de lana de ovino y algodón nativo teñidos con flores de colli (*Buddleja coriacea*).

2.1.2 Objetivos específicos

- Determinar el efecto de mordientes en la variación de tonos de color en hilos de lana de ovino y algodón nativo teñidos con flores de colli (*Buddleja coriacea*).
- Determinar el efecto de mordientes en la variación de las características textiles en hilos de lana de ovino y algodón nativo teñidos con flores de colli (*Buddleja coriacea*).

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.1 Hipótesis general

El uso de mordientes afecta significativamente en la variación de tonos de color y evaluación de características textiles en lana de ovino y algodón nativo teñidos con flores de colli (*Buddleja coriacea*).

2.2.2 Hipótesis específicas

- El uso de mordientes afecta significativamente en la variación de tonos de color en hilos de lana de ovino y algodón nativo teñidos con flores de colli (*Buddleja coriacea*).
- El uso de mordientes afecta significativamente en la variación de características textiles en hilos de lana de ovino y algodón nativo teñidos con flores de colli (*Buddleja coriacea*).



2.3 Operacionalización de variables

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

Tabla 1 — Operacionalización de variables

Variables	Mediciones	Indicadores	Índice
Variable independiente	Mordientes	<ul style="list-style-type: none"> • Alumbre • Sal de limón • Collpa 	Adimensional
Variables dependientes	Propiedades colorimétricas	<ul style="list-style-type: none"> • Color (L^*, a^*, b^*, C^* y h°) 	Adimensional
	Características textiles	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro medio de la fibra (MDF) • Factor de confort (FC) • Índice de curvatura (IC) • Finura al hilado (FH) • Coeficiente de variación (CV-DMF) 	<ul style="list-style-type: none"> • μm • $\% < 30$ • μm • $^\circ/\text{mm}$ • μm • μm

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

- a) PALACIOS VELÁSQUEZ (2022), en su tesis realizada en la Universidad Nacional del Centro del Perú, evaluó cómo diferentes mordientes naturales influyen en el teñido de algodón nativo con pigmento extraído de la planta amazónica yacushapana (*Terminalia oblonga*). Utilizó sulfato de aluminio, sulfato de cobre y sulfato de zinc, aplicándolos en condiciones controladas de temperatura y tiempo. Los resultados mostraron que el algodón teñido sin mordiente presentó baja fijación del color, mientras que los tratamientos con mordientes lograron tonos más intensos y duraderos: marrón claro con aluminio, amarillo pálido con cobre y amarillo cobre con zinc. Aunque la evaluación fue visual, el estudio evidenció que el tipo de mordiente tiene un efecto directo en la calidad del teñido. Se concluyó que los mordientes naturales mejoran significativamente la fijación del color en el algodón nativo, destacando al sulfato de aluminio como el más efectivo, y aportando una alternativa ecológica viable para la industria textil artesanal.
- b) HUAMANI NAVARRO (2024), en su tesis desarrollada en la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, investigó cómo influye el uso de mordientes naturales como alumbre, collpa y sal de limón en el teñido de fibra de alpaca con tinte de cochinilla (*Dactylopius coccus*). A través de un diseño factorial, aplicó distintas concentraciones de tinte (2, 4, 6 y 10 gramos) y evaluó tanto las propiedades colorimétricas (L^* , C^* , h°) como características textiles como el diámetro medio de fibra (DMF) y la finura al hilado (FH). Los resultados mostraron que el uso de 6 g de cochinilla con collpa produjo un color más oscuro ($L^* < 50$), con un matiz rojizo intenso ($h^\circ 67$), mientras que 10 g de tinte con sal de limón generó fibras más finas (DMF 17.5 μm) y con mejor hilabilidad (FH 15.2 μm). Además, el índice de curvatura fue mayor con collpa (80 %mm),

favoreciendo la elasticidad del hilo. El estudio concluyó que tanto el tipo de mordiente como la cantidad de tinte influyen significativamente en el color y la calidad de la fibra, y que el uso de insumos naturales puede ser una alternativa técnica y ecológica para procesos textiles sostenibles.

- c) PINCHE GONZALES (2025), en su tesis titulada “Evaluación colorimétrica, solidez y características textiles del hilo de fibra de alpaca teñido con flores de qolle (*Buddleja coriacea*) utilizando diferentes mordientes”, desarrollada en la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, evaluó el efecto de tres tipos de mordientes naturales (alumbre, collpa y sal de limón) en el teñido de hilo de alpaca (*Vicugna pacos*) con flores de qolle, una planta altoandina con alto contenido de flavonoides. El proceso consistió en un teñido directo con post-mordentado, bajo parámetros constantes de temperatura, tiempo y cantidad de colorante. Se evaluaron propiedades colorimétricas (L^* , a^* , b^* , C^* , h°), características textiles (DMF, FC, IC, CV-DMF, FH) y la solidez al lavado y al frote mediante escala de grises. Los resultados mostraron que el tratamiento con sal de limón (T3) obtuvo el mejor desempeño global, alcanzando una luminosidad L de 57.86^* , una buena intensidad de color y solidez al lavado y frote de nivel 4 (buena resistencia). Además, mantuvo características textiles adecuadas como diámetro medio de fibra (DMF) y factor de confort (FC) dentro de rangos óptimos. Se concluyó que el uso de sal de limón como mordiente natural permite obtener tonalidades vivas y duraderas sin comprometer la calidad de la fibra, representando una alternativa ecológica viable frente a los colorantes sintéticos.
- d) LOZANO et al. (2024) desarrollaron un estudio titulado “Efecto de mordientes sobre la variación de diámetro y tono de color en hilos de fibra de alpaca teñidos con flores de colli (*Buddleja coriacea*)”, cuyo propósito fue evaluar cómo tres mordientes naturales (collpa, alumbre y sal de limón), modifican tanto la estructura como las propiedades colorimétricas de la fibra de alpaca. Para ello, analizaron variables como el diámetro medio de la fibra (DMF), la finura al hilado (SF) y el coeficiente de variación (CV). Se observó que incluso sin mordiente, la fibra ya teñida presentaba un leve incremento en el diámetro ($CV = 0.44 \mu m$). En cuanto a la finura, se reportó un valor de referencia de $24.7 \mu m$ para la fibra sin teñir. En el análisis colorimétrico, realizado en el espacio

CIELab, se encontró que el uso de collpa como mordiente redujo significativamente la luminosidad ($L = 51.42$)**, generando un tono oscuro cercano al negro. Además, la coordenada a^* arrojó un valor negativo ($a = -0.48$), indicando la aparición de matices verde oscuro. Por otro lado, la coordenada b^* aumentó con el tinte de colli ($b^* = 64.36$), lo que refleja un fuerte componente amarillo. En términos de saturación, el valor de C^* fue más alto en la fibra sin mordiente ($C^* = 64.43$), y el tono (h°) se ubicó en 92.03, evidenciando una orientación hacia colores amarillentos. El estudio también incluyó un análisis de bandas químicas, encontrando que las fibras teñidas sin mordiente presentaban una mayor intensidad en los enlaces N-H, mientras que las teñidas con collpa mostraban una reducción en dicha intensidad. Estos cambios confirman que tanto el tipo de mordiente como el proceso de teñido alteran la interacción molecular entre el colorante y la fibra, modificando su apariencia final y sus propiedades físicas.

- e) MIRANDA (2022), en su estudio titulado “Efecto del diámetro medular en el teñido de fibras de alpaca Huacaya”, realizado en la provincia de Caylloma (Arequipa), evaluó cómo influye la estructura interna de la fibra particularmente el diámetro medular en la calidad del teñido con tinte de cochinilla. Se analizaron 109 muestras de vellones de alpacas mayores de dos años, determinando parámetros clave como el diámetro medio de fibra ($DMF = 10.15 \mu\text{m}$), el diámetro medular ($DM = 27.53 \mu\text{m}$) y el porcentaje de medulación ($FC = 42.56\%$), utilizando técnicas de microscopía óptica y análisis digital de fibras. Durante el proceso de teñido, se controlaron variables como el tiempo, la temperatura, el pH, la relación de baño y se evaluó la solidez del color a la luz mediante un colorímetro. Los resultados mostraron que las fibras con mayor porcentaje de medulación presentaron buena fijación del color, resistencia al lavado y adecuada estabilidad frente a la luz, siendo consideradas aceptables para fines textiles. Este estudio demuestra que la morfología interna de la fibra, en particular la medulación, tiene un efecto directo en la adherencia del colorante, lo que aporta información valiosa para mejorar procesos de teñido natural en fibras animales como la alpaca.

3.2 Marco teórico

3.2.1 Ovino criollo

La mayor población de ovejas criollas se encuentra en las provincias de Puno (21,2%) y Cusco (13%), seguidas de Huánuco, Huancavelica, Áncash, Junín, Ayacucho y Apurímac (ORMACHEA, 2020). Comúnmente llamadas ovejas, son rumiantes (*Ovis aries*) y se destacan por su producción de carne, lana y leche. También toleran temperaturas extremas. Los ovinos criollos presentan una variedad de colores y tonos de pelaje únicos (negro, marrón, varios tonos de gris y blanco) (MINAGRI, 2008).

Reino: Animalia

Tipo: Vertebrados

Clase: Mamíferos

Sub-clase: Placentarios

Orden: Artiodáctilos

Suborden: Rumiantes

Familia: Bóvidos

Sub-familia: Caprinos

Género: *ovis*

Especies: *Ovis aries*

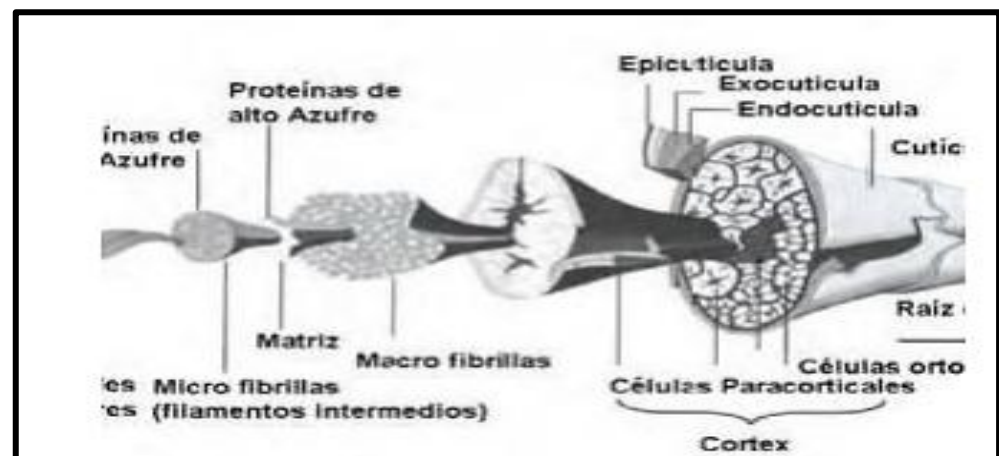
3.2.1.1 Lana de ovino criollo

La lana es una de las fibras obtenida de la oveja que es insustituible debido a las cualidades que presenta como son los rizos que tiene también tienen una gran elasticidad y resistencia que hace que los tejidos fabricados con lana se deformen menos tienen características para vestir con ligereza, tienen la capacidad de absorber humedad y son aislantes (OBANDO, 2013). La calidad de la lana depende de muchos factores, entre ellos está el clima, el suelo. Por otra parte PEÑA (2002), indica que la fibra de la lana tiene una estructura organizada propia del ovino, cada uno d ellos folículos esta compuesta por la proteína llamada queratina, que también están presnetes en la pezuñas de los ovinos.



3.2.1.2 Estructura de la lana

La lana esta formada por dos capas la cuticula y la corteza, y en determinadas tipos de lana puede existir una tercera capa que es la medula. La cuticula esta formada por un 10%del total de la fibra y esta formada por unas características escamas que confieren a la lana algunas propiedades (RODELLINO ,1995). Dentro de la estructura escamosa de la cuticula se encuentran tres zonas que se diferencian por el azufre total: la exocuticula es la zona mas queratinizada, la mesocuticula es la zona intermedia y la indocuticula es la suceptible de sufrir los ataques de acidos, álcalis y parcialmente digerible por la tripsina. El cortex es el principal componente de la lana y la resistencia mecánica de esta es mayor cuando mas alto sea el porcentaje del cortex en su composición, esta formado por células fusiformes de una longitud entre 80 – 100 μ y una anchura de 25 μ y tienen una estructura cristalina.



FUENTE: (CHÁVEZ, 2015)

Figura1 — Estructura interna de la lana

- a) **Corteza o cutícula:** La cutícula está formada por células superpuestas en el sentido de la raíz a la punta. Constituyen el 10% del total de la fibra y el grosor oscila entre 1 y 2 micrómetros los cuales estos los responsables de la humectabilidad y las propiedades táctiles de la lana (ELVIRA y ALBERTOLI, 2009). La cutícula también en la lana les da resistencia frente a agentes externos.



b) CórTEX: Ocupa aproximadamente el 90% del total de la fibra, es una de las partes principales de la lana que es responsable de sus propiedades como: resistencia, elasticidad, propiedades tintóreas etc (ELVIRA y ALBERTOLI, 2009).

c) La médula: Las fibras con médula o sin medula se caracterizan por tener fibras cortas, muy gruesas estos se pueden deber a la mala alimentación del animal posibles enfermedades y por ambientes inadecuados. Las fibras medulares presentan problemas en la tintura porque al poseer una medula existe un espacio hueco que no absorbe colorante y se producen tonos más claros que en una fibra que no posee medula (ELVIRA y ALBERTOLI, 2009).

3.2.1.3 Estructura química de la lana

El comportamiento químico extremadamente complejo de la lana se debe a la capa más baja de su estructura interna. Las fibras de lana están compuestas por cadenas químicas (moléculas) que se unen para formar largas cadenas. Estas estructuras químicas principales se denominan aminoácidos y existen 46. Quince de ellos se unen en largas cadenas para formar las proteínas que componen la lana. El análisis de las fibras de lana ha demostrado que la lana es químicamente una proteína. Existen esencialmente dos tipos de proteínas complejas que difieren en su contenido de azufre (ELVIRA y ALBERTOLI, 2009).

a) Efecto de los álcalis: La proteína de la lana, que recibe el nombre de queratina, es particularmente susceptible al daño de álcalis. Soluciones de hidróxido de sodio al 5%, a temperatura ambiente, disuelven la fibra de la lana.

b) Efecto de los ácidos: La lana es resistente a la acción de los ácidos suaves o diluidos, pero los ácidos minerales concentrados, como por el sulfúrico y el nítrico provocan desdoblamiento y descomposición de la fibra. Sin embargo soluciones diluidas en ácido sulfúrico son usadas durante el proceso industrial de la lana para carbonizar la materia vegetal adherida a las fibras.



- c) **Efecto de los solventes orgánicos:** La mayoría de los solventes orgánicos usados comúnmente para limpiar y quitar manchas de los tejidos de lana, son seguros en el sentido que no dañan las fibras de lana (ANCOEC, 2013).

3.1.2.4 Principales características de la lana

La lana es una fibra natural de origen animal, compuesta principalmente de queratina (una proteína estructural) que le confiere flexibilidad, elasticidad y durabilidad. La fibra posee un excelente aislamiento térmico, higroscopicidad (absorbe agua sin perder sus propiedades aislantes) y resiliencia (la capacidad de recuperar su forma original tras ser doblada o comprimida). Físicamente, la lana presenta una estructura multicapa, compuesta por una cutícula, una corteza y, en ocasiones, una médula, según el tipo de lana y el grosor de la fibra. La cutícula, compuesta por escamas superpuestas, influye directamente en el brillo, el tacto y comportamiento tintóreo de la fibra (VELÁSQUEZ, 2010).

Entre las características técnicas más relevantes se encuentran:

- **Diámetro de la fibra:** En razas criollas suele oscilar entre 28 y 35 micras, clasificándose como lana gruesa o semigruesa.
- **Longitud:** Varía entre 5 y 15 cm, dependiendo de la raza, la alimentación y el manejo.
- **Rizado u ondulación:** Otorga volumen y elasticidad a la fibra, favoreciendo la hilatura.
- **Color natural:** Generalmente blanco, aunque pueden presentarse tonalidades crema o marrones, lo cual influye en el comportamiento al teñido.
- **Contenido de grasa o suarda:** Compuesto por lanolina, que debe ser removida mediante el lavado para permitir su procesamiento posterior.



Estas propiedades hacen que la lana de ovino sea utilizada tanto en la industria textil convencional como en el sector artesanal, donde su capacidad para fijar colorantes naturales es especialmente valorada.

Tabla 2 — Clasificación de los colorantes según su naturaleza química

Naturaleza química	Algunos ejemplos	Color predominante
Tetrapirroles (lineales y cíclicos)	Ficobilinas Clorofila	Azul-verde Verde
Carotenoides (tetraterpenoides)	Carotenoides	Amarillo-anaranjado
Flavonoides	Flavonas Flavonoles Chalconas Auronas Antocianinas	Blanco-crema Amarillo-blanco Amarillo Amarillo Rojo-azul
Xantonas	Xantonas	Amarrillo
Quinonas	Naftoquinonas Antraquinonas	Rojo-azul-verde Rojo-purpura
Derivados indigoides e índoles	Índigo Betalainas	Azul-rosado Amarillo-rojo
FUENTE: (ANDRADE , 2016)		

3.2.2 Algodón

La fibra vegetal (algodón nativo), es una de las fibras mas antiguas del mundo, su nombre científico mas común es le de *Gossypium*.

3.2.2.1 Algodón nativo (*Gossypium barbadense*)

- El algodón nativo (*G. barbadense*), es una especie tetraploide y autopolinizante, con pequeñas poblaciones y generalmente se encuentra en campos, huertos, jardines y bordes de caminos (MINAN, 2014). El algodón nativo coloreado presenta fibras de diversos colores y se produce principalmente en la región de Lambayeque, pero también en pequeñas cantidades en Piura y San Martín. Este tipo de algodón presenta fibras cortas y baja resistencia a la torsión (DECLERCQ-PEDRAZA, 2017).

- **Taxonomía**

Según (DECLERCQ-PEDRAZA, 2017) la clasificación taxonómica:

Reino : Plantae

División : Angiospermae

Clase : Dicotyledoneae

Subclase : Archychlamydeae

Orden : Malvales

Familia : Malvaceae

Tribu : *Gossypieae*

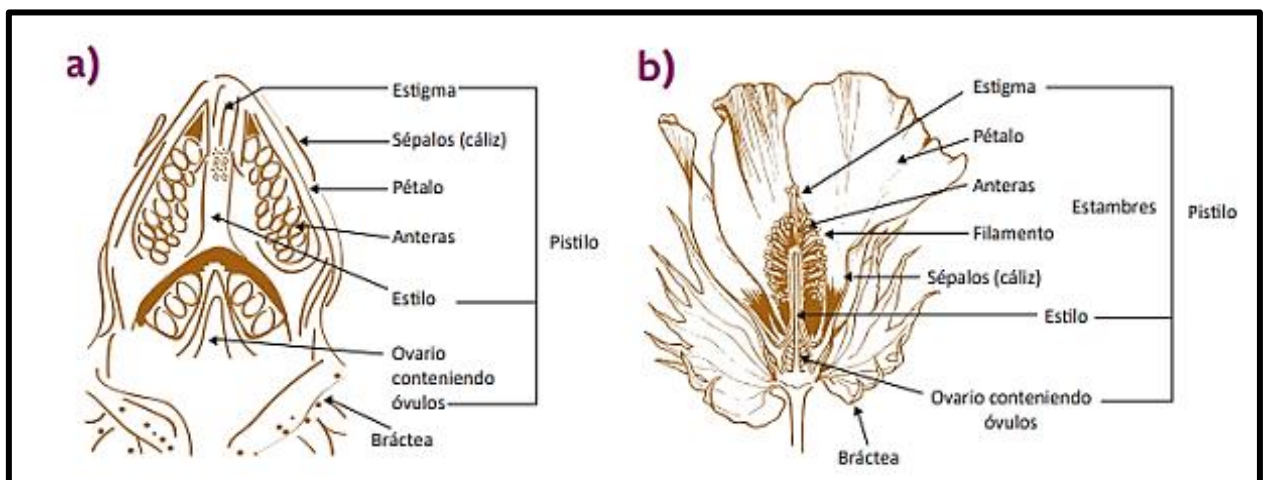
Género : *Gossypium*

Especie : *G. raimondii* Ulb.

: *G. barbadense* L.

: *G. hirsutum* L.

- **Características del algodón**



FUENTE: (DECLERCQ PEDRAZA, 2017)

Figura 2 — Características del algodón. Esquema de sección a) botón floral y b) flor madura de algodón

- **Composición química del algodón**

Las ceras, grasas entre otros materiales no celulósicos de la fibra son liberados durante el proceso de pretratamiento de lavado blanqueado.

Tabla 3 — Composición química del algodón

Materia	Porcentaje
Celulosa	80 – 90
Agua	6 – 8
Ceras y grasas	0.5 – 1
Proteínas	0 – 1.5
Pectinas	4 – 6
Cenizas	1 – 1.8
FUENTE: (LOCKUAN, 2013)	

3.2.3 Colli (*Buddleja coriácea*)

El colli es un arbusto originario de los andes peruanos. Crece en suelos rocosos secos a subhúmedos a altitudes entre 3000 y 4350 metros, con temperaturas que oscilan entre -3 °C y 15 °C. También crece en zonas frías, ventosas y extremadamente secas. Tiene hojas simples, con ramificaciones terminales, de sección transversal redonda a elíptica, de unos 6-10 mm de largo y de color blanco cremoso pálido. Son de color verde claro por el haz y esponjosas por el envés, y contienen una sustancia pulverulenta de color blanco amarillento. El fruto del colli es una cápsula ovoide, de color blanco amarillento con una superficie pulverulenta. Las semillas son marrones, muy pequeñas, elípticas, delgadas y planas (AGUILAR, 2018).

La inflorescencia de *Buddleja coriacea* presenta una corola que, en su etapa inicial, aun color amarillo, el cual cambia progresivamente hacia tonalidades naranja, café claro e incluso café oscuro a medida que avanza el grado de madurez. Sus frutos son cápsulas ovoides de tonalidad blanquecina a amarillenta, con una textura superficial pulverulenta. Las semillas, por su parte, son de tipo aquenio, muy pequeñas, de color pajizo a pardo, con forma oblongo-alargada y aplanada (MINAM, 2014).

- **Floración plena (antes) del *Buddleja coriacea***

La floración de *Buddleja coriacea*, conocida localmente como colli, es un proceso estacional crucial en el ciclo reproductivo de esta especie nativa andina, con importancia ecológica, cultural y cromática. En términos del desarrollo floral, la floración completa (antes) representa

el momento en que la flor alcanza su máxima apertura y madurez funcional, permitiendo la liberación del polen y la exposición completa de los órganos reproductivos (FLORES, 2012).

Las flores alcanzan su máxima expresión morfológica y fisiológica, con una mayor producción de pigmentos naturales como flavonoides, taninos y otros compuestos fenólicos. En *Buddleja coriacea*, este período se caracteriza por un cambio de color en la corola, desde un amarillo inicial hasta tonos más vivos como el naranja o el marrón claro, según la madurez (MINAM, 2014). Este cambio responde a mecanismos bioquímicos internos vinculados a la acumulación de metabolitos secundarios, que alcanzan su punto óptimo durante la anthesis, lo que la convierte en la época más adecuada para la cosecha con fines de teñidos (VELÁSQUEZ, 2010).

3.2.3.1 Aspectos botánicos

Nombre científico : *Buddleja coriácea*

Nombre común : Colli, colle, qolle, Kiswara, Qishuar, Kisuar,

Reino : Plantea

División : Tracheophyta

Clase : Magnoliopsida

Orden : Lamiales

Familia : *Buddlejaceae*

Género : *Buddleja*

Especie : *B.coriacea*





FUENTE: (Propia,2023)

Figura 3 — Flor de colli madura en floración.

3.2.4 Colorantes

Los colorantes constituyen una amplia clase de compuestos químicos utilizados en diversas industrias, como la textil, alimentaria y cosmética, debido a su capacidad de impartir color a diferentes materiales. En la terminología industrial contemporánea, el término "colorante" abarca no solo los pigmentos en sí, sino también los productos que contienen sustancias colorantes y compuestos reactivos de origen predominantemente orgánico (OBANDO, 2013).

3.2.4.1 Clasificación de los colorantes

La clasificación de colorantes se distingue entre los más comunes colorantes naturales y artificiales. Los colorantes empleados en la industria textil son los artificiales, en gran parte de su totalidad, sin embargo, los colorantes naturales han sido importante en la historia de los textiles, así como en la ornamentación, como indica (CORDERO, 2003), los colorantes se pueden clasificar en distintas formas: por su origen, por la composición química que tiene, por el modo de su fijación.

a) Inorgánicos:

Son óxidos metálicos que se usan comúnmente en cerámica y pintura, estos son modificados a su vez por métodos físicos como es el molido y secado, utilizados en la coloración de prendas



tejidas, pintado en cerámicas, papeles entre otros (CORDERO, 2003).

b) Artificiales:

Son obtenidos de una destilación de alquitrán de hulla entre ellas tenemos el púrpura de los caracoles marinos, el rojo grana de la cochinilla, de los hongos (CORDERO, 2003). Características morfológicas de la fibra.

3.2.4.2 Propiedades físicas y químicas de los colorantes

a) Propiedades físicas: Las propiedades físicas se pueden clasificar según su aplicación y uso final. Según su aplicación incluyen solubilidad, afinidad y velocidad de teñido, mientras las de uso final se enfoca en el tono y resistencia a las propiedades de solidez al lavado, luz y frote que tengan aceptabilidad y costo mínimo (MAYER, 1966).

b) Propiedades químicas : En cuanto a su estructura química los colorantes están constituidos por un grupo funcional cromóforo y un auxócromo. En un colorante, el cromóforo es un grupo funcional que cuenta con una alta densidad electrónica y por lo tanto se pueden clasificar de la siguiente manera: dobles y triples enlaces carbono-carbono (OBANDO, 2013).

3.2.5 Teñido

El teñido textil implica una interacción directa entre el medio acuoso del colorante y la superficie de la fibra, lo que genera una serie de reacciones químicas. Durante este proceso, los iones del colorante deben adherirse inicialmente a la fibra y, bajo las condiciones adecuadas, reaccionan químicamente con ella. Esta interacción puede dar lugar a la formación de enlaces covalentes entre el colorante y las macromoléculas de la fibra, resultando en nuevas estructuras derivadas que fijan el color de manera permanente (OJEDA, 2012).

Asimismo, el proceso de teñido se desarrolla a partir del contacto entre el baño tintóreo y el material textil, donde la fibra actúa como sustrato absorbente. Esta debe captar y retener las partículas del colorante de forma



efectiva para asegurar una buena solidez del color. La resistencia del teñido a la decoloración (tanto por acción de la luz, el lavado o el uso), depende en gran medida del método aplicado y del grado de fijación alcanzado durante el proceso (OJEDA, 2012).

3.2.5.1 Proceso de teñido

Se indica que un proceso de teñido es correcto cuando la coloración es relativamente estable, es decir, que al efectuar factores externos ya sea la luz o el agua no se renueva con facilidad el color. En el proceso de teñido existen diferentes etapas, se tiene que esparcir el colorante en una solución líquida para llegar hasta la fibra, posteriormente el colorante se transporta en la fibra para después impregnarse en ella y establecer enlaces. En el transcurso de teñido la fibra y el colorante está compuesto por las siguientes fases (OJEDA, 2012).

3.2.5.2 Etapas del proceso de teñido

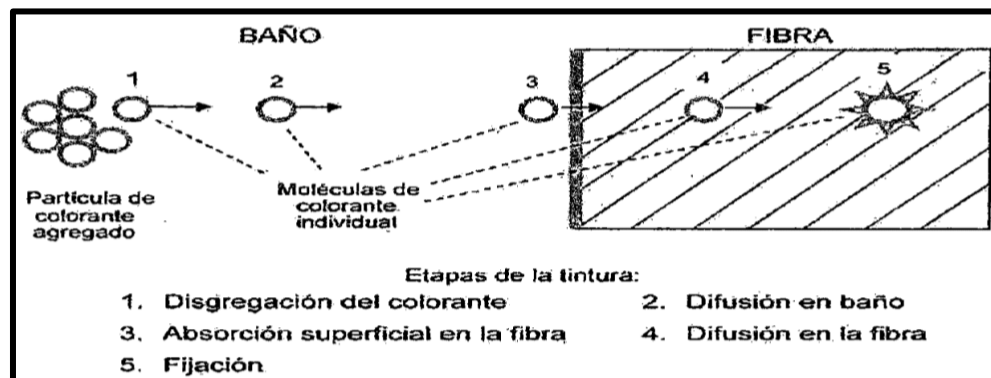
El proceso de tinción implica la transferencia gradual del colorante desde el medio líquido hasta el interior de la fibra, pasando por fases como disgregación, adsorción y difusión, hasta formar uniones estables con la estructura textil (OJEDA, 2012).

- **Disgregación.** En el medio acuoso, tanto los colorantes como los agentes auxiliares pueden encontrarse en forma individual, como moléculas libres, o agrupados en estructuras conocidas como agregados moleculares o micelares. Estos agregados están sujetos a equilibrios fisicoquímicos específicos, los cuales varían según la naturaleza de las sustancias presentes en el sistema. Cuando dicho equilibrio se ve alterado (ya sea por cambios en la concentración, temperatura u otras condiciones del medio), se produce la disgregación de los agregados, afectando así la disponibilidad y comportamiento del colorante en el proceso de teñido (OJEDA, 2012).
- **Difusión/Convección.** Este fenómeno ocurre cuando las moléculas del colorante se desplazan desde el baño tintóreo hacia las zonas cercanas a la superficie de la fibra, impulsadas

por gradientes de concentración que generan un proceso de difusión. Además de esta difusión molecular, el transporte del colorante también se ve favorecido por la convección, originada por el movimiento del propio baño tintóreo en relación con el sustrato textil. Es decir, la circulación del líquido contribuye a acelerar el contacto entre el colorante y la fibra, mejorando así la eficiencia del proceso de teñido (OJEDA, 2012).

- **Absorción.** Cuando el colorante entra en contacto con la superficie de la fibra, ocurre un proceso de transferencia molecular hacia su interior. Esta migración está mediada por fuerzas de interacción específicas, cuya eficacia depende en gran medida del grado de compatibilidad estructural y química entre la fibra y el colorante (OJEDA, 2012).
- **Difusión.** Una vez que las moléculas del colorante alcanzan la superficie de la fibra textil, comienza su desplazamiento hacia el interior de la estructura macromolecular que compone dicha fibra. Este proceso de difusión, que ocurre entre un medio líquido (el baño tintóreo) y un sólido (la fibra), está determinado por diversos factores. Entre ellos, destacan la extensión superficial de contacto entre el colorante y la fibra, así como la organización interna de la estructura de la fibra, ya que ambas condiciones influyen directamente en la velocidad y eficacia de la penetración del colorante (OJEDA, 2012).
- **Fijación.** Para concluir en esta etapa se da la unión de los enlaces colorante – fibra de los enlaces colorante – fibra estableciendo la fijación. Para realizar el proceso de teñido se requiere ciertas condiciones para que el colorante se impregne a totalidad sin dañar su estructura interna, para ello se distinguen dos principios de teñido primero por afinidad entre el colorante y la fibra, lo que hace que el colorante pase del baño de teñido a la fibra, hasta saturarla y quedar fijada en ella. Y el segundo es por impregnación de la fibra, el material textil absorbe el colorante del baño de teñido, en este momento no queda fijada

todavía en él, en el proceso de fijado, cuando el teñido es definitivo. El proceso de teñido se muestra en la figura 4.



FUENTE: (HOLLEN, 2002)

Figura 4 — Proceso de teñido

3.2.5.3 Factores del proceso de teñido

El teñido de fibras textiles está influenciado por diversos factores para la obtención un buen teñido y se tiene considerar cuando se lleva a cabo este proceso, a continuación es detallado.

a) Efecto de temperatura

La temperatura desempeña un papel clave en el proceso de teñido, ya que influye directamente en la movilidad y energía de las moléculas del colorante. A medida que la temperatura se incrementa, se favorece la actividad molecular, lo que facilita la migración del colorante desde el medio acuoso hacia el interior de la fibra textil. No obstante, este aumento debe ser controlado cuidadosamente, ya que un calentamiento inadecuado puede afectar la uniformidad del teñido. Por esta razón, el manejo preciso de la temperatura es esencial tanto para lograr una fijación eficiente del color como para garantizar una buena solidez de la tintura (CEGARRA, 2021).

A temperaturas inferiores a 40 °C, la absorción de los colorantes por parte de la fibra es lenta y poco eficiente. Al alcanzar los 60 °C, el proceso de teñido se acelera considerablemente, permitiendo una mayor velocidad de fijación del colorante. Sin embargo, se ha observado que, a medida que la temperatura continúa aumentando, la cantidad total de colorante retenido por



la fibra en equilibrio tiende a disminuir. Entre los 40 °C y 60 °C, la absorción sigue siendo limitada, ya que en ese rango térmico recién comienza el fenómeno de hinchamiento de la fibra, condición necesaria para que el colorante penetre adecuadamente. Este hinchamiento no se inicia antes de los 40 °C ni alcanza un nivel óptimo antes de los 60 °C. En base a estos principios, se recomienda iniciar el proceso de tintura entre los 40 °C y 50 °C, ya que a partir de los 60 °C la velocidad de absorción se incrementa de forma significativa (SOTO, 2019).

b) Influencia del tiempo de contacto fibra/baño

Durante el proceso de teñido hay un intervalo de tiempo en donde interactúan el colorante y la materia textil permitiendo la migración de las moléculas hacia la fibra. Cuando se realiza el teñido es importante conocer en qué momento termina la difusión y en qué momento comienza la fijación del colorante en la fibra, para obtener un teñido eficiente y en el menor tiempo posible, de esta forma evitar el deterioro del material teñido (CEGARRA, 1981).

c) Afinidad del colorante

Para que se produzca la fijación del colorante a la fibra debe haber afinidad química y esto lo determina su estructura molecular del colorante, se debe tomar en cuenta la naturaleza del colorante y de la fibra, si éstos son químicamente muy distintos, se debe de llevar a cabo un tratamiento diferente en el proceso de teñido. El teñido por agotamiento es función directa de la afinidad si se comparan con los colorantes directos, pero a la vez presentan elevados coeficientes de difusión (CEGARRA, 1981).

d) pH del baño tintóreo

La condición de acidez, neutralidad o basicidad establece la conducta del colorante, influyendo en la capacidad de teñido, en la intensidad y en la variación del color obtenido en la fibra. Con la disminución del pH aumenta la velocidad de agotamiento del baño, pero disminuye la reacción fibra – colorante (CEGARRA, 1981).



En los colorantes da buena igualación, se puede decir que a pH neutro la velocidad de tintura es prácticamente nula, y al disminuir el pH la velocidad aumenta hasta llegar al pH= 3 que es el usado normalmente en la tintura con colorantes de buena igualación. Los colorantes de mediana igualación, colorantes que tiñen a pH débilmente ácido, en los que a pH = 4.5-5, la velocidad de tintura es la adecuada, pues a pH 3, la absorción es excesivamente rápida. Los colorantes que tiñen en baño neutro son de mala igualación, ya que a este pH la velocidad de tintura es suficiente, añadiendo en todo caso el ácido acético al final de la tintura para agotar el baño, ya que a pH más bajo de 7 la velocidad es excesivamente elevada, puesto que para que una tintura quede de igual manera es preciso que la absorción sea gradual, de tal forma que el pH de inicio del colorante absorbido al estado de equilibrio sea del orden del 85% .

e) Efecto de las sales

El uso de bajas concentraciones de sal, comúnmente cloruro de sodio, durante el proceso de teñido puede favorecer la difusión del colorante hacia la fibra, mejorando así la uniformidad del teñido. Sin embargo, cuando se emplean concentraciones elevadas, el efecto puede ser contraproducente. Esto se debe a que, en las etapas iniciales del proceso, los aniones de la sal compiten con los aniones del colorante por los sitios activos de la fibra. Este fenómeno genera un efecto igualizante, que ralentiza el agotamiento del baño tintóreo. Como consecuencia, es posible controlar y reducir la elevada afinidad inicial del colorante por la fibra, favoreciendo una distribución más equilibrada del color (CEGARRA, 1981).

f) Relación de baño tintóreo

La llamada razón de licor o solución tintórea se refiere a la proporción entre el volumen del líquido colorante y el peso del material textil que se va a teñir. Esta relación es fundamental para asegurar una distribución uniforme del colorante durante el proceso. Según CEGARRA (1981), se recomienda emplear una



relación de baño que permita que la fibra quede completamente sumergida en el líquido y mantenga una movilidad adecuada, favoreciendo así una absorción eficiente y homogénea del colorante.

g) Movimiento de la fibra en el baño

Existe una relación directa entre el movimiento relativo de la fibra y el baño tintóreo influyendo en la velocidad del teñido, ya que a mayor agitación y circulación del baño, y el contacto entre la fibra y el colorante aumenta. A mayor movimiento del baño con la fibra, se necesitarán tiempos menores para alcanzar el equilibrio del sistema, dicho de otra manera lograr agotamientos altos, con altos niveles de solidez e igualación (CEGARRA, 1981).

h) Pre mordentado

Es un proceso que se realiza durante el teñido, para fijar los colorantes naturales y la fibra, El mordentado anterior o premordentado consiste en colocar la fibra en una solución de agua más el mordiente, se deja actuar a temperatura de ebullición por un tiempo de 30 minutos, y después se procede a teñir la fibra, este proceso facilita la fijación al colorante a la fibra mediante el uso de sales solubles de metales como cobre, aluminio, estaño y hierro, el tipo de metal determina la modalidad del color. Otra característica, aumento la resistencia del color frente a lavados frecuentes y luz solar (CEGARRA, 1981).

- Tipo de fibra: fibra vegetal (algodón nativo) y fibra animal (lana de ovino).
- Mordiente: 20% sobre el peso de la fibra seca.
- Mordiente: 1,5 – 3% sobre el peso de la fibra seca.
- Agua: la necesaria para cubrir el material.

3.2.6 Mordiente

Los mordientes son sustancias utilizadas en el procesamiento textil, cuya función principal es fijar los tintes a las fibras y mejorar su adhesión y durabilidad. Actúan como puente entre las fibras y el tinte, facilitando su



fijación. También modifican la estructura molecular de las fibras, permitiendo que las moléculas del tinte se incorporen a ellas y formen nuevos enlaces irreversibles.

En esencia, los mordientes tienen tres funciones importantes (ETCHAREN, 1986):

- Ayuda a la fijación del tinte en la fibra.
- Afecta el color producido por los tintes.
- Actúa para equilibrar los colores estables en contacto con la luz.

3.2.7 Colorimetría

la colorimetría constituye una herramienta fundamental para el análisis de pigmentación y tonalidades en fibras textiles, ya que permite describir sus características cromáticas de forma precisa y cuantificable a través de valores numéricos (DRUML *et al.*, 2018). Esta técnica objetiva facilita la comparación entre tratamientos y materiales al eliminar la subjetividad visual. Por otro lado, el color se entiende como una percepción sensorial generada por la interacción de la luz radiante con un objeto, cuya interpretación depende de cómo el ojo humano capta las distintas longitudes de onda reflejadas o absorbidas (CIE, 2004).

3.2.7.1 Escalas y forma de medir el color

- **Espacio de color CIEL*a*b***

La CIE desarrolló el sistema más importante y ampliamente utilizado para describir y medir el color, que describe y mide el color de forma precisa y objetiva, basándose en el uso de iluminantes y observadores estándar (MATHIAS-RETTING y AH-HEN, 2014). El sistema CIE utiliza tres coordenadas para localizar los colores en el espacio de color: (1) CIE XYZ, (2) CIE L*a*b* y (3) CIE L*C*H* (MATHIAS-RETTIG y AH-HEN, 2014). Mientras tanto, las coordenadas cartesianas (L*, a*, b*) y las coordenadas cromáticas (L*, H*, C*) se expresan en un sistema tridimensional. La luminancia (L*) toma valores de 0 a 100 (negro a blanco), y el punto acromático (a*) corresponde al rojo cuando el valor es positivo y al verde cuando el valor es



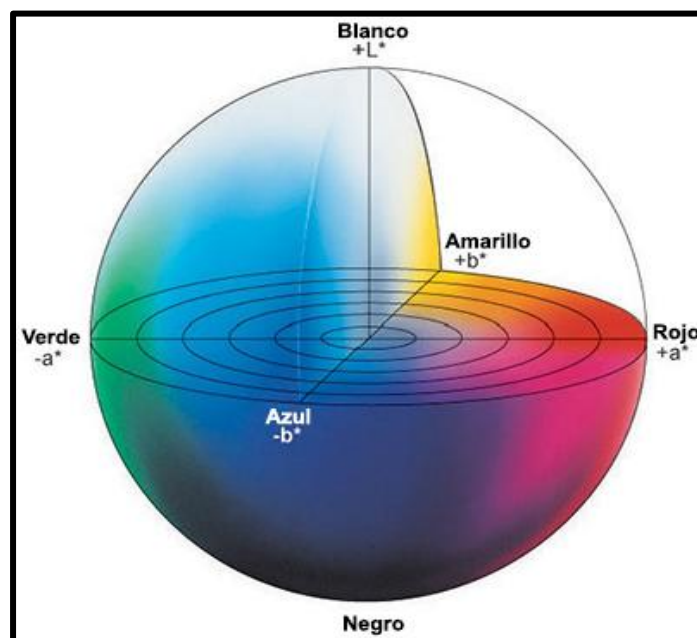
negativo. La coordenada (b^*) define un desplazamiento hacia el amarillo cuando el valor es positivo y hacia el azul cuando es negativo. También se muestran las fórmulas para calcular C^* (croma) y h° (tono).

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0.5} \dots\dots\dots(1)$$

$$h^* = \arctg (b^*/a^*) \dots\dots\dots(2)$$

El croma C^* toma el valor 0 para estímulos acromáticos y normalmente no pasa de 150, aunque puede superar valores de 1000 para estímulos monocromáticos, así como el tono (h^*) toma valores de 0 y 360 grados (DRUML et al., 2018; MATHIAS-RETTIG y AH-HEN, 2014).

Los colorímetros son basados en la visión del ojo humano, los colorímetros son dispositivos triestimulares (tres filtros) para cada longitud de onda: filtros rojo, verde y azul. De esta forma se emula la respuesta de la vista del humano al color y la luz (DRUML et al., 2018; MATHIAS-RETTIG y AH-HEN, 2014).



FUENTE:(MATHIAS-RETTING y AH- HEN ,2014)

Figura 5 — Coordenada tridimensional de la escala de CIEL *a*b*



3.2.8 Características textiles

Las características textiles de las fibras naturales pueden verse alteradas por el proceso de teñido al que son sometidas (NAFFA et al., 2020), Por tanto, es importante los efectos del teñido, como el diámetro de la fibra (DMF), el coeficiente de variación (CV), el factor de confort (FC) y el índice de curvatura (CU). El **DMF** (diámetro medio de la fibra) representa el grosor promedio de las fibras del vellón y se expresa en micras (μm). Por su parte, el **CV-DMF** (coeficiente de variación del DMF) indica la variabilidad del diámetro entre las fibras y se expresa en porcentaje, reflejando la uniformidad del material. El **FC** (factor de confort) corresponde al porcentaje de fibras con un diámetro igual o menor a 30 micras, las cuales no generan sensación de picor al estar en contacto con la piel humana, por lo que se relaciona directamente con la suavidad del producto textil. En tanto, el **IC** (índice de curvatura) se refiere al número de curvas o rizos por centímetro lineal de fibra, característica que influye en su capacidad para retener aire y, en consecuencia, generar aislamiento térmico (MIAO *et al.*, 2018)

3.2.9 Diseño de experimentos

El diseño experimental implica establecer sistemáticamente como ciertas variables afectan los resultados obtenidos. Esto es esencial para interpretar las relaciones causales y tomar decisiones correctas en la investigación científica aplicada (MONTGOMERY, 2017). El diseño experimental obtiene información fiable sobre el comportamiento de un sistema o proceso mediante la manipulación deliberada de las variables independientes y la observación de los efectos resultantes en la variable dependiente, siempre bajo condiciones planificadas y controladas. En cada experimento, se espera que las diferencias observadas entre los tratamientos se deban al efecto real de los factores estudiados y no a influencias externas. Por ello, es fundamental aplicar técnicas de aleatorización, replicación y control de variables que minimicen el sesgo y aumenten la fiabilidad del análisis (HERNÁNDEZ et al., 2014).

a) Experimento y estructura experimental



Un experimento, en términos simples, consiste en aplicar un cambio controlado a una condición o variable y observar el efecto que esta intervención produce. Esta modificación se introduce de forma planificada, con el fin de entender de manera más profunda el sistema estudiado y predecir su comportamiento ante diferentes condiciones.

Dentro de esta estructura, se identifican elementos esenciales:

- **Unidad experimental:** Es la entidad mínima a la que se le asigna un tratamiento específico. Puede ser una fibra, una muestra de material, un animal o un producto.
- **Variables de respuesta:** Son los resultados observables que se analizan como consecuencia del tratamiento aplicado. Reflejan el rendimiento, calidad o comportamiento del sistema en estudio.
- **Factores:** Son las variables independientes que se manipulan en el experimento. Pueden ser controlables (como temperatura o tipo de mordiente) o no controlables (como humedad ambiental).
- **Niveles:** Representan los valores específicos que asume cada factor. Al combinar los niveles de distintos factores se conforman los tratamientos.
- **Tratamiento:** Es la condición experimental resultante de una combinación específica de niveles de los factores.
- **Error experimental:** Hace referencia a la variabilidad no explicada por los factores analizados, y puede deberse a causas aleatorias o fallas en el procedimiento experimental.

b) Diseño completamente al azar (DCA)

Según MONTGOMERY (2017), el diseño completamente aleatorizado es uno de los más utilizados en estudios de laboratorio donde las unidades experimentales son homogéneas. Se basa en la asignación aleatoria de tratamientos a las unidades disponibles, lo que garantiza la imparcialidad y reduce el riesgo de sesgo en los resultados. Este diseño se recomienda cuando se estudia un solo factor con dos o más niveles y cuando no se conocen fuentes externas de variación que puedan afectar la respuesta.



c) Características principales

- Un solo factor: Este diseño se utiliza para estudiar el efecto de un solo factor con varios niveles.
- Simplicidad: Es fácil de planificar y aplicar cuando no existen restricciones o factores adicionales a considerar.

d) Modelo estadístico

Matemáticamente, el comportamiento de la variable de interés en un DCA puede representarse mediante el siguiente modelo lineal:

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

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

Si los valores obtenidos para la variable de respuesta muestran diferencias significativas entre tratamientos, se interpreta que el factor en estudio tiene un efecto real, lo cual se verifica mediante un análisis de varianza (ANOVA). Cuando el valor p es inferior a 0.05, se concluye que las diferencias son estadísticamente significativas.

En la (Tabla 4), se muestra el ANOVA para el diseño completamente al azar de un solo factor. Al efecto cuyo valor- p sea menor que el valor especificado para alfa, se declara estadísticamente significativo.



Tabla 4 — ANOVA para el diseño completamente al azar de un factor

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

FUENTE: (GUTIÉRREZ Y DE LA VARA ,2012)

3.3 Marco conceptual

- a) **Colorante:** Un colorante es un compuesto orgánico que, al aplicarse sobre un sustrato, le otorga color. Generalmente, los colorantes se aplican en forma de disolución o emulsión, y el sustrato debe tener cierta afinidad o capacidad para adsorberlos. Los colorantes suelen ser solubles en el medio en el que se aplican o en el producto final, lo que facilita su incorporación y permanencia en el material.
- b) **Fibra:** Una hebra elemental es una unidad básica de fibra, generalmente caracterizada por tener una longitud definida y propiedades particulares que la hacen apta para ser transformada en hilos o tejidos.
- c) **Esquila:** Es una forma de cosechar la fibra cuando esta alcanza los diámetros requeridos para la industria textil.
- d) **Fibra:** Es una hebra, de longitud definida, de origen natural o vegetal, esta a su vez se puede convertir en hilos y productos alternos.
- e) **Colli:** Es una flor de color anaranjado, se encuentran en las zonas altas.
- f) **Mordiente:** Una sustancia que se aplica a las fibras textiles para facilitar la formación de enlaces con los colorantes recibe el nombre de mordiente o agente de fijación. La función principal es garantizar que el colorante se adhiera de manera permanente a la fibra, mejorando la intensidad, estabilidad y durabilidad del color.
- g) **Teñido:** Es un proceso químico mediante el cual se aplican colorantes a textiles u otros materiales con el propósito de alterar su color original de forma permanente. Este proceso busca que los colorantes se adhieran de manera uniforme y estable a las fibras, proporcionando un color nuevo, resistente y visualmente atractivo.

- h) Alumbre:** Es un mineral de tonalidad blanca que se encuentra comúnmente en formaciones rocosas, especialmente en zonas de origen sedimentario o volcánico.
- i) Collpa:** Es una arcilla que contiene minerales (Na, K, Ca, Mg).
- j) Sal de limón:** Es una sustancia química de color blanquecino con partículas pequeñas.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

4.1.1 Tipo de investigación

El desarrollo de esta presente investigación, es de tipo aplicada, lo cual se centró en resolver problemas y hallar soluciones practicas, el objetivo principal de la investigación es aplicar los resultados obtenidos (HERNANDEZ *et al.*, 2014).

4.1.2 Nivel de investigación

- **Explicativo:** Según HERNÁNDEZ S. et al.,(2014), el nivel de investigación busca identificar (las causas y mecanismos), que explican los resultados observados. En este entender, la presente tesis tiene como objetivo determinar y evaluar el efecto que tendrá uso mordientes metalicos en las variaciones de tonos de color y características textiles en lana de ovino y algodón nativo teñidos con flores de colli (*Buddleja coriacea*).

4.2 Diseño de investigación

El presente trabajo de investigación se enmarcó dentro del diseño experimental, ya que se propuso evaluar los efectos del tipo de mordiente en el proceso de teñido de fibras de algodón nativo y lana de ovino utilizando flores de colli (*Buddleja coriacea*). En este estudio aplicó un diseño experimental puro, el cual se basó en modificar intencionalmente el tipo de mordiente empleado para evaluar sus efectos directos sobre las propiedades colorimétricas y características textiles, tal como recomienda (ARIAS, 2021), para investigaciones con control de variables. Según (EZEQUIEL ,2011), este diseño permite ejercer control sobre las condiciones del



experimento y establecer relaciones causales a partir de los cambios observados en las variables analizadas.

Tabla 5 — Diseño de los tratamientos de las propiedades colorimétricas

Tratamiento	Mordiente	Repetición	Propiedades colorimétricas				
			L*	a*	b*	C*	h°
T1/M1	SM	R1					
	SM	R2					
	SM	R3					
T2/M2	AL	R1					
	AL	R2					
	AL	R3					
T3/M3	SL	R1					
	SL	R2					
	SL	R3					
T4/M4	CO	R1					
	CO	R2					
	CO	R3					

NOTA

Luminosidad (L*), Coordenada (a* y b*), Cromo c* y el ángulo de matiz (h°), AL (alumbre), CO (collpa) y SL(sal de limón), T (tratamiento de algodón nativo) y M (tratamiento de lana de ovino).

Tabla 6 — Diseño de los tratamientos para las características textiles

Tratamiento	Mordiente	Repetición	Características textiles				
			DMF µm	CV- DMF µm	FC %	IC µm	FH µm
T1/M1	SM	R1					
	SM	R2					
	SM	R3					
T2/M2	AL	R1					
	AL	R2					
	AL	R3					
T3/M3	SL	R1					
	SL	R2					
	SL	R3					
T4/M4	CO	R1					
	CO	R2					
	CO	R3					

NOTA

Diámetro medio de fibra (DMF); Coeficiente de variación de diámetro medio de fibra (CV-DMF); Factor de confort (FC); Índice de curvatura (IC); Finura al hilado (FH) , AL (alumbre), CO (collpa) y SL(sal de limón). Superíndices con letras diferente por columna muestran diferencias significativas (P<0.05).

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población

La lana de ovino para la investigación fue obtenida en el distrito de Oropesa, provincia de Antabamba, departamento de Apurímac, situado a 3,388.00 msnm, se seleccionó un rebaño de 60 ovinos de color blanco. Se eligió un ejemplar joven (2 años) del rebaño y se esquiló del costillar medio 2 kg de

lana. Por otra parte se recolectó 5kg de algodón nativo (color blanco) en el valle de Pachachaca de la provincia de Abancay departamento de Apurímac. La evaluación experimental se realizó en el ambiente del laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastida de Apurímac.

4.3.2. Muestra

La muestra utilizada en esta investigación fue seleccionada mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, determinado según la accesibilidad del material y el criterio metodológico del investigador.

Se emplearon 30 gramos de lana de ovino, extraídos de una muestra base de 2 kg, recolectada específicamente del costillar medio del vellón por su uniformidad estructural. Para el algodón nativo, se seleccionaron 30 gramos a partir de 5 kg de algodón nativo limpia. Estas cantidades fueron definidas por su idoneidad para los ensayos de teñido, aplicación de mordientes y evaluación físico-textil, garantizando condiciones experimentales estables y comparables.

4.4 Procedimiento

El procedimiento se desarrolló siguiendo las metodologías propuestas por (NINA, 2018; SUCASACA y GUEVARA, 2021; LOZANO et al., 2024), con algunas modificaciones. En la presente investigación, se llevó a cabo el tratamiento de hilos de algodón nativo y lana de ovino utilizando flores de colli, empleando mordientes como alumbre, collpa y sal de limón. El objetivo de este proceso fue evaluar los efectos en las propiedades colorimétricas obtenidas y analizar las características textiles.

4.4.1 Recolección de las flores de colli (*Buddleja coriacea*)

La recolección de las flores de colli (*Buddleja coriacea*), caracterizadas por su intenso color naranja oscuro durante la floración, el cual se llevó a cabo en los meses de junio y julio de 2024. Esta actividad se realizó en los bosques de las provincias de Abancay, pertenecientes a la región de Apurímac, Perú, a una altitud aproximada de 4000 a 4200 msnm.



Se obtuvo un total de 5 kilogramos de flores, cantidad suficiente para llevar a cabo un proceso de limpieza que consistió en la eliminación de impurezas como restos de tallos, hojas y espinas, asegurando así la calidad del material recolectado para los fines propuestos.

Este proceso de secado se llevó a cabo utilizando una estufa, operada a una temperatura firme de 60 °C durante un período de 12 horas. Este procedimiento se realizó con el objetivo de optimizar el rendimiento del colorante extraído y maximizar la superficie de contacto entre el agua y las flores de colli.

4.4.1.1 Secado de las flores para su extracción

Para obtener un mejor rendimiento del colorante y aumentar la superficie de contacto con el producto, se tubo que secar las flores.

4.4.1.2 Extracción del colorante

El procedimiento experimental se desarrolló siguiendo las metodologías propuestas por (NINA,2018; SUCASACA y GUEVARA, 2021; LOZANO et al., 2024), con algunas adaptaciones pertinentes para los fines de esta investigación. Se realizó el teñido de hilos de algodón nativo y lana de ovino empleando flores de colli como colorante natural, utilizando diferentes mordientes: alumbre, collpa y sal de limón. El objetivo fue evaluar el efecto de estos mordientes sobre las propiedades colorimétricas y las características textiles de las fibras tratadas.

4.4.2 Proceso para el teñido de la fibra

- **Lavado:** Antes de iniciar el proceso de teñido, tanto el vellón de lana de ovino (proveniente del costillar medio), como la fibra de algodón nativo fueron sometidos a una etapa de limpieza inicial. Esta consistió en la eliminación manual de impurezas visibles como piedras, tierra, espinas y semillas, con el fin de asegurar una materia prima libre de contaminantes. Posteriormente, las fibras fueron lavadas utilizando agua tibia (aproximadamente 30 °C) y detergente líquido vallerina, en una proporción de 0,5 ml por cada litro de agua. Este procedimiento permitió remover residuos orgánicos e inorgánicos adheridos a la fibra. Luego del



lavado, se enjuagaron cuidadosamente y se dejaron secar a temperatura ambiente, evitando la exposición directa a la luz, tal como recomiendan HURTADO y ARROYO (2016). Una vez secas, las fibras fueron hiladas manualmente utilizando una rueca, a fin de obtener hilos de grosor uniforme y aptos para su posterior teñido.

- **Teñido de la fibra de algodón nativo y lana de ovino :** Para el proceso de teñido con el colorante natural proveniente de la flor de colli, se prepararon baños de tintura utilizando ollas de aluminio, a las que se añadió agua destilada en cantidad suficiente para cubrir completamente la fibra textil. En cada tratamiento se emplearon 250 ml de agua destilada y 8 gramos de flor de colli como agente colorante. Los hilos de fibra fueron sumergidos en el baño de tintura y mantenidos bajo condiciones controladas: una temperatura constante de 85 °C (temperatura de ebullición moderada) y un tiempo de exposición de 30 minutos. Este procedimiento se replicó tres veces para cada uno de los tratamientos, siguiendo el protocolo descrito por (HURTADO y ARROYO ,2016).
- **Pos-mordentado:** El proceso de posmordentado se realizó añadiendo el mordiente correspondiente a cada uno de los tratamientos experimentales. Para el tratamiento 1 (T2/M2) se utilizó 1 gramo de alumbre, para el tratamiento 2 (T3/M3), 1 gramo de sal de limón, y para el tratamiento 3 (T4/M4), 1 gramo de collpa. En cada caso, los hilos teñidos fueron sumergidos en la solución con el mordiente y calentados hasta alcanzar el punto de ebullición, manteniéndose en estas condiciones durante 5 minutos. Durante este tiempo, las fibras se agitaron de forma constante, moviéndolas suavemente de arriba hacia abajo para asegurar una distribución homogénea del mordiente. Finalizado el proceso, los hilos fueron enjuagados con agua limpia y dejados secar a temperatura ambiente, en un espacio sin exposición directa a la luz.

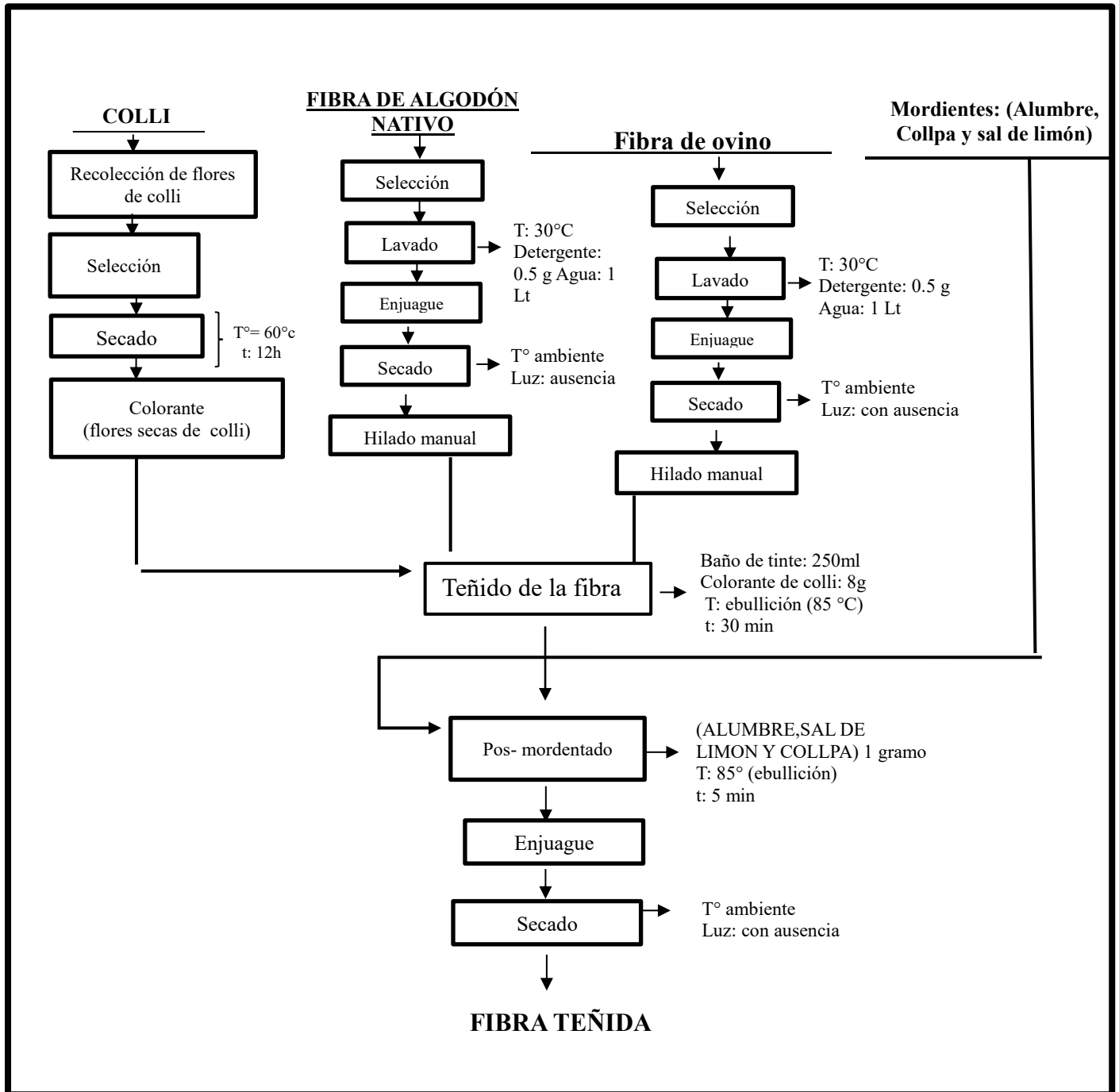


Figura 6 – Diagrama de flujo del teñido de la fibra de algodón nativo y lana de ovino con colorante colli

4.5 Técnica e instrumentos

4.5.1 Determinación de parámetros de colorimetría

Para la determinación de los parámetros colorimétricos, se tomó como referencia la metodología descrita por (CAPILLA *et al.*, 2002), con el propósito de evaluar los cambios de color y matiz en las fibras teñidas con colorante de coll'i bajo tres tratamientos diferenciados por el tipo de mordiente. Las evaluaciones se realizaron en laboratorio, mediante procedimientos controlados que simulaban condiciones reales de aplicación, lo que permitió observar con precisión el efecto de cada tratamiento sobre las propiedades cromáticas de las fibras analizadas.

Para la evaluación del color de las muestras teñidas, se empleó un colorímetro modelo PCE-CSM 7. Antes de cada medición, el equipo fue calibrado utilizando fondos blanco y negro, conforme a las instrucciones especificadas en el manual del fabricante. Posteriormente, se confeccionaron muestras textiles de 2 cm² con los hilos teñidos, las cuales fueron colocadas sobre las porta-muestras del equipo para asegurar una medición uniforme. El análisis de color se realizó bajo el sistema de coordenadas CIELAB, registrando los valores de los tres componentes del espacio tridimensional: L*, que representa la luminosidad, con una escala de 0 (negro absoluto) a +100 (blanco absoluto); a*, que mide la saturación en el eje verde-rojo, con un rango de -100 (verde intenso) hasta +150 (rojo intenso), b*, que indica la saturación en el eje azul-amarillo, con valores que van desde 170 hasta +100 amarillo intenso (DRUML *et al.*, 2018).

Estos parámetros permitieron cuantificar objetivamente las variaciones cromáticas producidas por los diferentes tratamientos de mordentado aplicados a las fibras teñidas.

4.5.2 Características textiles

Para las siguientes evaluaciones de características textiles se utilizó un OFDA 2000, las cuales se enviaron las muestras al laboratorio de fibras textiles de la (Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco). Los parámetros a determinar fueron el diámetro medio de fibra (DMF), coeficiente de variación



(CV), factor de confort (FC) e índice de curvatura (IC), además se determinó la finura al hilado (FH) usando la ecuación descrita por (BUTLER, KL y DOLLING, M. (1995).

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

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

4.5.3 Instrumentos

Se utilizó un colorímetro PCE-CSM7, para determinar la tonalidad de los hilos teñidos, a continuación se menciona:

La materia prima, materiales, insumos y equipos que se ha utilizado en la investigación:

a. Materia prima

- Flor de colli (*Buddleja coriácea*)
- Lana de ovino
- Algodón nativo

b. Materiales y equipos

- Vaso precipitado de 1000ml y 500ml
- Bagueta
- Espátula
- Ollas
- Guantes
- Cocina
- Balde 5L
- Frascos de plástico
- Pipeta de 10ml

c. Equipos

- Balanza analítica
- Cronómetro
- Termómetro
- Cocinilla eléctrica
- Colorímetro (PCE-CSM 7)

d. Insumos

- Mordiente Alumbre



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

4.6 Análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente aleatorizado (DCA) y considero únicamente el tipo de mordiente aplicado (A) como factor de estudio. Este diseño permitió evaluar el efecto de diferentes mordientes (alumbre, sal de limón, collpa) en las variables de respuesta relacionadas con el color y las características textiles analizadas. Los datos se procesaron mediante análisis de varianza (ANOVA de una vía) para identificar diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en función de las variables dependientes: parámetros de color (L^* , a^* , b^*) y propiedades de la fibra (DMF, CV, FC, IC, FH).

Los resultados experimentales fueron expresados como media \pm desviación estándar, a partir de tres mediciones paralelas ($n = 3$) por tratamiento. Cuando el ANOVA mostró diferencias significativas ($p < 0.05$), se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey para identificar entre qué grupos existían diferencias.

Todo el procesamiento estadístico se realizó utilizando (software Minitab versión 22), bajo un nivel de significancia del 5 % ($\alpha = 0.05$) y un nivel de confianza del 95 %.

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

Donde:

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

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Análisis de resultados

5.1.1 Análisis de colorimetría de algodón nativo teñido con colorante de flor de colli (*Buddleja coriacea*)

En la (Tabla 7), se presentan los resultados obtenidos para los cuatro tratamientos aplicados, los cuales corresponden a un diseño con un solo factor: el tipo de mordiente, evaluado en distintos niveles. Se reportan los valores promedio y sus 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). Estos parámetros 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.

Tabla 7 — Datos de análisis de color de algodón nativo teñida con colorante de flor de colli (*Buddleja coriacea*)

Tratamiento	Mordiente	Propiedades colorimétricas				
		L*	a*	b*	C*	h°
T1	SM	71.73±0.68 ^a	10.09±0.22 ^c	33.22±0.22 ^c	34.72±0.27 ^c	73.11±0.24 ^c
T2	AL	67.54±0.71 ^b	12.21±0.22 ^b	54.70±0.21 ^b	56.05±0.16 ^b	77.42±0.27 ^b
T3	SL	60.14±0.68 ^c	18.01±0.35 ^a	56.32±0.78 ^a	59.13±0.69 ^a	72.27±0.50 ^c
T4	CO	51.98±0.76 ^d	5.65±0.18 ^d	29.21±0.60 ^d	29.75±0.59 ^d	79.06±0.28 ^a

NOTA

Luminosidad (L*); Cordenada cromática (a* , b*); Saturación (C*); Angulo de matiz (h°): En donde (T1) Algodón sin mordiente; (T2) Alumbre; (T3) Sal de limon y (T4) Collpa, superíndices con letras muestra las diferencias significativas (p<0.05); (n=3), T (1.2.3.4) algodón nativo.



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

Los resultados muestran que los diferentes mordientes aplicados influyeron significativamente en las propiedades colorimétricas de hilos de algodón nativo teñido con flores de colli (*Buddleja coriacea*).

- **Luminosidad (L*)**

El análisis estadístico realizado mediante el diseño completamente al azar (DCA) con un solo factor tales mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$), según se evidencia en la (Tabla 7). Este resultado indica que la aplicación de distintos mordientes tuvo un efecto significativo sobre la luminosidad (L*) de hilos de algodón nativo teñido con flores de colli (*Buddleja coriacea*)

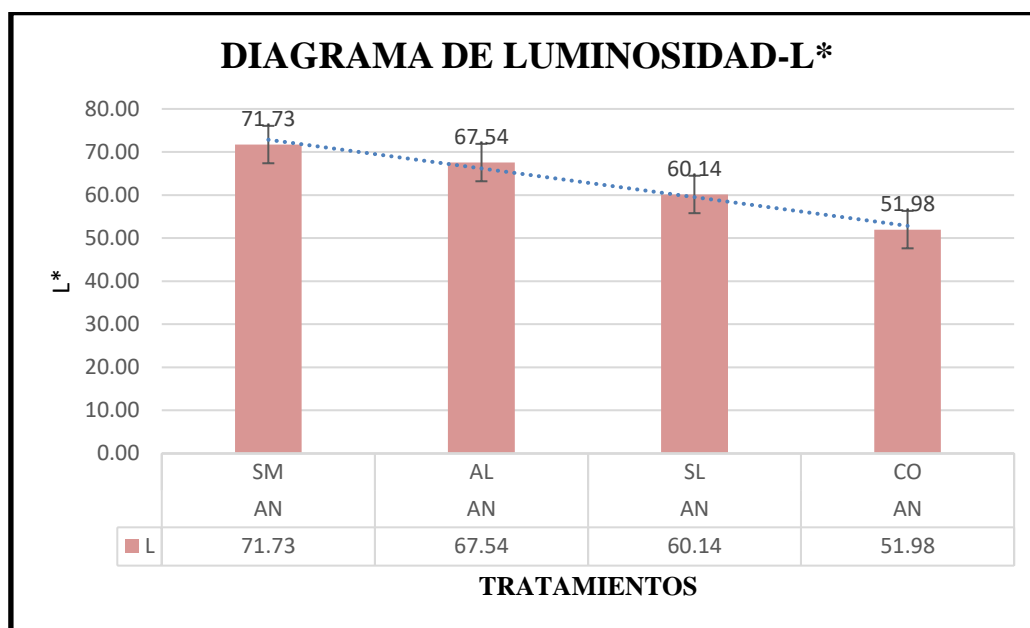


Figura 7 — Representación gráfica de luminosidad (L*)

Tabla 8 — Análisis de varianza (ANOVA)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Mordientes	3	679.188	226.396	299.53	0.000
Error	8	6.047	0.756		
Total	11	685.235			

El análisis de varianza mostró que existen diferencias estadísticamente significativas entre los mordientes aplicados ($p = 0.000$). El alto valor F (299.53)

indica que el tipo de mordiente influye notablemente en la variable evaluada, explicando casi toda la variabilidad total de los datos. Por tanto, se confirma que el mordiente tiene un efecto importante en los resultados obtenidos.

Tabla 9 — Test de Tukey para luminosidad
Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Mordientes	N	Media	Agrupación			
SM	3	71.727	A			
AL	3	67.543		B		
SL	3	60.140			C	
CO	3	51.977				D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Al aplicar la prueba de Tukey para la comparación de medias (Tabla 9), El mayor valor fue registrado en el tratamiento sin mordiente (T1), con 71.73, lo que indica un tono más claro. En contraste, el tratamiento con collpa (T4) mostró la menor luminosidad (51.98), evidenciando un color más oscuro, lo que indica una mayor absorción del tinte en presencia de ese mordiente.

Estos resultados confirman que la presencia de un mordiente puede disminuir la luminosidad del tejido e intensificando la absorción del colorante. La disminución progresiva en L* desde T1 hasta T4 evidencia una mayor interacción entre el tinte y los hilos de la fibra de algodón nativo en presencia de mordientes ácidos.

- **Coordenada de (a*)**

El análisis estadístico mediante el diseño completamente al azar (DCA) con un solo factor indicó diferencias significativas entre los tratamientos para el parámetro a* ($p < 0.05$), tal como se detalla en la (Tabla 7). Este parámetro evalúa la intensidad del componente rojo en el color del tejido teñido con flores de colli (*Buddleja coriacea*).

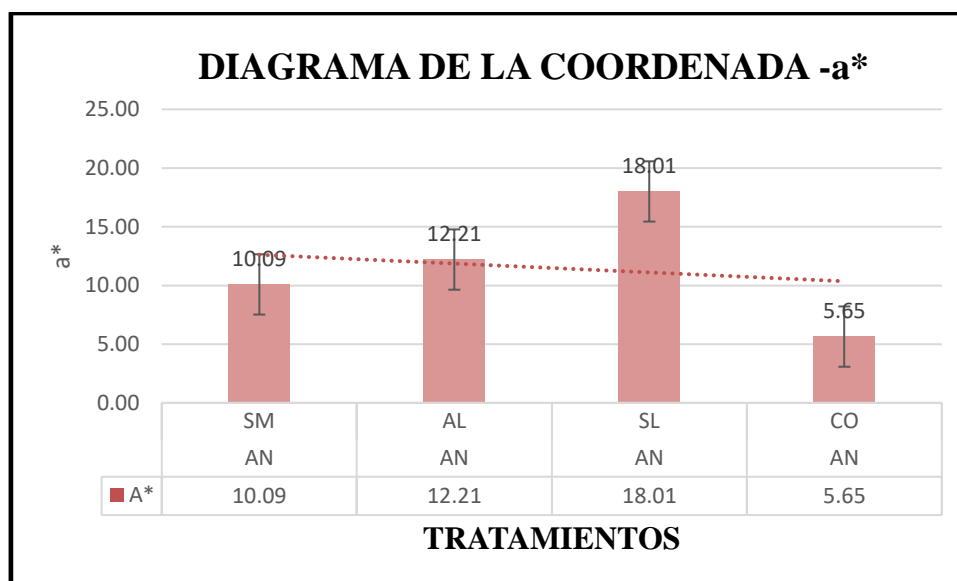


Figura 8 — Representación gráfica del parámetro cromático a*

Tabla 10 — Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Mordientes	3	237.255	79.0851	1264.86	0.000
Error	8	0.500	0.0625		
Total	11	237.755			

El análisis de varianza evidenció diferencias altamente significativas entre los mordientes utilizados ($p = 0.000$). El valor F (1264.86) es muy elevado, lo que indica que el tipo de mordiente tiene una influencia directa y muy marcada sobre la variable analizada. Además, el factor mordientes explica prácticamente toda la variabilidad total (237.255 de 237.755), confirmando su efecto determinante en los resultados.

Tabla 11 — Test de Tukey para la coordenada a*

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

Mordientes	N	Media	Agrupación		
SL	3	18.007	A		
AL	3	12.207		B	
SM	3	10.090			C
CO	3	5.647			D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Según la prueba de Tukey aplicada (Tabla 11), en el tratamiento con sal de limón (T3) se registró el mayor valor (18.01 ± 0.35), indicando una notable intensificación de los matices rojizos en el tejido. En cambio, el valor más bajo fue en el tratamiento con collpa (T4) con 5.65 ± 0.18 , evidenciando escasa contribución del color rojo en este tratamiento.

Los resultados reflejan que los mordientes modifican significativamente la tonalidad roja del tinte, siendo así más efectiva su activación en presencia de ácidos orgánicos como la sal de limón. El aumento progresivo en el valor de a^* desde T4 a T3 sugiere una mejora en la afinidad entre el colorante natural y la fibra cuando se utiliza este mordiente.

- **Coordenada de (b^*)**

El análisis estadístico mostró diferencias significativas en los valores de la coordenada b^* ($p < 0.05$), lo que demuestra que el tipo de mordiente influye en la expresión del componente amarillo del color en el algodón teñido con flores de colli.

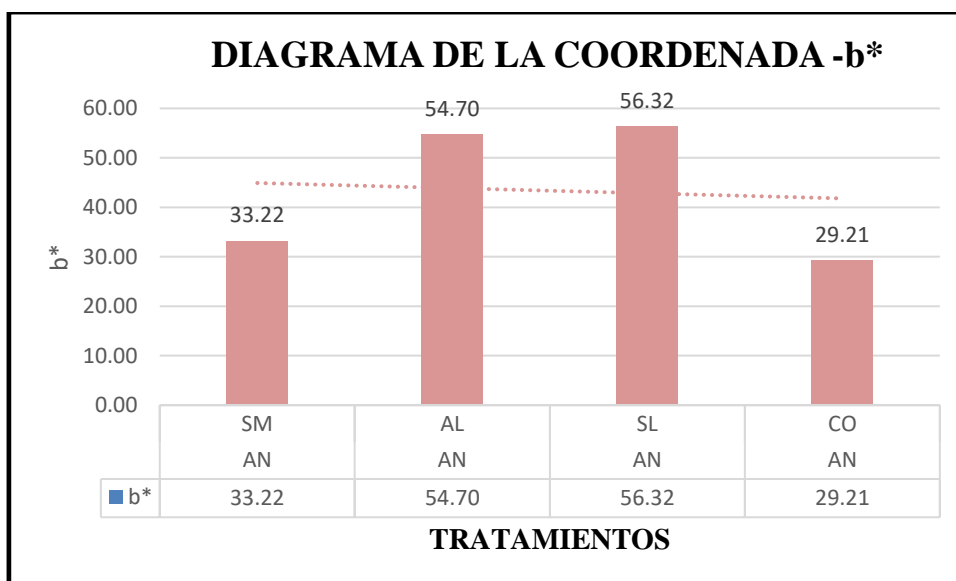


Figura 9 — Representación gráfica del parámetro cromático b^*

Tabla 12 — Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Mordientes	3	1798.77	599.588	2300.65	0.000
Error	8	2.08	0.261		
Total	11	1800.85			



Los resultados muestran que el tipo de mordiente utilizado influye de manera muy significativa en la variable que se evaluó. Esto se confirma con un valor p de 0.000, lo que significa que las diferencias no son producto del azar. Además, el valor F es bastante alto (2300.65), lo que indica que los cambios observados entre tratamientos son reales y muy marcados. Casi toda la variación en los resultados (prácticamente el 100%) se debe al uso de diferentes mordientes, lo que demuestra que este factor es clave en el proceso.

Tabla 13 — Test de Tukey para la coordenada b*
Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Mordientes	N	Media	Agrupación		
SL	3	56.317	A		
AL	3	54.703		B	
SM	3	33.220			C
CO	3	29.210			D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

La prueba de Tukey (Tabla 13) reveló que T3 (sal de limón) obtuvo el valor más alto (56.32 ± 0.78), seguido por T2 (alumbre) con 54.70 ± 0.21 , lo que evidencia una intensificación significativa de los matices amarillos. Por su parte, T4 (collpa) obtuvo el valor más bajo (29.21 ± 0.60), confirmando una menor activación del componente amarillo.

Esto confirma que los mordientes influyen sobre la tonalidad final del tinte, siendo el ácido cítrico presente en la sal de limón un potenciador natural del componente amarillo, probablemente por favorecer la solubilización de compuestos flavonoides del colli (*Buddleja coriácea*).

- **Croma (C*)**

El análisis estadístico del parámetro de cromaticidad (C*), que expresa la saturación del color, también evidenció diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), según la (Tabla 7).

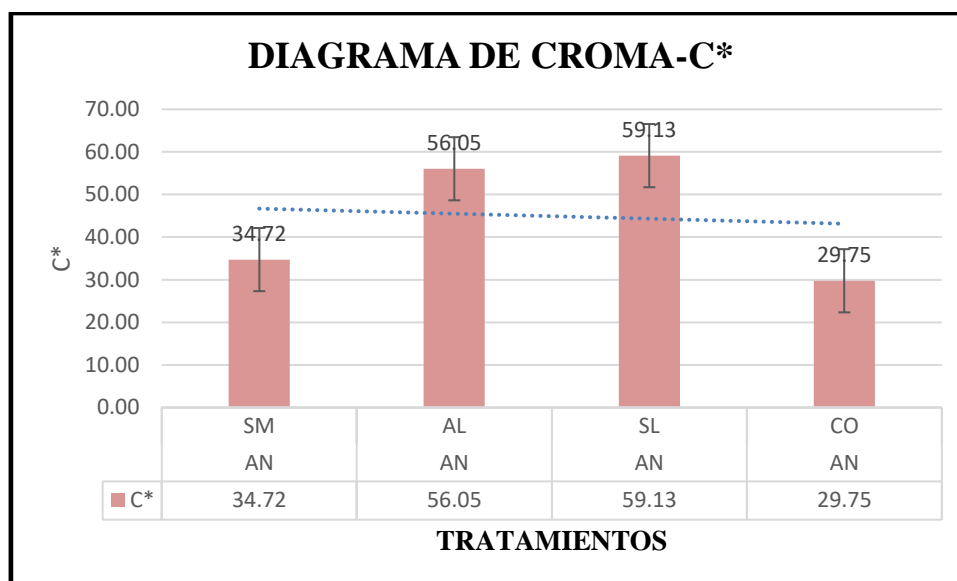


Figura 10 — Representación gráfica de la saturación cromática (C*)

Tabla 14 — Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Mordientes	3	1979.56	659.855	2865.22	0.000
Error	8	1.84	0.230		
Total	11	1981.41			

El análisis confirma que existen diferencias muy significativas entre los mordientes utilizados, ya que el valor p es 0.000, lo que indica una alta confiabilidad en los resultados. El valor F (2865.22) es extremadamente alto, lo que refleja que el tipo de mordiente tiene un efecto muy fuerte sobre la variable evaluada. Además, casi toda la variabilidad total (1981.41) es explicada por los mordientes (1979.56), lo que demuestra que este factor es determinante en el comportamiento de los resultados.

Tabla 15 — Test de Tukey para el croma (C*)

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

Mordientes	N	Media	Agrupación			
SL	3	59.127	A			
AL	3	56.0491		B		
SM	3	34.719			C	
CO	3	29.751				D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

La prueba de Tukey (Tabla 15), mostró que T3 (sal de limón) alcanzó el valor más alto (59.13 ± 0.69), seguido por T2 (alumbre) con 56.05 ± 0.16 , lo cual refleja colores más vivos e intensos. Por otro lado, T4 (collpa) reportó el valor más bajo (29.75 ± 0.59), lo que indica un tono más opaco.

Estos resultados sugieren que el tipo de mordiente no solo afecta el matiz, sino también la vivacidad del color logrado, siendo los mordientes ácidos como la sal de limón más eficaces en intensificar la apariencia del teñido final.

- **Tono h°**

El análisis del tono (h°) indicó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$), lo que permite concluir que el tipo de mordiente también tiene un impacto directo en la orientación tonal del color.

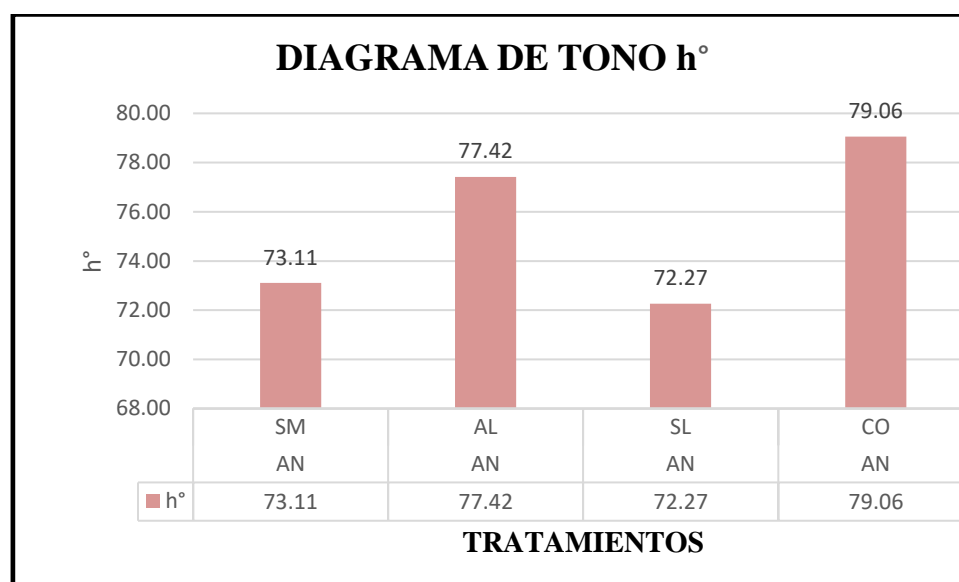


Figura 11 — Representación gráfica del tono (h°)

Tabla 16 — Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Mordientes	3	97.6116	32.5372	287.51	0.000
Error	8	0.9053	0.1132		
Total	11	98.5170			

El análisis muestra que el tipo de mordiente influye significativamente en la variable evaluada, ya que el valor p es 0.000. Esto indica que las diferencias observadas entre tratamientos no se deben al azar. Además, el valor F (287.51) es



muy elevado, lo que refuerza la idea de que los mordientes tienen un efecto claro y potente en los resultados. La mayor parte de la variación total (97.61 de 98.52) se debe al tipo de mordiente, lo que lo convierte en un factor determinante en el comportamiento de la variable.

Tabla 17 — Test de Tukey para tono h°

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

Mordientes	N	Media	Agrupación		
CO	3	79.058	A		
AL	3	77.420		B	
SM	3	73.106			C
SL	3	72.266			C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

De acuerdo con la prueba de Tukey (Tabla 17), el valor más alto fue registrado en T4 (collpa) (79.06 ± 0.28), indicando una tonalidad con predominancia amarilla. En contraste, T3 (sal de limón) presentó el valor más bajo (72.27 ± 0.50), lo que sugiere un desplazamiento hacia tonos más cálidos o anaranjados. T1 (73.11 ± 0.24) y T2 (77.42 ± 0.27) se ubicaron en posiciones intermedias, aunque significativamente distintas.

Este comportamiento refleja que cada mordiente interactúa de forma distinta con los compuestos colorantes del extracto de colli, modificando tanto la intensidad como la percepción del color en el tejido final.

5.1.2 Análisis de colorimetría de la fibra de lana de ovino teñido con colorante de flor de colli (*Buddleja coriacea*)

En la (Tabla 18), se presentan los resultados obtenidos para los cuatro tratamientos aplicados, los cuales corresponden a un diseño con un solo factor: el tipo de mordiente, evaluado en distintos niveles. Se reportan los valores promedio y sus 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). Estos parámetros 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.

Tabla 18 — Datos de análisis de color de la fibra de lana de ovino teñida con colorante de flor de colli (*Buddleja coriacea*)

Tratamiento	Mordiente	Propiedades colorimétricas				
		L*	a*	b*	C*	h°
M1	SM	58.85±0.19 ^c	17.99±0.05 ^a	56.20±0.18 ^b	59.01±0.19 ^a	72.25±0.02 ^c
M2	AL	67.75±0.36 ^a	12.16±0.14 ^b	54.80±0.05 ^c	56.14±0.04 ^b	77.49±0.14 ^a
M3	SL	60.84±0.37 ^b	18.10±0.12 ^a	56.90±0.18 ^a	59.71±0.14 ^a	72.35±0.16 ^c
M4	CO	46.47±0.25 ^d	8.78±0.31 ^c	37.68±0.42 ^d	38.69±0.48 ^c	76.89±0.32 ^b

NOTA
Luminosidad (L*); Cordenada cromática (a* , b*); Saturación (C*); Ángulo de matiz (h°): En donde (M1) Algodón sin mordiente; (M2) Alumbre; (M3) Sal de limon y (M4) Collpa, Superíndices con letras muestra las diferencias significativas (p<0.05); (n=3); M(1,2,3,4) Lana de ovino.

Los resultados muestran que los diferentes mordientes aplicados influyeron significativamente en las propiedades colorimétricas de lana de ovino teñido con flores de colli (*Buddleja coriacea*).

- **Luminosidad (L)**

El análisis estadístico realizado mediante un diseño completamente al azar (DCA) considerando un solo factor (tipo de mordiente) reveló diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (p < 0.05), como se muestra en la (Tabla 18). Esto demuestra que el tipo de mordiente utilizado afecta directamente la claridad del color obtenido en la lana teñida con flores de colli.

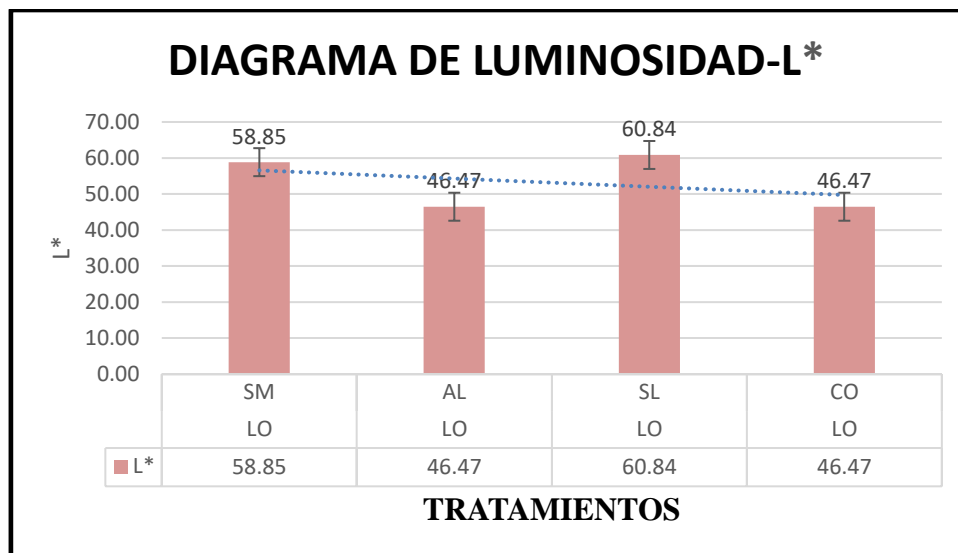


Figura 12 — Representación gráfica de luminosidad (L*)

Tabla 19 — Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Mordientes	3	707.446	235.815	2590.90	0.000
Error	8	0.728	0.091		
Total	11	708.174			

Los resultados muestran que el tipo de mordiente tiene un efecto altamente significativo sobre la variable evaluada, ya que el valor p es 0.000. El valor F es muy elevado (2590.90), lo que indica que las diferencias entre los tratamientos no son por azar, sino que los mordientes realmente generan un impacto en el resultado. Además, casi toda la variación total (707.446 de 708.174) se explica por el tipo de mordiente, lo que demuestra que es un factor clave en el comportamiento de la variable estudiada.

Tabla 20 — Test de Tukey para luminosidad

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

Mordientes	N	Media	Agrupación
AL	3	67.750	A
SL	3	60.843	B
SM	3	58.850	C
CO	3	46.473	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.



Según la comparación de medias utilizando la prueba de Tukey (Tabla 20), el tratamiento con alumbre (M2) obtuvo el valor más alto de luminosidad (67.75 ± 0.36), lo que refleja un tono más claro en el tejido. Por otro lado, el tratamiento con collpa (M4) registró el valor más bajo (46.47 ± 0.25), evidenciando una coloración más oscura, producto de una mayor retención del pigmento en la fibra.

Estos hallazgos confirman que la adición de ciertos mordientes disminuye el valor de L^* , generando un tejido con tonos más intensos y oscuros. La disminución progresiva en los valores de luminosidad desde M2 a M4 sugiere una mayor interacción química entre los compuestos tintóreos y la fibra en presencia de mordientes más reactivos.

- **Coordenada a^***

El análisis estadístico mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos respecto a la coordenada a^* , que indica la presencia del componente rojo en el color de la lana teñida (Tabla 18).

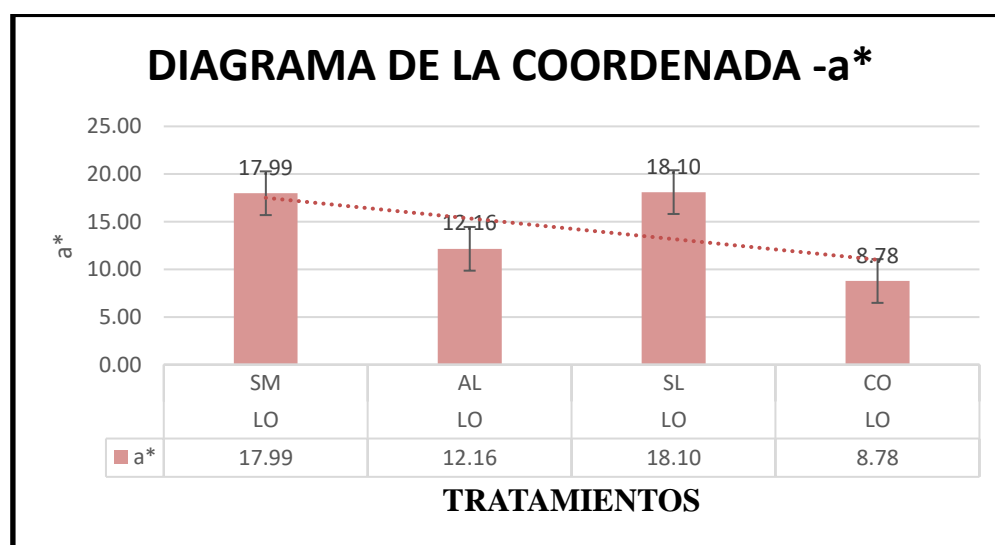


Figura 13 — Representación gráfica de la coordenada a^*

Tabla 21 — Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Mordientes	3	189.341	63.1136	1891.04	0.000
Error	8	0.267	0.0334		
Total	11	189.608			



Los resultados indican que el tipo de mordiente tiene un efecto muy significativo sobre la variable evaluada, con un valor p de 0.000. El valor F es extremadamente alto (1891.04), lo que confirma que las diferencias entre los tratamientos son reales y no producto del azar. Además, casi toda la variabilidad total (189.341 de 189.608) se debe al tipo de mordiente, lo que lo convierte en un factor determinante en el resultado obtenido.

Tabla 22 — Test de Tukey para la coordenada a*
Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Mordientes	N	Media	Agrupación		
SL	3	18.1033	A		
SM	3	17.9867	A		
AL	3	12.1567		B	
CO	3	8.780			C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

La prueba de Tukey (Tabla 22) reveló que el tratamiento con sal de limón (M3) presentó el mayor valor (18.10 ± 0.12), evidenciando una marcada tendencia hacia matices rojizos. Este resultado fue seguido de cerca por el tratamiento sin mordiente (M1), que también mostró una alta presencia del componente rojo (17.99 ± 0.05). Por el contrario, el tratamiento con collpa (M4) obtuvo el valor más bajo (8.78 ± 0.31), indicando una disminución notable de dicho matiz.

Estos resultados demuestran que los mordientes pueden activar o inhibir ciertos componentes cromáticos, y que el ácido cítrico de la sal de limón potencia la expresión del color rojo en la fibra de lana, mientras que la collpa tiende a neutralizarla.

- **Coordenada b***

Respecto al componente amarillo (b*), el análisis de varianza también arrojó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos (ver Tabla 18). Este parámetro refleja la intensidad de los matices amarillos en el tejido.

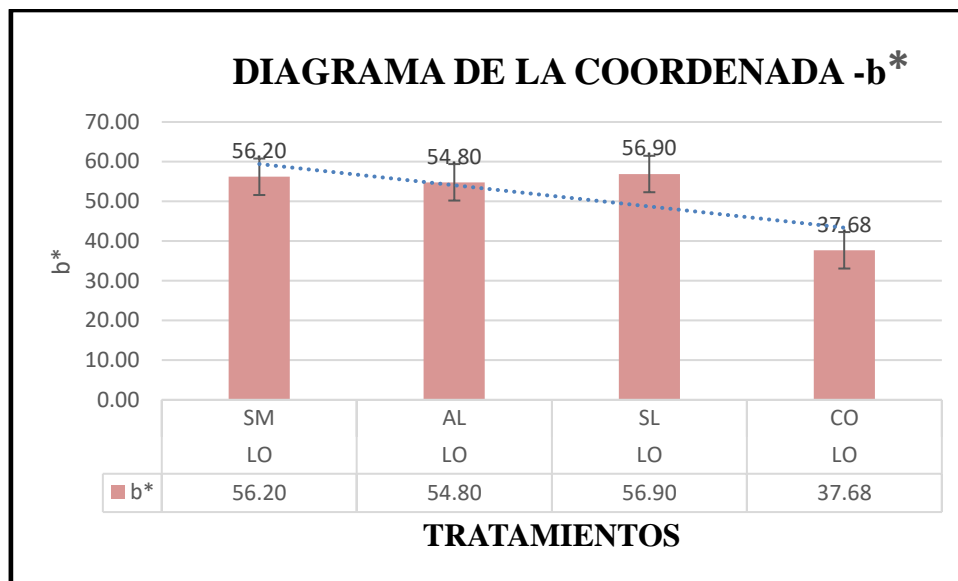


Figura 14 — Representación gráfica de la coordenada b^*

Tabla 23 — Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Mordientes	3	759.223	253.074	4090.64	0.000
Error	8	0.495	0.062		
Total	11	759.718			

El análisis muestra que el tipo de mordiente tiene un efecto altamente significativo sobre la variable evaluada, ya que el valor p es 0.000. El valor F (4090.64) es extremadamente alto, lo que confirma que las diferencias entre los tratamientos son reales y no se deben al azar. Además, prácticamente toda la variación total (759.223 de 759.718) se atribuye al uso de diferentes mordientes, lo que demuestra que este factor tiene un impacto determinante en los resultados.

Tabla 24 — Test de Tukey para la coordenada b^*

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

Mordientes	N	Media	Agrupación			
SL	3	56.897	A			
SM	3	56.200		B		
AL	3	54.8033			C	
CO	3	37.680				D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.



Según la prueba de Tukey (Tabla 24), el tratamiento con sal de limón (M3) alcanzó el valor más alto (56.90 ± 0.18), seguido por sin mordiente (M1) con 56.20 ± 0.18 y alumbre (M2) con 54.80 ± 0.05 . En contraste, el tratamiento con collpa (M4) obtuvo el valor más bajo (37.68 ± 0.42), lo que representa una coloración con menor contenido amarillo.

Estos datos sugieren que la sal de limón facilita la fijación de pigmentos amarillos del colli sobre la fibra proteica, probablemente por su efecto acidificante en el medio de teñido, mientras que la collpa genera una interacción más opaca que limita la expresión de este componente.

- **Croma C***

El parámetro de saturación o croma (C*), que indica la intensidad del color visualizado, también mostró diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p < 0.05$) (ver Tabla 18).

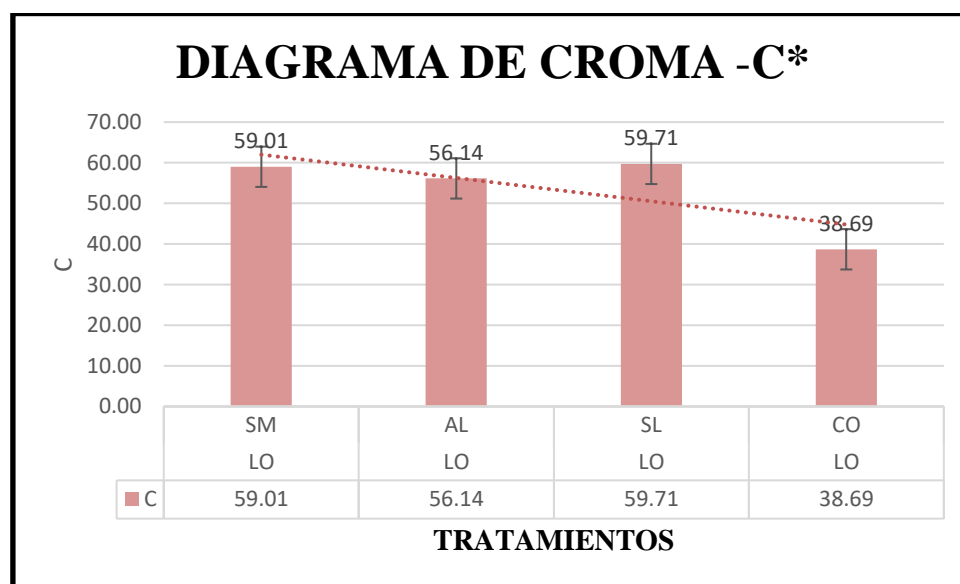


Figura 15 — Representación gráfica del croma C*

Tabla 25 — Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Mordientes	3	885.323	295.108	4123.56	0.000
Error	8	0.573	0.072		
Total	11	885.895			

El análisis de varianza (Tabla 25) demuestra que el tipo de mordiente influye significativamente en la intensidad del color de los hilos teñidos. El valor $p = 0.000$ indica que las diferencias observadas entre los tratamientos no son producto del azar. Además, el valor $F (4123.56)$ es extremadamente alto, lo que confirma un efecto muy marcado del mordiente sobre la variable. La suma de cuadrados muestra que casi toda la variación total (más del 99%) se debe al tipo de mordiente. Esto evidencia que este factor es determinante en el comportamiento del color. Por tanto, la elección del mordiente resulta clave para lograr mejores resultados en la intensidad del teñido.

Tabla 26 — Test de Tukey para croma

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

Mordientes	N	Media	Agrupación		
SL	3	59.7075	A		
SM	3	59.008	A		
AL	3	56.1356		B	
CO	3	38.690			C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

La prueba de comparación de medias de Tukey (Tabla 26), identificó que el tratamiento M3 (sal de limón) alcanzó la mayor saturación (59.71 ± 0.14), seguido por M1 (sin mordiente) (59.01 ± 0.19), indicando colores más vivos y llamativos. En el extremo opuesto, M4 (collpa) presentó el menor valor (38.69 ± 0.48), lo que evidencia una saturación mucho más baja.

Esto refleja que la elección del mordiente es determinante en la vivacidad del tono final. En especial, el uso de sal de limón mejora la intensidad del colorante natural de colli, mientras que la collpa, al reducir la saturación, origina colores más neutros o terrosos.

- **Tono h°**

El ángulo de matiz (h°), que describe la ubicación del color dentro del círculo cromático, también presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), como se aprecia en la (Tabla 18).



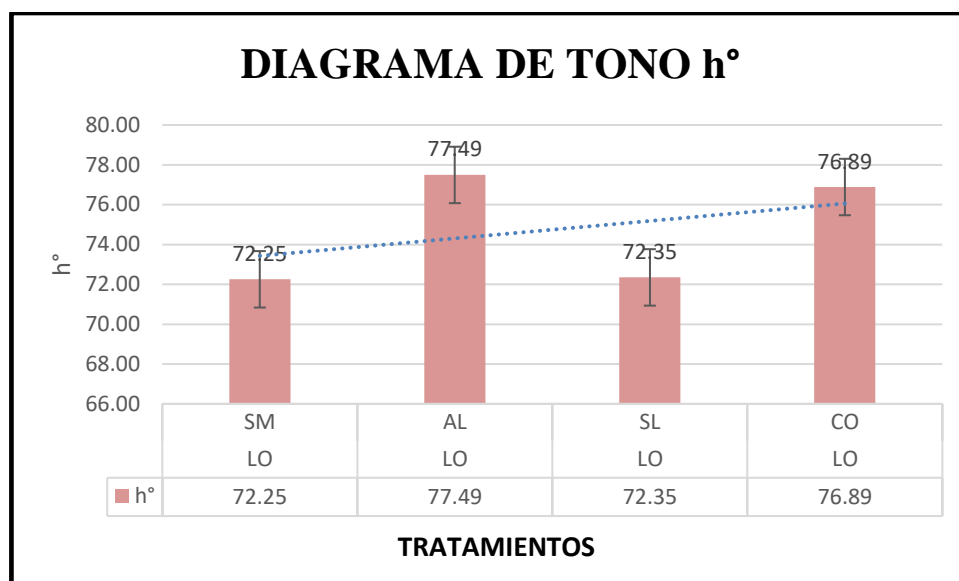


Figura 16 — Representación gráfica del ángulo de matiz (h°)

Tabla 27 — Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Mordientes	3	72.2463	24.0821	649.91	0.000
Error	8	0.2964	0.0371		
Total	11	72.5427			

El análisis de varianza (Tabla 27) indica que el tipo de mordiente tiene un efecto significativo sobre el brillo del color en los hilos teñidos. El valor $p = 0.000$ confirma que las diferencias entre tratamientos son reales y no se deben al azar. El valor F es muy alto (649.91), lo que demuestra que los mordientes generan un impacto fuerte en el resultado. Además, casi toda la variación total (72.2463 de 72.5427) se debe al uso del mordiente. Esto evidencia que la elección del mordiente es un factor clave para controlar el nivel de brillo alcanzado en el teñido.

Tabla 28 — Test de Tukey para h°

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

Mordientes	N	Media	Agrupación	
AL	3	77.4928	A	
CO	3	76.886		B
SL	3	72.3496		C
SM	3	72.2527		C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Según la prueba de Tukey (Tabla 28), el tratamiento con alumbre (M2) obtuvo el valor más alto (77.49 ± 0.14), seguido por collpa (M4) (76.89 ± 0.32), lo que corresponde a matices predominantemente amarillos. Los tratamientos con sal de limón (M3) (72.35 ± 0.16) y sin mordiente (M1) (72.25 ± 0.02) presentaron valores más bajos, asociados a tonos ligeramente más rojizos o anaranjados.

Este comportamiento confirma que el tipo de mordiente no solo modifica la intensidad del color, sino también su percepción cromática. La sal de limón genera tonos cálidos, mientras que el alumbre y la collpa orientan el color hacia matices más amarillos y suaves.

5.1.3 Análisis de las características textiles teñidas con flores de colli (*Buddleja coriacea*) con muestras de hilos de algodón nativo

En la (Tabla 29), se presentan los resultados obtenidos sobre las características textiles evaluadas en los cuatro tratamientos, los cuales se organizaron considerando un solo factor: el tipo de mordiente aplicado en diferentes niveles. Para cada variable medida (diámetro medio de la fibra (DMF), coeficiente de variación del diámetro (CV-DMF), flexibilidad de la curvatura (FC), índice de coloración (IC) y fuerza de hebra (FH)), se muestran los valores promedio junto con su correspondiente desviación estándar. Estos datos permiten observar cómo influyó cada tratamiento en el comportamiento de las fibras, brindando información útil para comparar su desempeño textil y determinar cuál ofrece mejores resultados en función de las propiedades analizadas.

Tabla 29 — Datos de evaluación de características textiles de los hilos de algodón nativo teñida con colorante de flor de colli

Tratamientos	Mordientes	Características textiles				
		DMF (μm)	CV (μm)	FC (%)	IC (% mm)	FH (μm)
T1	SM	14.40 \pm 0.10 ^a	24.53 \pm 0.61 ^a	100.00	63.23 \pm 1.45 ^{bc}	12.76 \pm 0.09 ^a
T2	AL	14.43 \pm 0.06 ^a	24.40 \pm 0.17 ^a	100.00	70.33 \pm 4.38 ^a	12.79 \pm 0.05 ^a
T2	SL	14.30 \pm 0.35 ^a	25.03 \pm 0.06 ^a	100.00	59.77 \pm 1.66 ^c	12.68 \pm 0.31 ^a
T3	CO	13.73 \pm 0.06 ^b	24.93 \pm 0.12 ^a	100.00	66.57 \pm 1.29 ^{ab}	12.17 \pm 0.05 ^b

NOTA
DMF corresponde al diámetro medio de la fibra, CV-DMF al coeficiente de variación del diámetro medio de la fibra, FC al factor de confort, IC al índice de curvatura, y FH a la finura al hilado. En cuanto a los tratamientos, se identifican como: AL (alumbre), CO (collpa) y SL (sal de limón). Los superíndices con letras indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para cada variable analizada, según prueba de comparación múltiple con un nivel de significancia de $p < 0.05$. Cada valor corresponde al promedio de tres repeticiones ($n = 3$)

- **Diámetro medio de fibra (DMF)**

El diámetro medio de fibra (DMF), indicador clave del grosor promedio de las fibras, mostró diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), como se presenta en la (Tabla 29).

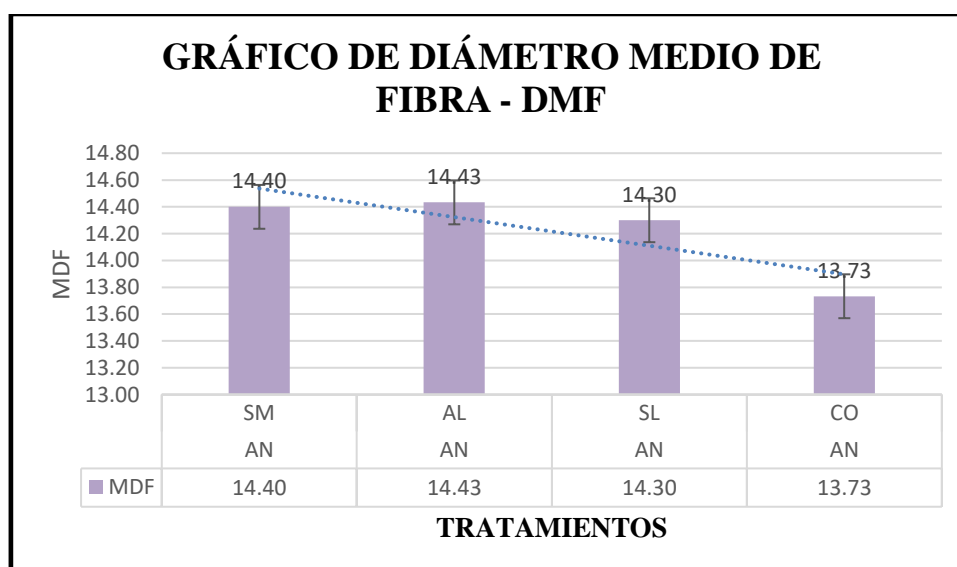


Figura 17 — Comparación gráfica del diámetro medio de fibra (DMF)

Tabla 30 — Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Mordiente	3	0.9633	0.32111	9.40	0.005
Error	8	0.2733	0.03417		
Total	11	1.2367			

El análisis de varianza (Tabla 30), muestra que el tipo de mordiente influye significativamente en la adherencia del color. El valor $p = 0.005$ es menor a 0.05, lo que indica que las diferencias entre tratamientos son estadísticamente significativas. El valor F (9.40) señala que hay una variación importante entre los mordientes aplicados. Aunque el efecto no es tan extremo como en otras variables, más del 77% de la variación total (0.9633 de 1.2367) se debe al mordiente. Por tanto, la elección del mordiente sigue siendo un factor relevante en la fijación del color en los hilos teñidos.

Tabla 31 — Test de Tukey para el DMF

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

Mordiente	N	Media	Agrupación	
AL	3	14.4333	A	
SM	3	14.4000	A	
SL	3	14.300	A	
CO	3	13.7333		B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

De acuerdo con la prueba de Tukey (Tabla 31), el valor más bajo fue registrado en el tratamiento con collpa (T3) ($13.73 \pm 0.06 \mu\text{m}$), seguido de cerca por sal de limón (T2) ($14.30 \pm 0.35 \mu\text{m}$), mientras que alumbre (T2 duplicado) y sin mordiente (T1) obtuvieron los valores más altos ($14.43 \pm 0.06 \mu\text{m}$ y $14.40 \pm 0.10 \mu\text{m}$, respectivamente).

Estos resultados indican que el uso de collpa como mordiente reduce el grosor de la fibra, haciéndola más fina, lo cual es favorable para la fabricación de tejidos delicados. En cambio, los tratamientos sin mordiente o con alumbre conservan un diámetro mayor, asociado a fibras más gruesas y robustas.

- **Coefficiente de variación del diámetro medio de fibra CV-DMF**

El CV-DMF, indicador que refleja la dispersión del grosor entre fibras individuales dentro de una muestra, no evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos aplicados ($p > 0.05$), lo que se puede observar en la (Tabla 29) del análisis de varianza.

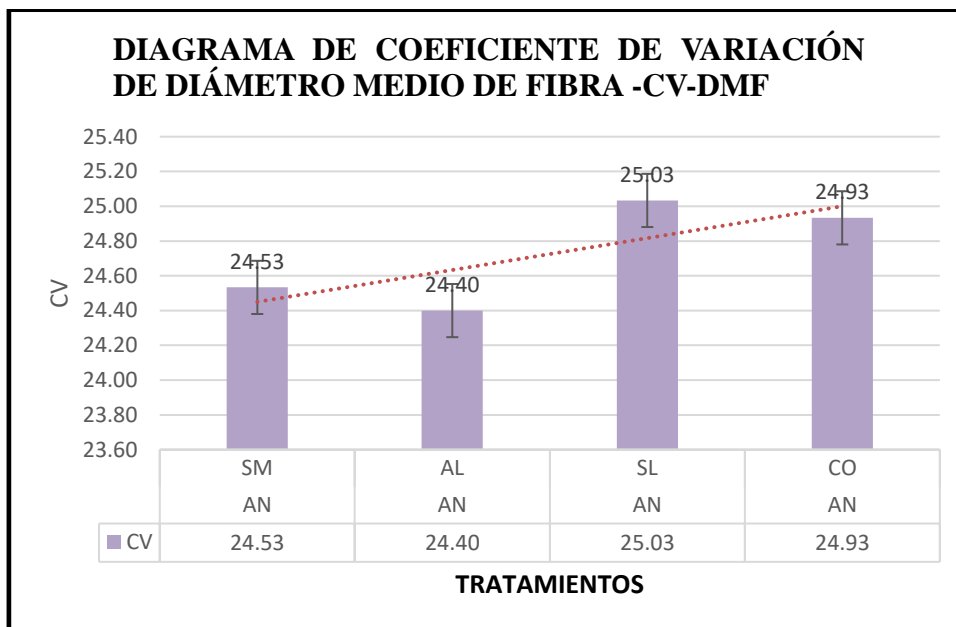


Figura 18 — Distribución del CV-DMF en función del tipo de mordiente

Tabla 32 — Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Mordiente	3	0.8425	0.2808	2.67	0.118
Error	8	0.8400	0.1050		
Total	11	1.6825			

El análisis de varianza (Tabla 32) indica que el tipo de mordiente no tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre la resistencia al lavado, ya que el valor p obtenido fue 0.118, mayor al nivel de significancia de 0.05. Aunque se observa cierta variación entre los tratamientos, el valor F (2.67) es bajo, lo que sugiere que las diferencias entre mordientes podrían deberse al azar. Además, la suma de cuadrados muestra que la variabilidad se distribuye casi por igual entre el tratamiento y el error. En este caso, el mordiente no sería un factor determinante para mejorar la resistencia al lavado del teñido.

Tabla 33 — Test de Tukey para el CV

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

Mordiente	N	Media	Agrupación
SL	3	25.0333	A
CO	3	24.9333	A
SM	3	24.533	A
AL	3	24.400	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Los valores obtenidos se mantuvieron dentro de un rango estrecho, entre 24.40 % en alumbre (T2) y 25.03 % en sal de limón (T2 duplicado). Por su parte, collpa (T3) y el tratamiento sin mordiente (T1) mostraron valores muy cercanos, con 24.93 % y 24.53 % respectivamente.

Estos resultados indican que la variabilidad en el diámetro de las fibras se mantuvo estable sin importar el mordiente utilizado, lo cual sugiere una buena homogeneidad dentro de cada grupo de tratamiento. Esta uniformidad es deseable en la industria textil, ya que permite obtener hilos regulares y productos de mejor calidad.

Cabe destacar que, aunque sin diferencias significativas, el tratamiento con alumbre mostró una ligera tendencia hacia una menor dispersión del grosor, lo cual puede asociarse a un mejor comportamiento durante el proceso de hilado, al evitar quiebres o irregularidades.

- **Factor de Confort (<math><30\mu\text{m}</math>)**

Este parámetro se mantuvo constante en todos los tratamientos, con un 100% de fibras por debajo del umbral de 30 μm , lo que asegura una excelente suavidad al tacto y aptitud para prendas de contacto directo con la piel. Este resultado indica que ninguno de los mordientes aplicados afectó negativamente la calidad de confort de la fibra.

- **Índice de curvatura (IC %mm)**

El índice de curvatura (IC), que representa el grado de ondulación natural de la fibra, también presentó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), como se muestra en la (Tabla 29).



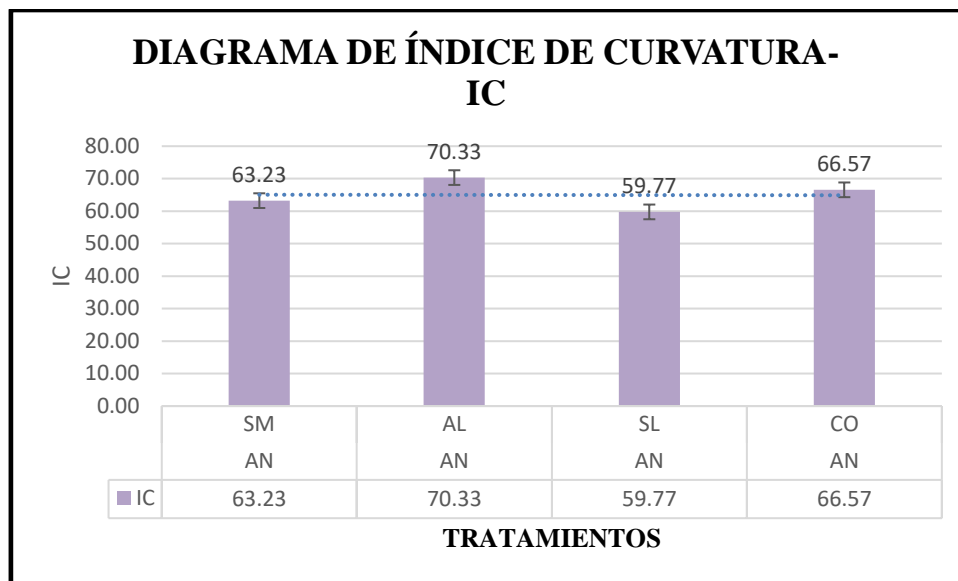


Figura 19 — Representación gráfica del índice de curvatura (IC)

Tabla 34 — Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Mordiente	3	184.22	61.405	9.56	0.005
Error	8	51.39	6.423		
Total	11	235.60			

El análisis de varianza (Tabla 34) revela que el tipo de mordiente tiene un efecto significativo sobre la uniformidad del color en los hilos teñidos, ya que el valor p es 0.005 (menor a 0.05). Esto indica que las diferencias entre los tratamientos no son producto del azar. El valor F (9.56) muestra que existe una variación clara entre los grupos. Además, una parte considerable de la variabilidad total (184.22 de 235.60), es explicada por el uso de distintos mordientes, lo que confirma que este factor influye directamente en la calidad del teñido.

Tabla 35 — Test de Tukey para el IC

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

Mordiente	N	Media	Agrupación		
AL	3	70.33	A		
CO	3	66.567	A	B	
SM	3	63.233		B	C
SL	3	59.767			C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Según la prueba de Tukey (Tabla 35), el tratamiento con alumbre (T2) reportó el valor más alto ($70.33 \pm 4.38 \%mm$), seguido por collpa (T3) ($66.57 \pm 1.29 \%mm$), lo que indica fibras más rizadas. En contraste, sal de limón (T2 duplicado) mostró el valor más bajo ($59.77 \pm 1.66 \%mm$), lo que corresponde a fibras más rectas. Esto sugiere que el alumbre promueve una mayor curvatura en la fibra, lo cual puede mejorar la elasticidad y esponjosidad del hilo. Por su parte, la sal de limón podría reducir la flexibilidad estructural de la fibra, haciéndola más rígida y menos voluminosa.

- **Finura al hilado (FH μm)**

La finura al hilado (FH), que representa la capacidad de la fibra para ser transformada en hilos delgados y uniformes, mostró diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), como se observa en la (Tabla 29).

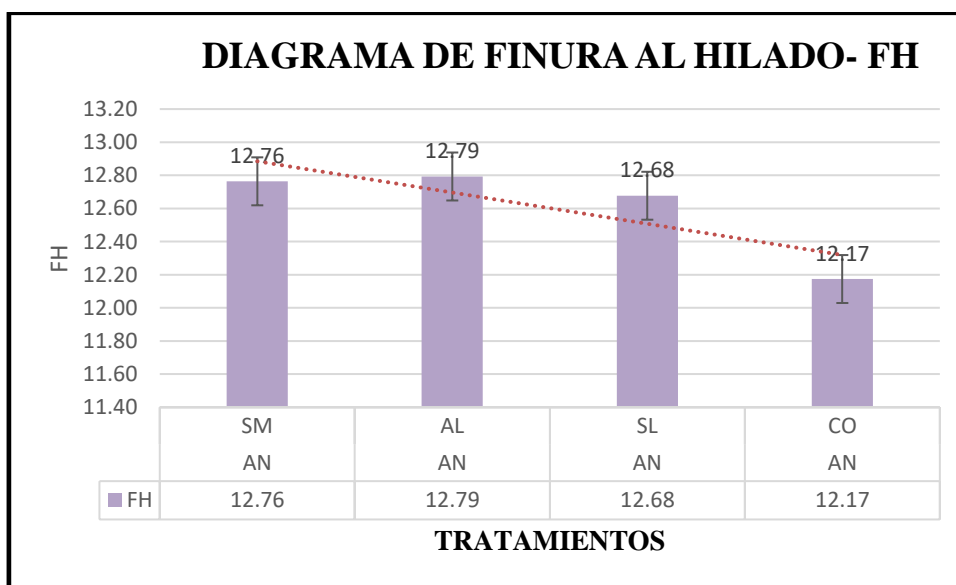


Figura 20 — Comparación gráfica de finura al hilado (FH)

Tabla 36 — Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Mordiente	3	0.7540	0.25134	9.34	0.005
Error	8	0.2153	0.02691		
Total	11	0.9693			

El análisis de varianza (Tabla 36) muestra que el tipo de mordiente influye significativamente en la saturación del color de los hilos teñidos. El valor $p =$



0.005 es menor a 0.05, lo que confirma que las diferencias entre tratamientos son estadísticamente significativas. El valor F (9.34) indica que hay una variación considerable entre los efectos de los distintos mordientes. Además, la mayor parte de la variabilidad total (0.7540 de 0.9693) se debe al factor mordiente, lo que demuestra que su elección tiene un papel clave en la intensidad visual del color logrado.

Tabla 37 — Test de Tukey para el FH

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

Mordiente	N	Media	Agrupación	
AL	3	12.7931	A	
SM	3	12.7640	A	
SL	3	12.677	A	
CO	3	12.1742		B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Según la prueba de Tukey (Tabla 37), el tratamiento con collpa (T3) presentó la mejor finura, con un valor de $12.17 \pm 0.05 \mu\text{m}$, lo que sugiere mayor delgadez y flexibilidad de la fibra. Por otro lado, los tratamientos sin mordiente (T1) y con alumbre (T2) registraron valores más elevados ($12.76 \pm 0.09 \mu\text{m}$ y $12.79 \pm 0.05 \mu\text{m}$, respectivamente), lo que indica una menor aptitud hilable, aunque aún dentro del rango aceptable para tejidos finos.

Este comportamiento evidencia que el uso de collpa favorece el afinamiento de la fibra, posiblemente al interactuar con su estructura superficial durante el mordentado, lo que mejora su torsión y capacidad de estiramiento en el proceso de hilado. En contraste, la ausencia de mordiente o el uso de alumbre puede conservar una estructura más rígida, menos favorable para la producción de hilos finos.

5.1.4 Análisis de las características textiles teñidas con flores de colli (*Buddleja coriacea*) con muestras de hilos de lana de ovino.

En la (Tabla 38), se presentan los resultados obtenidos sobre las características textiles evaluadas en los cuatro tratamientos, los cuales se organizaron considerando un solo factor: el tipo de mordiente aplicado en diferentes niveles. Para cada variable medida (diámetro medio de la fibra (DMF), coeficiente de

variación del diámetro (CV-DMF), flexibilidad de la curvatura (FC), índice de coloración (IC) y fuerza de hebra (FH)), se muestran los valores promedio junto con su correspondiente desviación estándar. Estos datos permiten observar cómo influyó cada tratamiento en el comportamiento de las fibras, brindando información útil para comparar su desempeño textil y determinar cuál ofrece mejores resultados en función de las propiedades analizadas.

Tabla 38 – Datos de evaluación de características textiles de los hilos de lana de ovino teñida con colorante de flor de colli

Tratamientos	Mordientes	Características textiles				
		DMF (μm)	CV (μm)	FC (%)	IC (% mm)	FH (μm)
MI	SM	20.67 \pm 0.06 ^c	23.10 \pm 0.20 ^a	96.27 \pm 0.41 ^a	48.90 \pm 0.46 ^d	18.31 \pm 0.05 ^c
M2	AL	24.83 \pm 0.38 ^b	20.07 \pm 0.25 ^b	85.93 \pm 2.05 ^b	69.20 \pm 2.69 ^c	21.99 \pm 0.33 ^b
M2	SL	26.30 \pm 0.10 ^a	20.10 \pm 0.10 ^b	77.47 \pm 0.74 ^c	74.67 \pm 1.10 ^b	23.29 \pm 0.09 ^a
M3	CO	25.77 \pm 0.21 ^a	21.00 \pm 0.66 ^b	80.50 \pm 1.15 ^c	85.73 \pm 0.81 ^a	22.82 \pm 0.18 ^a

NOTA
DMF corresponde al diámetro medio de la fibra, CV-DMF al coeficiente de variación del diámetro medio de la fibra, FC al factor de confort, IC al índice de curvatura, y FH a la finura al hilado. En cuanto a los tratamientos, se identifican como: AL (alumbre), CO (collpa) y SL (sal de limón). Los superíndices con letras indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para cada variable analizada, según prueba de comparación múltiple con un nivel de significancia de $p < 0.05$. Cada valor corresponde al promedio de tres repeticiones ($n = 3$)

- **Diámetro medio de fibra (DMF)**

El diámetro medio de fibra (DMF) mostró diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), tal como se detalla en la Tabla 38. Este parámetro permite evaluar el grosor promedio de las fibras, siendo un indicador clave para clasificar su calidad textil.

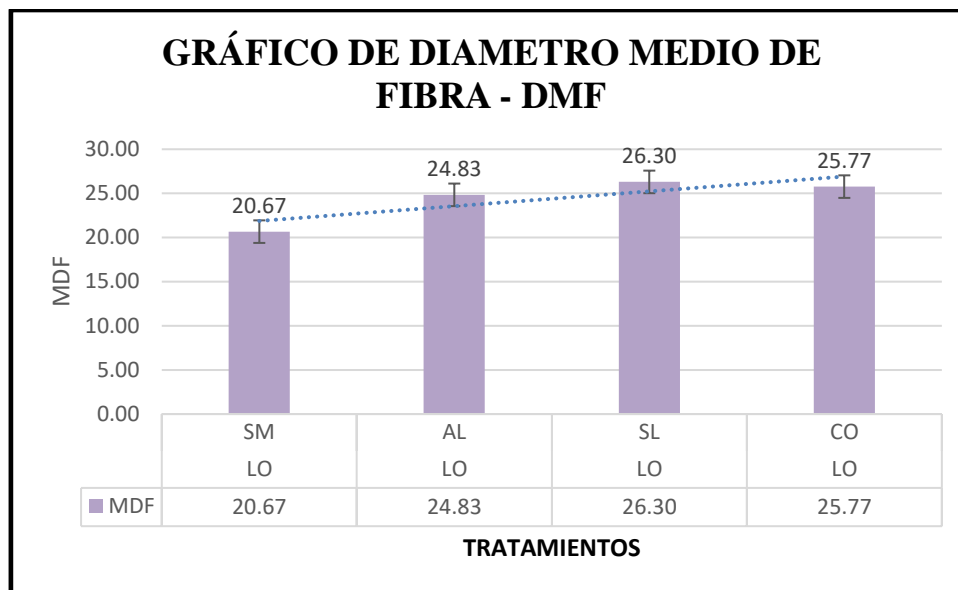


Figura 21 — Variación del DMF según tipo de mordiente

Tabla 39 — Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Mordiente	3	58.8092	19.6031	392.06	0.000
Error	8	0.4000	0.0500		
Total	11	59.2092			

El análisis de varianza (Tabla 39), muestra que el tipo de mordiente tiene un efecto altamente significativo sobre la adherencia del color, con un valor p de 0.000. Esto indica que las diferencias observadas entre los tratamientos no se deben al azar. El valor F es muy alto (392.06), lo que confirma que los distintos mordientes influyen fuertemente en el resultado. Además, casi toda la variabilidad total (58.8092 de 59.2092) es explicada por el factor mordiente, lo que demuestra que su elección es determinante para lograr una buena fijación del color.

Tabla 40 — Test de Tukey para el DMF

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

mordiente	N	Media	Agrupación		
SL	3	26.3000	A		
CO	3	25.767	A		
AL	3	24.833		B	
SM	3	20.6667			C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

De acuerdo con la prueba de Tukey (Tabla 40), el menor valor fue registrado en el tratamiento sin mordiente (M1) con $20.67 \pm 0.06 \mu\text{m}$, seguido por alumbre (M2) con $24.83 \pm 0.38 \mu\text{m}$, mientras que sal de limón (M3) ($26.30 \pm 0.10 \mu\text{m}$) y collpa (M4) ($25.77 \pm 0.21 \mu\text{m}$) mostraron los valores más elevados.

Esto indica que el uso de mordientes incrementó el grosor de las fibras, siendo más notorio en sal de limón. El resultado sugiere que la aplicación de estos agentes fijadores podría generar cierta compactación o modificación superficial en la fibra, haciéndola más gruesa y afectando su suavidad.

- **Coefficiente de variación del diámetro medio de fibra CV – DMF)**

El coeficiente de variación del diámetro medio de fibra (CV-DMF), que refleja la uniformidad del grosor entre fibras individuales, también mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

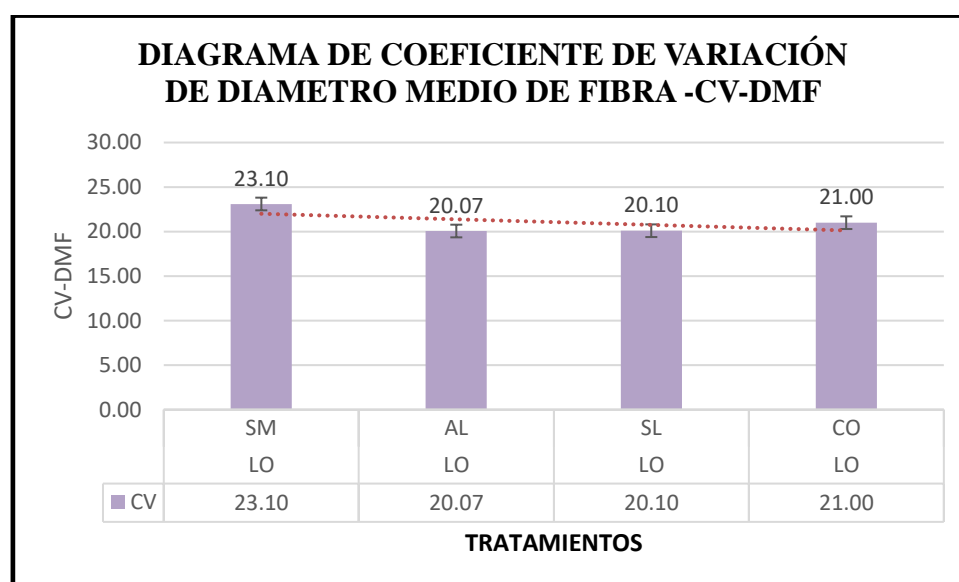


Figura 22 — Comportamiento del CV-DMF por tratamiento aplicado

Tabla 41 — Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Mordiente	3	18.220	6.0733	44.71	0.000
Error	8	1.087	0.1358		
Total	11	19.307			

El análisis de varianza (Tabla 41), muestra que el tipo de mordiente tiene un efecto significativo sobre la uniformidad del teñido, ya que el valor $p = 0.000$ indica que las diferencias entre tratamientos son estadísticamente significativas. El valor F

(44.71) refleja una variación considerable entre los mordientes aplicados. Además, la mayor parte de la variabilidad total (18.220 de 19.307) se atribuye al tipo de mordiente, lo que demuestra que su elección influye directamente en la calidad y consistencia del color en los hilos teñidos.

Tabla 42 — Test de Tukey para el CV

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

Mordiente	N	Media	Agrupación	
SM	3	23.100	A	
CO	3	21.000		B
SL	3	20.1000		B
AL	3	20.067		B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

El tratamiento sin mordiente (M1) presentó el mayor grado de variación (23.10 ± 0.20 %), evidenciando mayor heterogeneidad en el grosor de las fibras. En cambio, alumbre (M2) (20.07 ± 0.25 %) y sal de limón (M3) (20.10 ± 0.10 %) registraron menores coeficientes, indicando una mayor homogeneidad en la estructura fibrosa. El tratamiento con collpa (M4) se ubicó ligeramente por encima (21.00 ± 0.66 %).

Estos resultados indican que el uso de mordientes mejora la regularidad del diámetro, lo cual es deseable para un hilado más uniforme.

- **Factor de Confort (<math> < 30\mu\text{m}</math>)**

El factor de confort (FC) mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), como se muestra en la (Tabla 38). Este parámetro expresa el porcentaje de fibras con un diámetro menor a $30 \mu\text{m}$, indicador clave para prendas de uso directo.

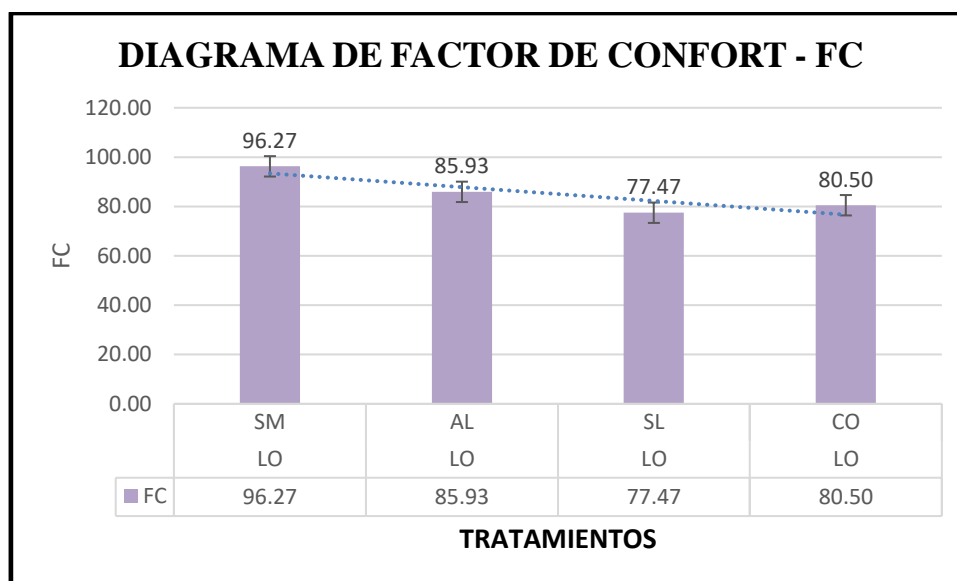


Figura 23 — Comparación gráfica del FC en lana de ovino teñida

Tabla 43 — Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Mordiente	3	614.41	204.803	131.28	0.000
Error	8	12.48	1.560		
Total	11	626.89			

El análisis de varianza (Tabla 43), indica que el tipo de mordiente tiene un efecto altamente significativo sobre la intensidad del color, con un valor $p = 0.000$. Esto confirma que las diferencias entre tratamientos son reales y no producto del azar. El valor F (131.28) es bastante elevado, lo que evidencia una fuerte influencia del mordiente en los resultados. Además, la mayor parte de la variabilidad total (614.41 de 626.89) se atribuye a este factor, demostrando que la elección del mordiente es clave para lograr una mayor intensidad en el teñido.

Tabla 44 — Test de Tukey para el FC

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

Mordiente	N	Media	Agrupación	
SM	3	96.267	A	
AL	3	85.93		B
CO	3	80.500		C
SL	3	77.467		C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

El mayor valor se observó en el tratamiento sin mordiente (M1) con $96.27 \pm 0.41 \%$, indicando alta suavidad y excelente aceptación cutánea. Sin embargo, este porcentaje se redujo significativamente en alumbre (85.93 %), collpa (80.50 %) y fue menor aún con sal de limón (77.47 %).

La reducción del FC se relaciona directamente con el incremento del diámetro medio, afectando la percepción táctil. No obstante, todos los valores se mantienen por encima del 75 %, umbral mínimo aceptado para tejidos de confort relativo.

- **Índice de curvatura (IC %mm)**

El índice de curvatura (IC), que indica el grado de ondulación natural de las fibras, también mostró diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), de acuerdo con el análisis estadístico realizado.

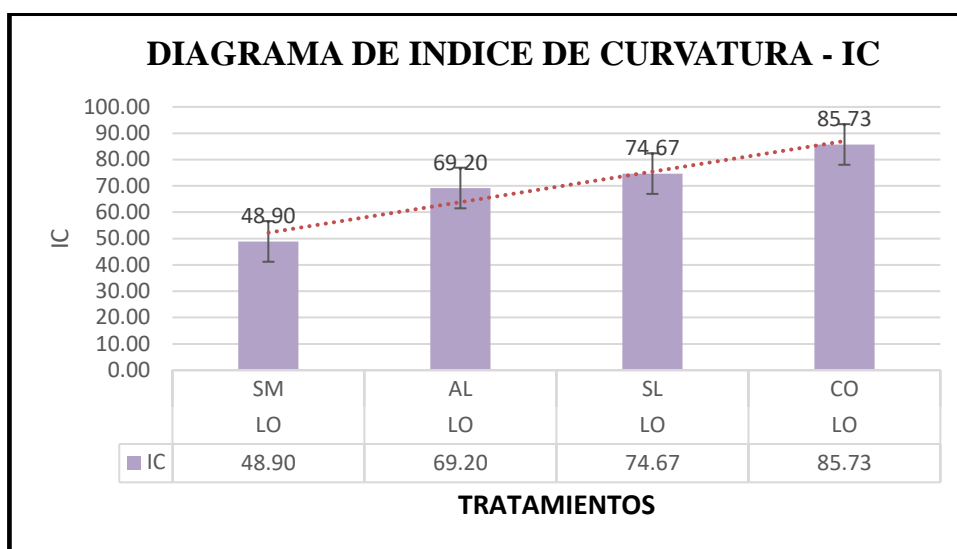


Figura 24 — Comparación del IC en los diferentes tratamientos

Tabla 45 — Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Mordiente	3	2143.81	714.603	307.14	0.000
Error	8	18.61	2.327		
Total	11	2162.42			

El análisis de varianza (Tabla 45), demuestra que el tipo de mordiente influye de manera altamente significativa en la resistencia del color al lavado, con un valor p de 0.000. Esto indica que las diferencias entre los tratamientos no son aleatorias, sino reales y consistentes. El valor F (307.14) es muy elevado, lo que refuerza la



fuerte influencia del mordiente en el comportamiento de la variable. Además, casi toda la variabilidad total (2143.81 de 2162.42) se atribuye al efecto del mordiente, lo que confirma que su correcta elección es determinante para mejorar la durabilidad del teñido.

Tabla 46 — Test de Tukey para el IC

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

Mordiente	N	Media	Agrupación			
CO	3	85.733	A			
SL	3	74.667		B		
AL	3	69.20			C	
SM	3	48.900				D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

El tratamiento con collpa (M4) alcanzó el valor más alto (85.73 ± 0.81 %mm), seguido por sal de limón (M3) (74.67 ± 1.10 %mm) y alumbre (M3) (69.20 ± 2.69 %mm). El menor valor se registró en M1 (sin mordiente), con 48.90 ± 0.46 %mm.

Estos resultados indican que los mordientes, en particular collpa, favorecen un mayor rizado de la fibra, lo que se traduce en mayor volumen, elasticidad y retención térmica. En cambio, las fibras sin mordiente son más rectas y compactas.

- **Finura al hilado (FH μ m)**

La finura al hilado (FH), indicador clave para determinar la capacidad de la fibra para ser convertida en hilo delgado y continuo, varió significativamente entre los tratamientos ($p < 0.05$).

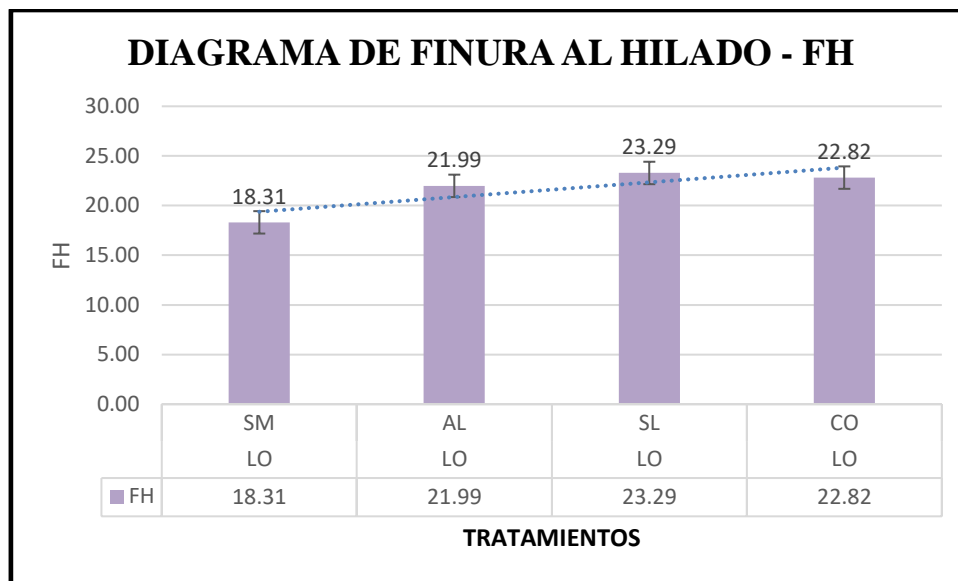


Figura 25 — Finura al hilado por tipo de tratamiento

Tabla 47 — Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Mordiente	3	45.8722	15.2907	394.85	0.000
Error	8	0.3098	0.0387		
Total	11	46.1820			

El análisis de varianza (Tabla 47), muestra que el tipo de mordiente tiene un efecto altamente significativo sobre el brillo del color, con un valor p de 0.000, lo que indica que las diferencias entre tratamientos no son producto del azar. El valor F (394.85) es muy alto, lo que refleja una fuerte influencia del mordiente sobre la variable analizada. Además, casi toda la variabilidad total (45.8722 de 46.1820) se atribuye al efecto del mordiente, lo que confirma que su elección es clave para lograr un mayor brillo y calidad visual en el teñido de los hilos.

Tabla 48 — Test de Tukey para FH

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

Mordiente	N	Media	Agrupación		
SL	3	23.2864	A		
CO	3	22.819	A		
AL	3	21.988		B	
SM	3	18.3122			C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

El tratamiento sin mordiente (M1) presentó la mejor finura ($18.31 \pm 0.05 \mu\text{m}$), lo que refleja una alta capacidad hilable. En contraste, sal de limón ($23.29 \pm 0.09 \mu\text{m}$) y collpa ($22.82 \pm 0.18 \mu\text{m}$) reportaron mayores valores, lo cual podría limitar la producción de hilados finos. Alumbre ($21.99 \pm 0.33 \mu\text{m}$) se posicionó en un valor intermedio.

Esto sugiere que, aunque los mordientes intensifican el color, pueden afectar negativamente la finura de la fibra para hilado industrial.

5.2 Contrastación de hipótesis

La hipótesis general plantea si afecta significativamente en la variación de tonos de color y evaluación de características textiles en lana de ovino y algodón nativo teñidos con flores de colli (*Buddleja coriacea*).

Basándonos en los resultados obtenidos, podemos concluir que la hipótesis general se confirma parcialmente.

- **Hipótesis general**

El uso de mordientes afecta significativamente en la variación de tonos de color y evaluación de características textiles en lana de ovino y algodón nativo teñidos con flores de colli (*Buddleja coriacea*).

- **Confirmación parcial:** Los resultados obtenidos a través del análisis estadístico (ANOVA y prueba de Tukey) demuestran que el uso de mordientes sí genera efectos significativos en las propiedades colorimétricas de las fibras analizadas, especialmente en parámetros como luminosidad (L^*), croma (C^*) y tono (h°).

No obstante, en relación con las características textiles, se observaron diferencias significativas solo en algunos indicadores, mientras que otros no mostraron variaciones estadísticas importantes. Esto indica que el impacto de los mordientes no es uniforme en todas las propiedades físicas evaluadas, por lo tanto, la hipótesis general se valida parcialmente.

- **Hipótesis específica (a)**

El uso de distintos mordientes influye significativamente en la variación de los tonos de color en hilos de algodón nativo y lana de ovino teñidos con flores de *Buddleja coriacea*.

- **Confirmación parcial:** El análisis estadístico evidenció diferencias significativas ($p < 0.05$) en todos los parámetros colorimétricos evaluados (L^* , a^* , b^* , C^* , h°), tanto en el algodón nativo como en la lana de ovino.

En algodón, el tratamiento con sal de limón alcanzó los valores más altos de luminosidad ($L = 57.86$) y croma ($C = 64.43$), mientras que el uso de collpa resultó en colores más oscuros ($L = 50.42$).

En lana de ovino, se observó una mayor fijación del color con alumbre y sal de limón, especialmente en el parámetro de croma ($C = 62.80$ con alumbre).

Estos hallazgos demuestran que el tipo de mordiente influye directamente en la tonalidad, intensidad y saturación del color en ambas fibras, confirmando así la hipótesis planteada.

- **Hipótesis específica (b)**

El uso de mordientes influye significativamente en las características textiles de los hilos teñidos (algodón nativo y lana de ovino) con flores de colli.

- **Confirmación parcial:** En el caso del algodón nativo, el uso de collpa redujo el diámetro medio de fibra ($DMF = 13.73 \mu\text{m}$) y mejoró la finura al hilado ($FH = 12.17 \mu\text{m}$), lo cual es favorable para la producción de hilos finos y suaves.

Asimismo, el tratamiento con alumbre mejoró el índice de curvatura ($IC = 70.33 \text{ \%mm}$), incrementando la elasticidad del hilo.

En cuanto a la lana de ovino, se observó un aumento del diámetro de fibra con sal de limón ($DMF = 26.30 \mu\text{m}$) y collpa ($DMF = 25.77 \mu\text{m}$), lo cual puede dificultar la hilabilidad fina, aunque mejoró el índice de curvatura ($IC = 85.73$) y se mantuvo el factor de confort (FC) dentro de rangos aceptables.



Sin embargo, en algunos indicadores como el coeficiente de variación del diámetro (CV-DMF) y el FC, no se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

Por lo tanto, aunque algunos mordientes sí modifican favorablemente ciertas propiedades físicas de las fibras, el efecto no fue uniforme en todos los parámetros, por lo cual esta hipótesis se confirma parcialmente.

5.3 Discusiones

5.3.1 Parámetros de colorimetría

- **Fibra de algodón nativo**

Los resultados obtenidos en el teñido de algodón nativo muestran que los diferentes mordientes naturales influyen notablemente en la expresión del color. El tratamiento con sal de limón (T3) presentó los valores más altos en los componentes cromáticos: $a^* = 18.01$ y $C^* = 59.13$, generando colores cálidos e intensos, lo cual es coherente con los hallazgos de LOZANO et al. (2024), quienes también reportaron una mayor saturación y tonalidades intensas en alpaca teñida con colli. En contraste, el tratamiento con collpa (T4) produjo los valores más bajos en luminosidad ($L^* = 51.98$) y saturación ($C^* = 29.75$), con un tono dominante más amarillento ($h^\circ = 79.06$), lo que coincide con patrones visuales más opacos.

Estas variaciones confirman que el tipo de mordiente no solo afecta la intensidad del color, sino también su orientación tonal. La sal de limón tiende a resaltar tonos rojizos y anaranjados ($h^\circ = 72$), mientras que la collpa desplaza el color hacia gamas amarillo-verdosas. Estos resultados refuerzan lo planteado por PALACIOS VELÁSQUEZ, (2022), quien encontró que distintos mordientes generan una amplia gama tonal en algodón, mejorando la vivacidad y estabilidad del color.

- **Fibra de lana de ovino**

En la lana de ovino, se observó una respuesta diferenciada al uso de mordientes. El alumbre (M2) generó los tonos más claros ($L^* = 67.75$),



mientras que la sal de limón (M3) produjo el mayor valor de saturación ($C^* = 59.71$) y un matiz más cálido ($h^\circ = 72.35$). Por otro lado, el tratamiento con collpa (M4) mostró la menor luminosidad ($L^* = 46.47$), reflejando colores más oscuros y matices predominantemente amarillos ($h^\circ = 76.89$). El ángulo de tono (h°), va desde 72.35° (sal de limón) y 77.49° (alumbre), lo que indica una variación hacia tonos más amarillo o verde. Estos datos se alinean con lo documentado por PINCHE GONZALES (2025), sobre la superior capacidad de las fibras proteicas para absorber tintes naturales..

Estos resultados son comparables con los reportados por HUAMANI NAVARRO (2024), quien encontró que la combinación de cochinilla con collpa generó tonos rojizos intensos ($h^\circ 67$) y que la sal de limón mejoró la vivacidad cromática en alpaca. De forma similar, los mordientes aplicados en esta investigación permitieron modificar de forma significativa la intensidad y dirección tonal del color en lana, lo que valida su aplicabilidad en textiles naturales de alto valor agregado.

5.3.2 Características textiles

- **Fibra de algodón nativo**

En cuanto a las propiedades físicas, el uso de collpa en algodón nativo fue el más efectivo en reducir el diámetro medio de fibra ($DMF = 13.73 \mu m$), lo cual se traduce en una mayor finura al hilado ($FH = 12.17 \mu m$). Esto es favorable para la producción de hilos delgados y suaves, ideales para tejidos finos. A su vez, el alumbre promovió un mayor índice de curvatura ($IC = 70.33 \%mm$), lo que mejora la elasticidad del hilo.

Aunque no se presentaron diferencias significativas en el coeficiente de variación del diámetro ($CV-DMF$), el resultado constante del factor de confort ($FC = 100\%$) en todos los tratamientos confirma que ninguno de los mordientes afectó negativamente la suavidad o calidad de contacto del hilo.

Estos hallazgos demuestran que los mordientes naturales no solo mejoran la fijación del color en el algodón nativo, sino que también



pueden ser utilizados estratégicamente para optimizar su estructura física, lo que aporta a una producción textil más técnica y sostenible.

- **Fibra de lana de ovino**

Los cambios estructurales fueron más pronunciados en la lana. El diámetro promedio de la fibra disminuyó sin mordiente ($DMF = 20,67 \pm 0,06 \mu\text{m}$), pero aumentó significativamente con sal de limon ($26,30 \pm 0,10 \mu\text{m}$) y collpa ($25,77 \pm 0,21 \mu\text{m}$). Este aumento probablemente se deba al efecto de hinchamiento del mordiente sobre la cutícula y el núcleo de la fibra. LOZANO et al (2024), realizó un estudio similar con fibras animales.

El índice de curvatura (IC) fue mayor con collpa (85.73 ± 0.81), lo cual mejora la capacidad de aislamiento térmico, una característica buscada en fibras para climas fríos. Aunque el factor de confort (FC) se redujo ligeramente con el uso de mordientes (mínimo con sal de limón: $77.47 \pm 0.74 \%$), los valores se mantuvieron dentro de rangos aceptables para uso textil.

En cuanto a la finura al hilado, se observó una disminución con los mordientes (hasta $23.29 \mu\text{m}$ con sal de limón), lo cual puede dificultar procesos de hilado fino. Sin embargo, LOZANO et al. (2024) destaca que esta aparente desventaja se compensa con una mayor resistencia del tejido y durabilidad del color en productos elaborados artesanalmente.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Las pruebas dejaron ver que las diversas sustancias fijadoras usadas como el alumbre, la sal de limón y la collpa, tienen un efecto importante en el tono final de los hilos ya teñidos. De forma más específica, la sal de limón fue la que produjo los tonos más brillantes y con mayor intensidad, dando más luz (L^*) y cromacidad (C^*), sobre todo en el algodón nativo. En cambio, la collpa hizo que los tonos se volvieran más oscuros y menos intensos, moviendo el matiz hacia colores entre el amarillo y el verde. Adicionalmente, se notó que la lana de oveja mantuvo mejor el color que el algodón, lo que subraya lo mucho que influye el tipo de fibra en la adherencia del tinte. Tales descubrimientos reafirman que tanto elegir una sustancia fijadora como un material textil son puntos cruciales para conseguir ciertos tonos al teñir de manera natural.
- Pese a que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las propiedades físicas de hilos tratándose de variables como: el diámetro medio de fibra (DMF), coeficiente de variación (CV), índice de curvatura (IC), factor de confort (FC) y finura al hilado (FH), los resultados muestran que el uso de colorantes naturales y mordientes ecológicos no compromete la calidad textil del material. En algodón, el tratamiento con collpa favoreció una menor finura al hilado, mientras que en lana, sal de limón y collpa aumentaron el grosor y la curvatura de la fibra. En todos los casos, los valores del factor de confort se mantuvieron dentro de los rangos óptimos, lo cual indica que los métodos de teñido empleados son seguros, eficientes y viables para su aplicación en productos textiles sostenibles.

6.2 Recomendaciones

- Para aplicaciones en textiles, es recomendable realizar pruebas combinadas de mordientes para optimizar la gama de colores deseadas y obtener un mayor rango



tonal en las fibras, considerando las variaciones en las propiedades espectroscópicas analizadas en el laboratorio.

- Para dar continuidad a esta línea de investigación se recomienda la aceptación de los procesos de teñido natural a niveles semiindustriales, a fin de consolidar la aplicabilidad de los resultados. La presente tesis ha demostrado que el uso de flores de *Buddleja coriacea* como colorante natural, en combinación con mordientes ecológicos como alumbre, sal de limón y collpa, constituye una alternativa técnica, cultural y ambientalmente viable para la producción textil sostenible.
- Asimismo, se recomienda compartir los hallazgos de este estudio en espacios académicos, productivos y comunitarios, con el fin de rescatar y valorizar los saberes ancestrales sobre el uso de tintes naturales. Esta difusión busca también impulsar su incorporación en proyectos de desarrollo local, fortalecer las cadenas de valor artesanales y enriquecer propuestas de moda ética y sostenible.
- Realizar un análisis más profundo sobre cómo la combinación de mordientes afecta también la resistencia y durabilidad de las fibras teñidas, dado que el tratamiento con diferentes mordientes podría también contribuir a mejorar la calidad de la materia prima utilizada en la fabricación de textiles.
- La investigación abre la posibilidad a futuras investigaciones que determinen más propiedades físicas como: hidrofobicidad, propiedades físico-mecánicas, tanto de la fibra vegetal (algodón nativo) y fibra animal (lana de ovino). También es recomendable que futuras investigaciones realicen pruebas de solidez de color (lavado, al frote y a la luz), para asegurar la adherencia del colorante sobre la fibra, así asegurar la calidad del producto final.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACUÑA SOLIS, DIANIRA y CUSI LUZA, BRAULIO. *Estudio fitoquímico cualitativo, actividad anticonvulsivante del extracto acuoso de las partes aéreas de Berberis boliviana lechler (Ch'eqche) en un modelo experimental inducido químicamente por pentilentetrazol en animales de experimentación.* Cusco: Repositorio Institucional - UNSAAC, 2013.

ADOT, OSCAR. *Introducción a la industrialización de la lana y fibras especiales.* Buenos Aires: Michile, 2010. <http://pa.bibdigital.ucc.edu.ar/id/eprint/1331>

ARIAS GONZÁLES, JOSÉ LUIS y COVINOS GALLARDO, MITSUO. Diseño y metodología de la investigación. *Enfoques Consulting EIRL*, 2021, vol. 1, no. 1, pp. 66–78. <https://www.researchgate.net/publication/352157132>

ARROYO FIGUEROA, GABRIELA y ÁLVAREZ CANELO, JESÚS GUADALUPE. *Teñido de fibras naturales con colorantes naturales.* Guanajuato: Ingenierías, 2017. <http://repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/2976>

ARROYO, JAUME. Estacionalidad reproductiva de la oveja en México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 2011, vol. 14, no. 3, pp. 829–845. <https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870> . ISSN 1870-0462

ASPLAND, JOHN RICHARD. Instrumental Sorting, Past, Present and Future. In: *Color Technology in the Textile Industry.* USA: G. Celikiz, 1997.

AYLAN-PARKER, J. y B. A. MCGREGOR. Optimising sampling techniques and estimating sampling variance of fleece quality attributes in alpacas. *Small Ruminant Research* [en línea]. 2002, 44(1), 53–64 [consultado el 2 de septiembre de 2025]. ISSN 0921-4488. Disponible en: [doi:10.1016/s0921-4488\(02\)00038-x](https://doi.org/10.1016/s0921-4488(02)00038-x)

BUSTINZA CHOQUE, A. VÍCTOR. Evolución genética de la alpaca en el sur andino peruano. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* [en línea]. 2023, 34(6), e26958 [consultado el 2 de septiembre de 2025]. ISSN 1682-3419. Disponible en: [doi:10.15381/rivep.v34i6.26958](https://doi.org/10.15381/rivep.v34i6.26958)



BUTLER, K. L. y M. DOLLING. Spinning Fineness for Wool. The Journal of The Textile Institute [en línea]. 1995, 86(1), 164–166 [consultado el 2 de septiembre de 2025]. ISSN 1754-2340. Disponible en: doi:10.1080/00405009508631319

CAMPOS, JENNIFFER y QUINTANILLA, HARI ABRAHAM. *Uso de dos colorantes naturales Rubus ulmifolius (Mora) y Beta vulgaris (Remolacha) en el teñido de la tela ciento por ciento algodón.* Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala, 2017.

CANO MORALES, TELMA, et al. Estudio tecnológico sobre los tintes naturales extraídos de la corteza de tres especies forestales cultivadas en Guatemala, Para teñir fibras naturales que cumplan con especificaciones de calidad exigidas por el Mercado. *Informe Final. Dirección General de Investigación. Universidad de San Carlos de Guatemala. República de Guatemala,* 2007.

CARVALLO, M. *Colorantes naturales derivados de la cochinilla (Dactylopius coccus) y su comercio mundial.* Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2000. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/36402>

CEGARRA, JOSÉ. *Fundamentos científicos y aplicados de la tintura de materias textiles.* Barcelona: Universidad Politécnica, 1981.

CIE (Commission Internationale de l'Éclairage). *CIE 15: Technical Report: Colorimetry.* 3.^a ed. Washington: CIE, 2004.

DEL CARPIO, CARLA; SERRANO, CARLOS y GIUSTI, MÓNICA. *Estudio del colorante de los frutos de Berberis Boliviana L. (Cheqche).* Cusco: Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, 2006, p. 118.

DRUML, THOMAS et al. Discriminant analysis of colour measurements reveals allele dosage effect of ASIP/MC1R in bay horses. *Czech Journal of Animal Science,* 2018, vol. 63, no. 9. DOI: 10.17221/105/2017-CJAS

DUEÑAS, MARGARITA. *Botánica fanerogámica.* Madrid: s.n., 1992.

ELVIRA, M. y ALBERTOLI, S. El color de lana Merino del Chubut. En: *Anuario Merino Argentina,* 2009, pp. 30–36.



ETCHAREN, PATRICIA. *Policromía en los tintes naturales*. México: DEP-ENAP-UMAN, 1986.

FLORES, R. *Fenología reproductiva de plantas andinas con potencial etnobotánico*. Cusco: Editorial Agroandina, 2012.

HAVSTEEN, BEENS. The biochemistry and medical significance of the flavonoids. 2002, p. 202.

HERNÁNDEZ, ROBERTO; FERNÁNDEZ, CARLOS y BAPTISTA, MARÍA DEL PILAR. *Metodología de la investigación*. 6.^a ed. México: McGraw-Hill, 2014. ISBN 978-1-4562-2396-0.

HOLLEN, NORMA. *Introducción a los textiles*. 2002.

HOYOS MALLQUI, MARINA. *Evaluación de frutos de Mio – Mio (Coriarpia ruscifolia) a distintos mordientes y parámetros de teñido en fibra de alpaca (Lama pacos)*. Abancay: UNAMBA, 2016.

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

ILLA CCARITA, CLODO PAULINO y TAIRO HUAITA, GLORIA. *Teñido de fibra de alpaca suri (Vicugna pacos) con carmín de cochinilla (Dactylopius coccus)*. Cusco: RI-UNSAAC, 2015.

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). *Compendio estadístico agropecuario 2022*. Lima: INEI, 2022.

INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria). *Informe técnico: situación del algodón nativo en el Perú*. Lima: INIA, 2018.

KE, G.; ZHU, K. y CHOWDHURY, M.H. Dyeing of cochineal natural dye on cotton fabrics treated with oxidant and chitosan. *Journal of Natural Fibers*, 2021, vol. 18, no. 3, pp. 317–329. <https://doi.org/10.1080/15440478.2019.1623742>



KANT, R. Textile dyeing industry: an environmental hazard. *Natural Science*, 2012, vol. 4, no. 1, pp. 22–26.

LOCK, OLGA. *Colorantes naturales*. Lima: Fondo Editorial Pontificia Universidad Católica del Perú, 1997, pp. 75–80.

LOZANO, A.; QUISPE-QUISPE, M. y VILCANQUI-PÉREZ, F. Effect of mordants on the variation of diameter and colour tone in alpaca fibre threads dyed with *colli* (*Buddleja coriacea*) flowers. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 2024, vol. 35, no. 1. <https://doi.org/10.15381/rivep.v35i1.27379>

MARRONE, LUCIANA. *Tintes naturales al alcance de nuestras manos*. Buenos Aires: Parábola, 2008.

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

MIDAGRI (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego). *Memoria descriptiva general del sector agrario de Apurímac*. Lima: Dirección General de Estadística Agraria, 2023.

MINAM (Ministerio del Ambiente). *Ficha técnica de especies altoandinas: Buddleja coriacea (colli)*. Lima: Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural, 2014.

MINCETUR (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo). *Cadena de valor del algodón nativo en el Perú*. Lima: MINCETUR, 2021.

MIRANDA, C. *Efecto del diámetro medular en el teñido en fibras de alpaca Huacaya*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Facultad de Ciencias Biológicas, 2022.

MIAO, M. y GORDON, S. Fiber selection and substitution. 2018, pp. 3–26.



NAFFA, RAFAE et al. Chemical and structural composition of alpaca (*Vicugna pacos*) skin with a focus on collagen crosslinks. *Journal of Structural Biology*, 2020, vol. 190, pp. 106–144.

NINA AGUILAR, YESELIA. *Caracterización del colorante natural de la inflorescencia de colli (Buddleja coriacea) en el teñido de la fibra de alpaca.* Puno: UNAP, 2018.

OBANDO PORTILLO, RUTH ELIZABETH. *Tintura alternativa en hilos de lana con colorantes naturales.* Tesis de licenciatura. 2013.

OBANDO, RUTH. *Tintura alternativa en hilos de lana con colorantes naturales.* Ibarra: Universidad Técnica del Norte, 2013.

OJEDA, GALO ANTONIO. *Teñido de fibra de abacá (textiles musa) utilizando colorante extraído de la cochinilla (Dactylopius coccus).* Quito: Universidad de Loja, 2012.

ORDOÑEZ CALVA, M.; ORDOÑEZ VIVANCO, Y. y ROMERO BENAVIDES, J. Tinción de fibras de lana utilizando colorante extraído de maíz morado (*Zea mays* L.). s.l.: Planta de Productos Naturales, 2007.

P. ERRA et al. FTIR analysis to study chemical changes in wool following a sulfitolysis treatment. *Textile Research Journal*, 1997, vol. 67, no. 6, pp. 397–401. <https://doi.org/10.1177/004051759706700602>

PALACIOS VELÁSQUEZ, ABRAHAM ARSENIO. *Teñido de algodón con pigmento natural de yacushapana (Terminalia oblonga) utilizando diferentes mordientes.* Prospectiva Universitaria, Universidad Nacional del Centro del Perú, vol. 7, n.º 1, enero 2022, pp. 82–86. DOI:10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2010.7.1161

PINCHE GONZALES, 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 de licenciatura. Disponible en: [Repositorio UNAMBA] <http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1616>



QUISPE CUBAS, ROXANA JENIFER. *Uso de extracto de Lantana camara en el teñido de lana y algodón.* Lima: UNMSM, 2016.

QUISPE, M. *Uso de extracto de Lantana camara en el teñido de lana y algodón.* Tesis de licenciatura. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, 2016.

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

ROQUERO, A. y CÓRDOBA, C. *Manual de tintes de origen natural para lana.* Barcelona: Ediciones del Serbal, 1881. ISBN/ISSN/DL: 978-84-85800-03-2

ROSAS, ANIA IBETH. *Estudio de las principales características de la fibra.* Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2012.

ROSS, J. y KASUM, C. Dietary flavonoids: Bioavailability, metabolic effects, and safety. 2002, pp. 22:19–34.

SÁNCHEZ PUERTAS, MARÍA GABRIELA. *Comprobación de la actividad tintorera en fibras orgánicas y sintéticas de la carraquilla (Berberis halliii).* Riobamba: RI-ESPCH, 2011.

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

SOTO BENITO, SONIA. *Evaluación del tiempo de ebullición en la intensidad de color y solidez a la luz del teñido de lana de ovino (Ovis aries) con ayrampo (Berberis sp).* Huancavelica: RI-UNH, 2017. repositorio.unh.edu.pe

TESTEX. *Solidez del color: introducción a la solidez del color al lavado.* 2010. [Consultado el 24 de enero de 2020]. Disponible en: <https://www.testertextile.com/es/solidez-del-color-tinte-de-introducción-solidez-del-color-lavado/>

VALENCIA ALBITRES, GERSON ALBERTO. *Aislamiento de pigmentos de huito (Genipa americana) y aplicación en teñido de fibras proteicas (alpaca).* Lima: RI-UNI, 2013.



VELARDE, R. *Comercialización de productos derivados de los camélidos sudamericanos: informe del Simposio sobre camélidos sudamericanos.* Santiago de Chile: FAO/RLA, 1993.

VELASCO RODRÍGUEZ, GRISELLE. *Origen del textil en Mesoamérica.* México: Instituto Politécnico Nacional, 1995.

VELÁSQUEZ, R. *Colorantes naturales de plantas altoandinas y su aplicación en fibras textiles.* Cusco: Instituto Andino de Tecnología Textil y Natural, 2010.

VELÁSQUEZ, R. Propiedades textiles de la lana de ovino criollo. *Revista Andina de Ciencia Animal*, 2010, vol. 3, no. 2, pp. 45–51.

VIGUERAS GUZMÁN, ANA LILIA y PORTILLO MARTÍNEZ, LIBERATO. *Grana cochinilla del nopal y otros pigmentos en el teñido de fibras naturales.* Ed. especial del *Boletín Nakari*. México: Printed in Mexico, 2016, vol. I.

VILLANUEVA CHÁVEZ, ALICIA. *Conocimiento sobre la fibra de alpaca y los teñidos naturales.* Lima: Servicios Gráficos JMD, 2012. Cod. 01711.

W. S. ATIKAH, I. MUSLIM y S. M. PRATAMA. The effect of surfactant on pre-mordanting and pH of dyeing process with natural dyes. *Jurnal Kimia Riset*, 2023, vol. 8, no. 2. <https://doi.org/10.20473/jkr.v8i2.49114>



ANEXOS



Anexo A

RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE COLORIMETRÍA

Tabla 49 — Resultados de las propiedades colorimétricas con sus respectivas repeticiones de algodón nativo

Tratamiento	Mordiente	Repeticion	Propiedades colorimétricas				
			L*	a*	b*	C*	h°
T1	SM	R1	72.17	10.21	33.33	34.86	72.97
	SM	R2	72.07	10.22	33.36	34.89	72.97
	SM	R3	70.94	9.84	32.97	34.41	73.38
T2	AL	R1	67.97	12.05	54.79	56.10	77.60
	AL	R2	67.94	12.11	54.86	56.18	77.55
	AL	R3	66.72	12.46	54.46	55.87	77.11
T3	SL	R1	60.79	18.13	56.87	59.69	72.32
	SL	R2	58.74	18.28	55.42	58.36	71.74
	SL	R3	60.89	17.61	56.66	59.33	72.73
T4	CO	R1	51.60	5.84	29.72	30.29	78.88
	CO	R2	52.85	5.50	29.33	29.84	79.38
	CO	R3	51.48	5.60	28.58	29.12	78.91

NOTA
Luminosidad (L*), Coordenada (a* y b*), Cromo c* y el ángulo de matiz (h°), AL (alumbre), CO (collpa) y SL(sal de limón).

1. Luminosidad (L*)

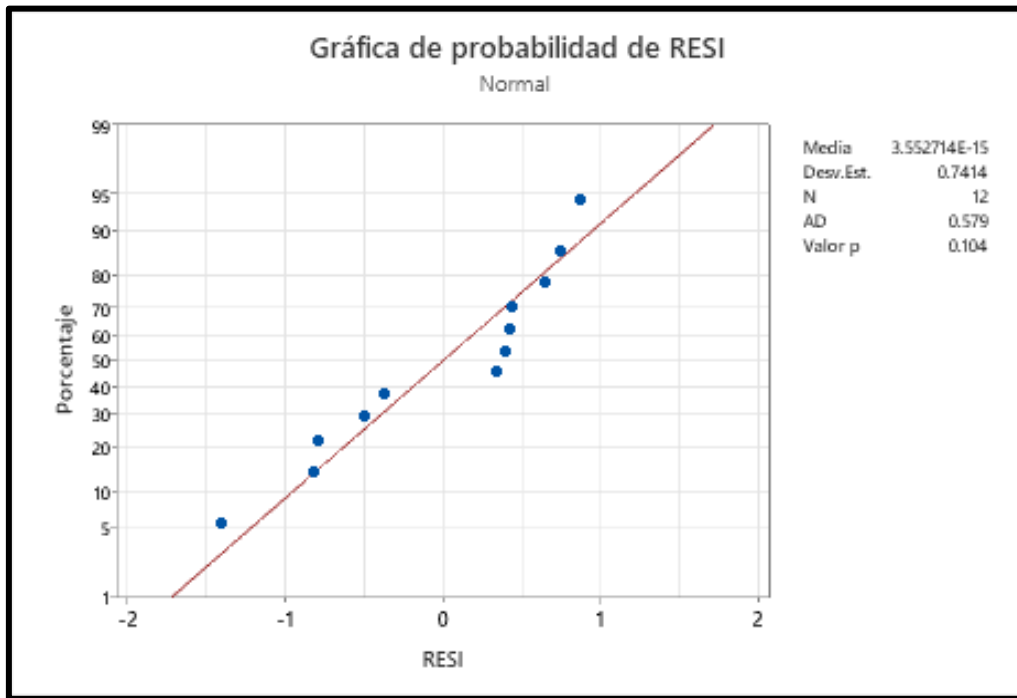


Figura 26 — Prueba de normalidad de residuos para luminosidad (L*)

2. Coordenada (a*)

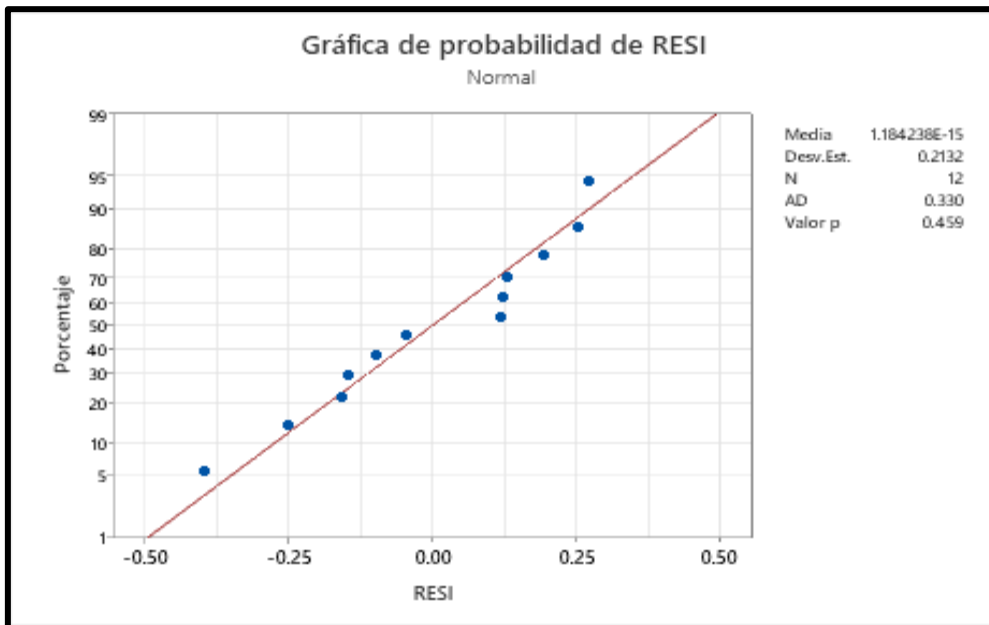


Figura 27 — Prueba de normalidad de residuos para la coordenada a*

3. Coordenada (b*)

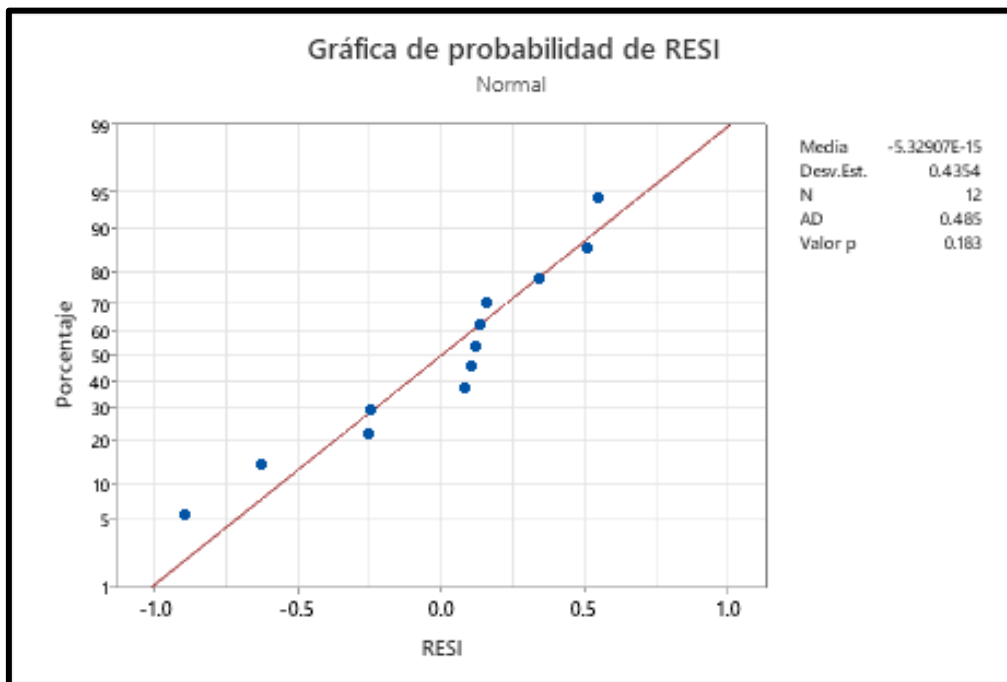


Figura 28 — Prueba de normalidad de residuos para la coordenada b*

4. Cromo (C*)

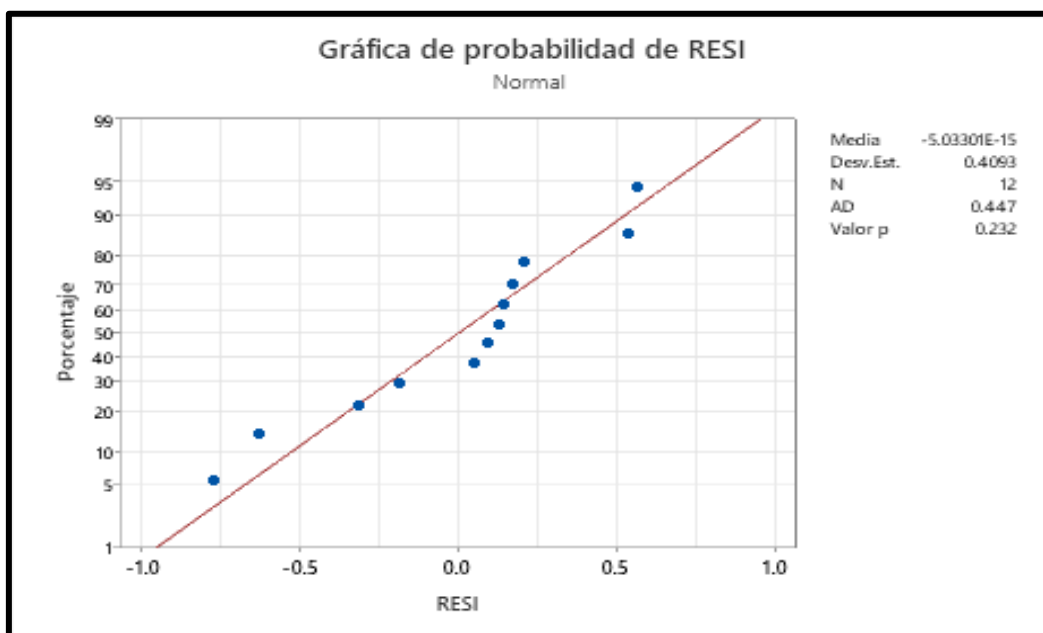


Figura 29 — Prueba de normalidad de residuos para el croma

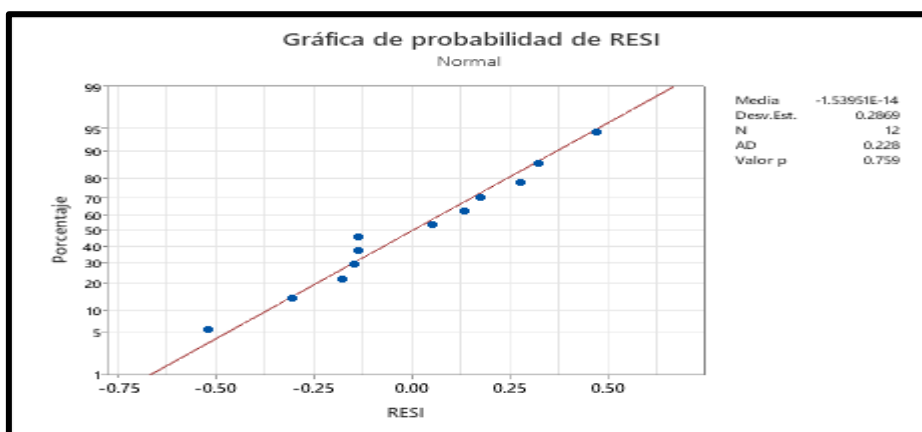
5. Tono (h°)Figura 30 — Prueba de normalidad de residuos para el tono h°

Tabla 50 — Resultados de las propiedades colorimétricas con sus respectivas repeticiones de lana de ovino

Tratamiento	Mordiente	Repetición	Propiedades colorimétricas				
			L*	a*	b*	C*	h°
M1	SM	R1	59.04	18.02	56.37	59.18	72.27
	SM	R2	58.85	18.01	56.22	59.03	72.24
	SM	R3	58.66	17.93	56.01	58.81	72.25
M2	AL	R1	67.97	12.05	54.79	56.10	77.60
	AL	R2	67.94	12.11	54.86	56.18	77.55
	AL	R3	67.34	12.31	54.76	56.13	77.33
M3	SL	R1	61.24	17.97	57.09	59.85	72.53
	SL	R2	60.79	18.13	56.87	59.69	72.32
	SL	R3	60.50	18.21	56.73	59.58	72.20
M4	CO	R1	46.73	8.42	37.20	38.14	77.25
	CO	R2	46.46	8.94	38.00	39.04	76.76
	CO	R3	46.23	8.98	37.84	38.89	76.65

NOTA

Luminosidad (L*), Coordenada (a* y b*), Cromo c* y el ángulo de matiz (h°), AL (alumbre), CO (collpa) y SL (sal de limón).

6. Luminosidad (L*)

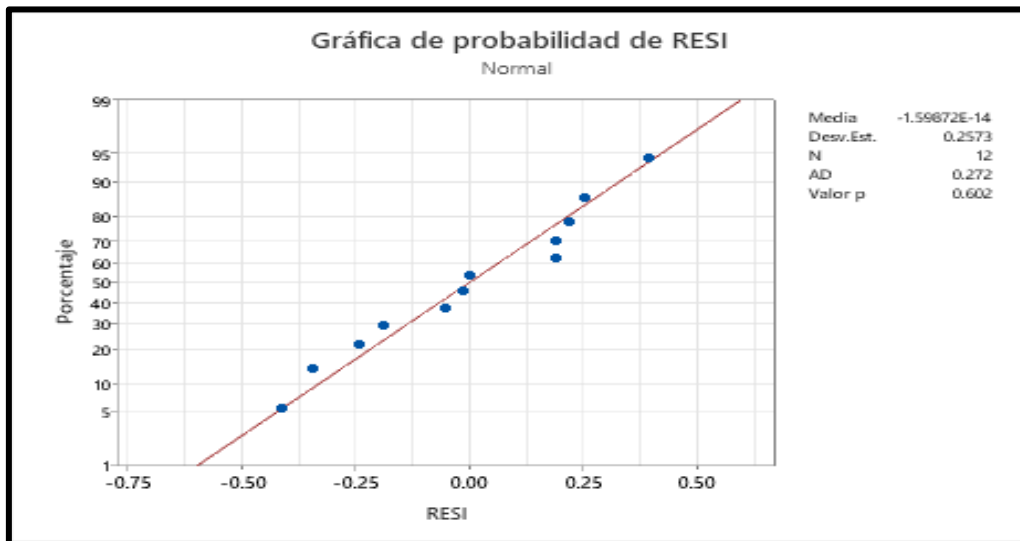


Figura 31 — Prueba de normalidad de residuos para luminosidad L*

7. Coordenada a*

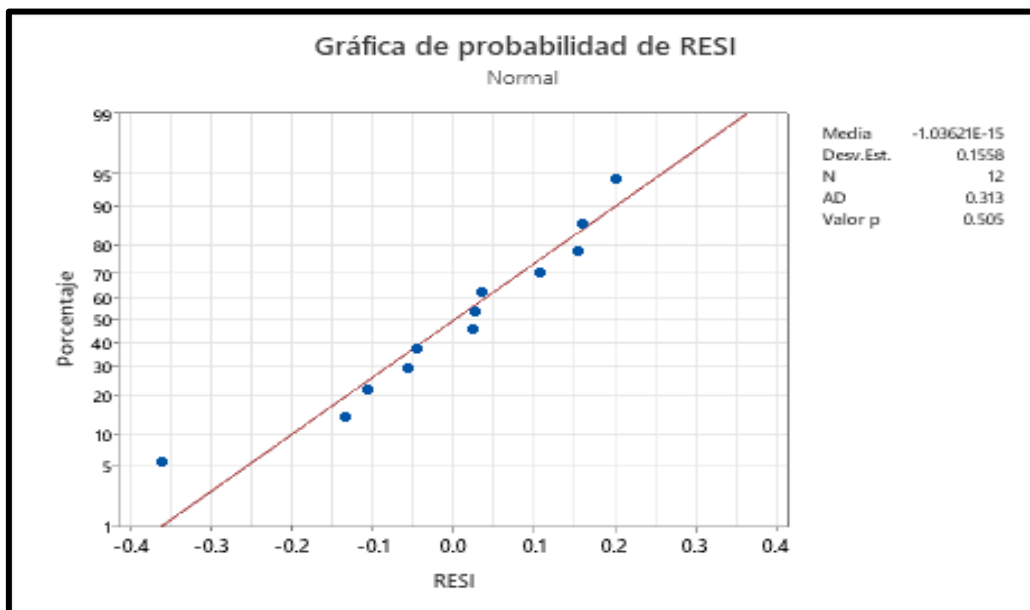


Figura 32 — Prueba de normalidad de residuos para la coordenada a*

8. Coordenada b*

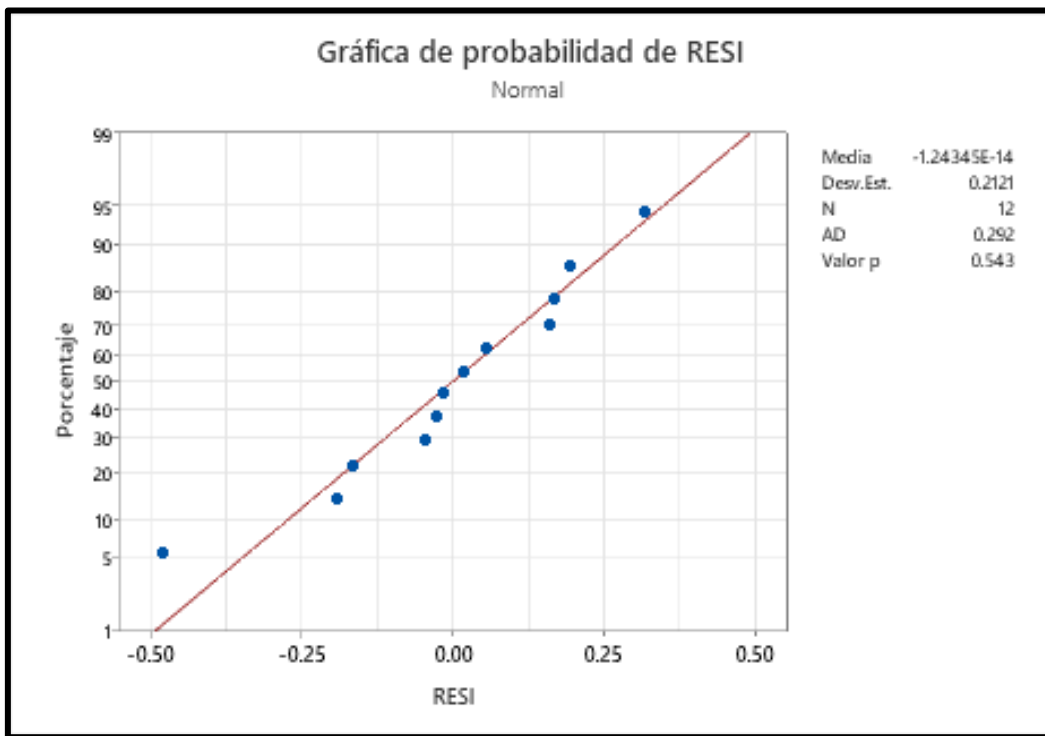


Figura 33 — Prueba de normalidad de residuos para la coordenada b*

9. Cromo (C*)

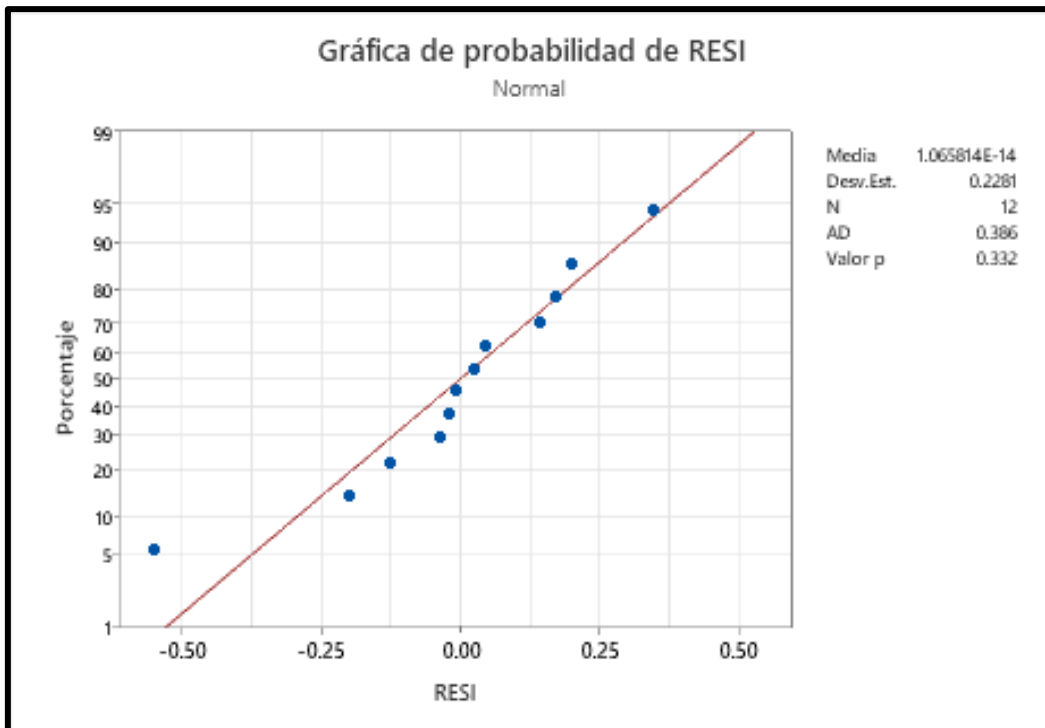


Figura 34 — Prueba de normalidad de residuos para el tono C*

10. Tono (h°)

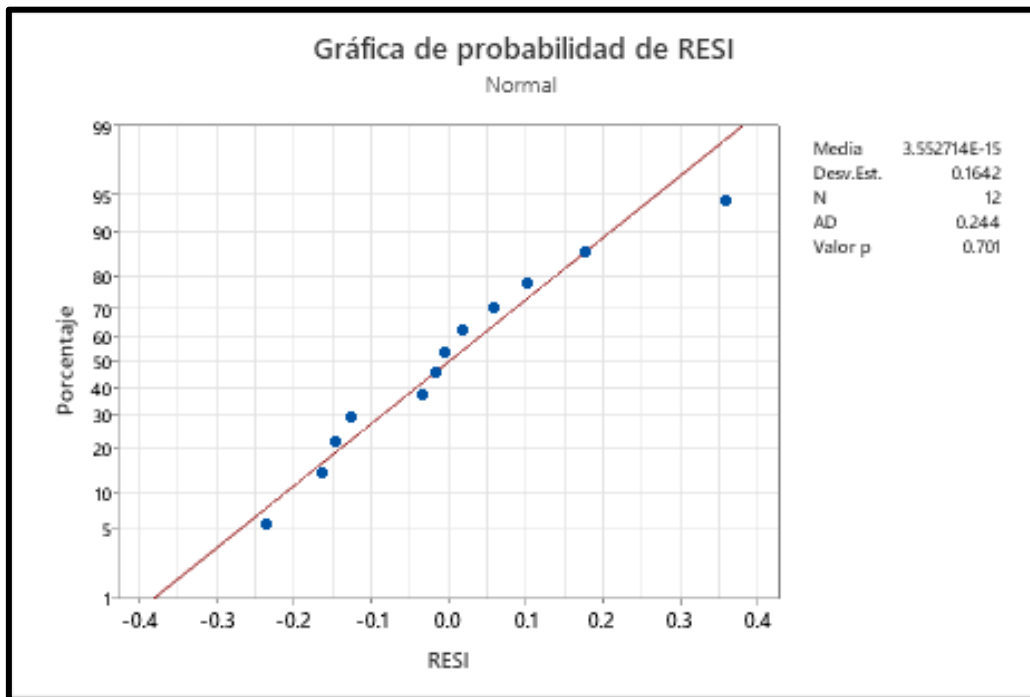


Figura 35 — Prueba de normalidad de residuos para el tono h°



Anexo B

RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CARACTERÍSTICAS TEXTILES

Tabla 51 — Resultados de las características textiles con sus respectivas repeticiones de algodón nativo

Tratamiento	Mordiente	Repetición	Características textiles				
			DMF µm	CV- DMF µm	FC %	IC µm	FH µm
T1	SM	R1	14.50	25.20	100.00	64.90	12.85
	SM	R2	14.40	24.00	100.00	62.60	12.76
	SM	R3	14.30	24.40	100.00	62.20	12.67
T2	AL	R1	14.40	24.50	100.00	70.90	12.76
	AL	R2	14.50	24.20	100.00	74.40	12.85
	AL	R3	14.40	24.50	100.00	65.70	12.76
T3	SL	R1	14.70	25.10	100.00	58.20	13.03
	SL	R2	14.10	25.00	100.00	59.60	12.50
	SL	R3	14.10	25.00	100.00	61.50	12.50
T4	CO	R1	13.70	25.00	100.00	65.50	12.14
	CO	R2	13.80	24.80	100.00	66.20	12.23
	CO	R3	13.70	25.00	100.00	68.00	12.14

NOTA

Diámetro medio de fibra (DMF); Coeficiente de variación de diámetro medio de fibra (CV-DMF); Factor de confort (FC); Índice de curvatura (IC); Finura al hilado (FH) , AL (alumbre), CO (collpa) y SL(sal de limón). Superíndices con letras diferente por columna muestran diferencias significativas (P<0.05).

1. Diámetro medio de fibra

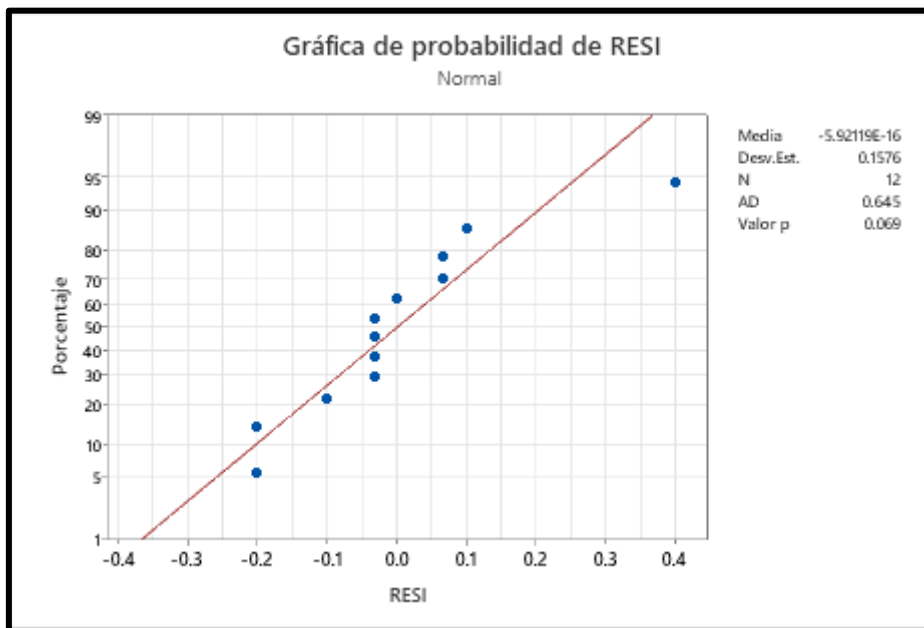


Figura 36 — Prueba de normalidad de residuos de diámetro medio de fibra (DMF)

2. Coeficiente de variación de diámetro medio de fibra

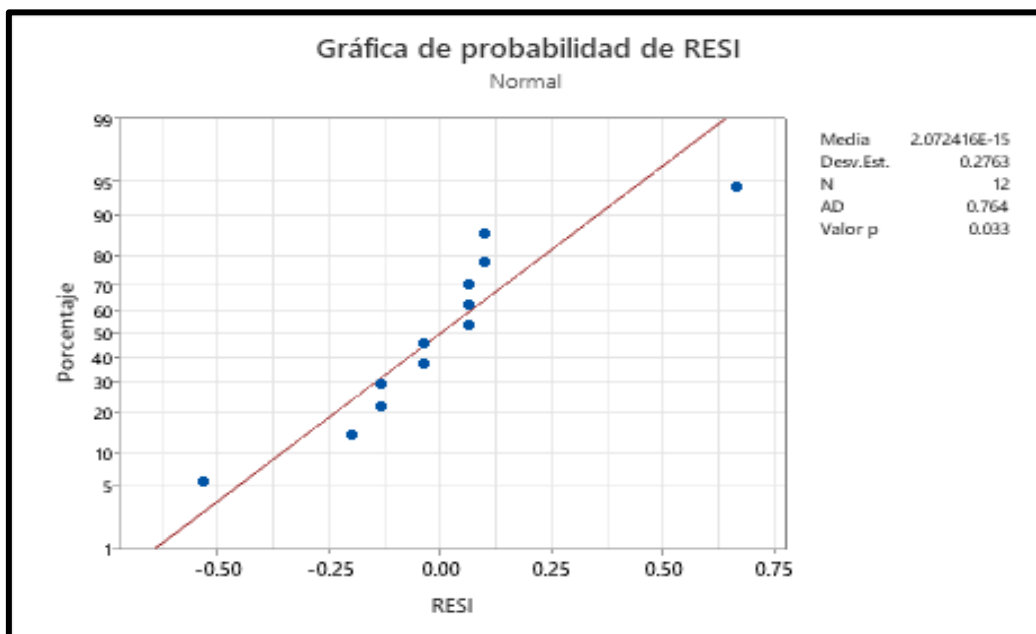


Figura 37 — Prueba de normalidad de residuos de CV

3. Factor de Confort

* ERROR * Todas las filas completas incluidas tienen la misma respuesta.

4. Índice de curvatura

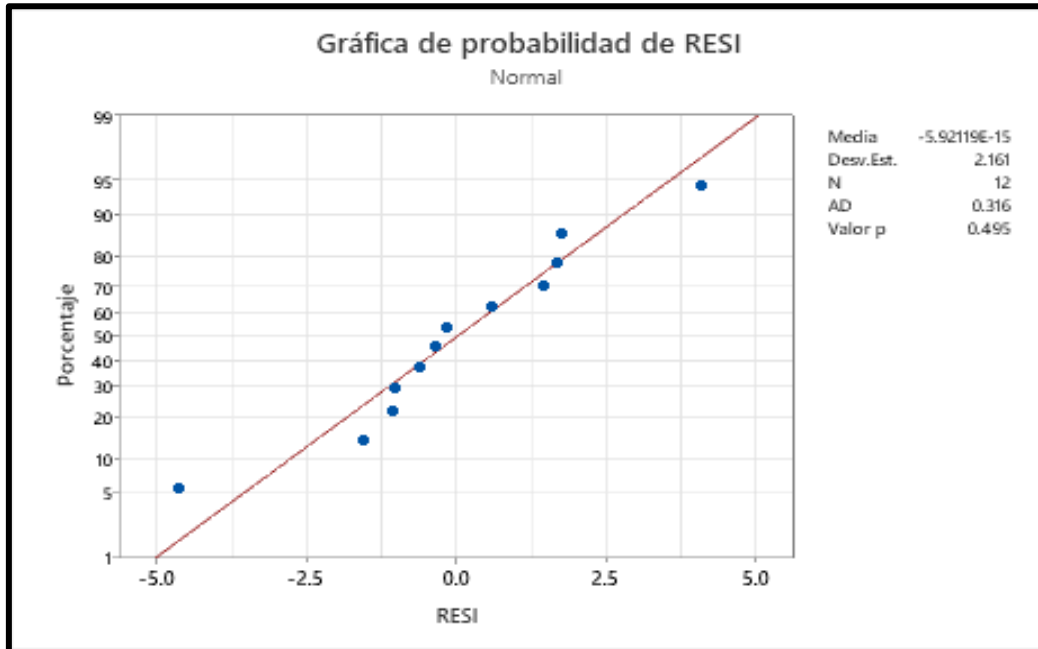


Figura 38 — Prueba de normalidad de residuos de IC

5. Finura al hilado

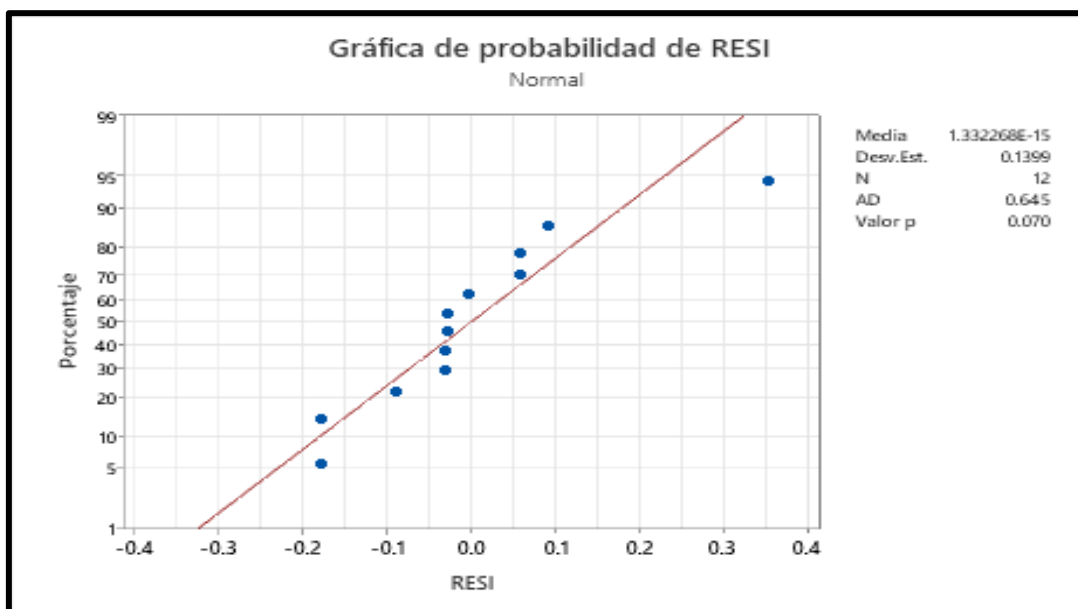


Figura 39 — Prueba de normalidad de residuos de FH

Tabla 52 — Resultados de las características textiles con sus respectivas repeticiones de lana de ovino

Tratamiento	Mordiente	Repeticion	Características textiles				
			DMF μm	CV- DMF μm	FC %	IC μm	FH μm
M1	SM	R1	20.70	23.30	96.70	48.80	18.34
	SM	R2	20.60	22.90	96.20	49.40	18.25
	SM	R3	20.70	23.10	95.90	48.50	18.34
M2	AL	R1	24.40	20.30	88.30	66.10	21.61
	AL	R2	25.10	20.10	84.70	70.90	22.22
	AL	R3	25.00	19.80	84.80	70.60	22.13
M3	SL	R1	26.30	20.10	76.90	73.40	23.29
	SL	R2	26.20	20.20	78.30	75.40	23.20
	SL	R3	26.40	20.00	77.20	75.20	23.37
M4	CO	R1	25.60	21.70	80.90	86.20	22.68
	CO	R2	25.70	20.90	81.40	84.80	22.76
	CO	R3	26.00	20.40	79.20	86.20	23.02

NOTA

Diámetro medio de fibra (DMF); Coeficiente de variación de diámetro medio de fibra (CV-DMF); Factor de confort (FC); Índice de curvatura (IC); Finura al hilado (FH), AL (alumbre), CO (collpa) y SL(sal de limón). Superíndices con letras diferente por columna muestran diferencias significativas ($P < 0.05$).

6. Diámetro medio de fibra

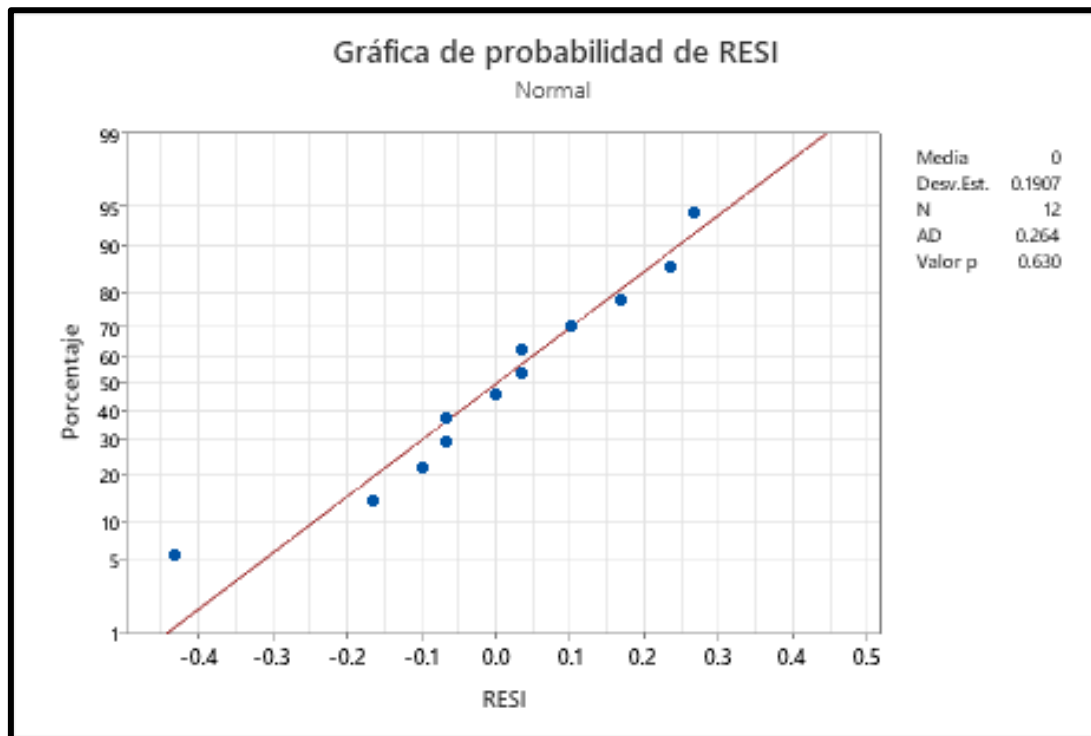


Figura 40 — Prueba de normalidad de residuos de diámetro medio de fibra (DMF)

7. Coeficiente de Variación de diámetro medio de fibra

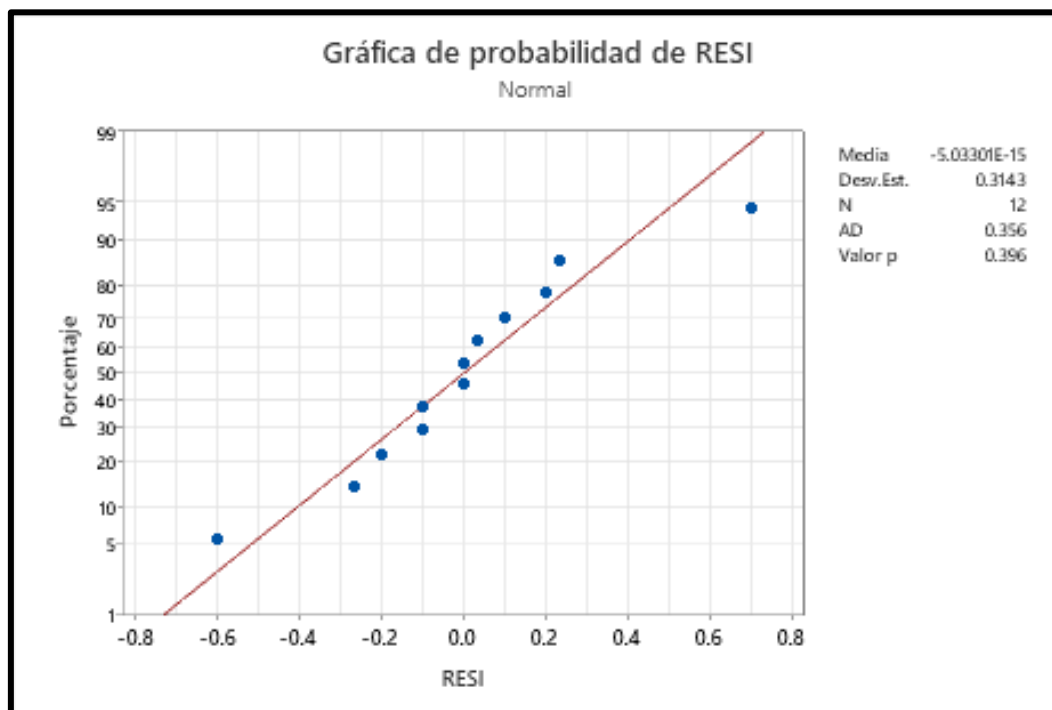


Figura 53 — Prueba de normalidad de residuos de CV

8. Factor de confort

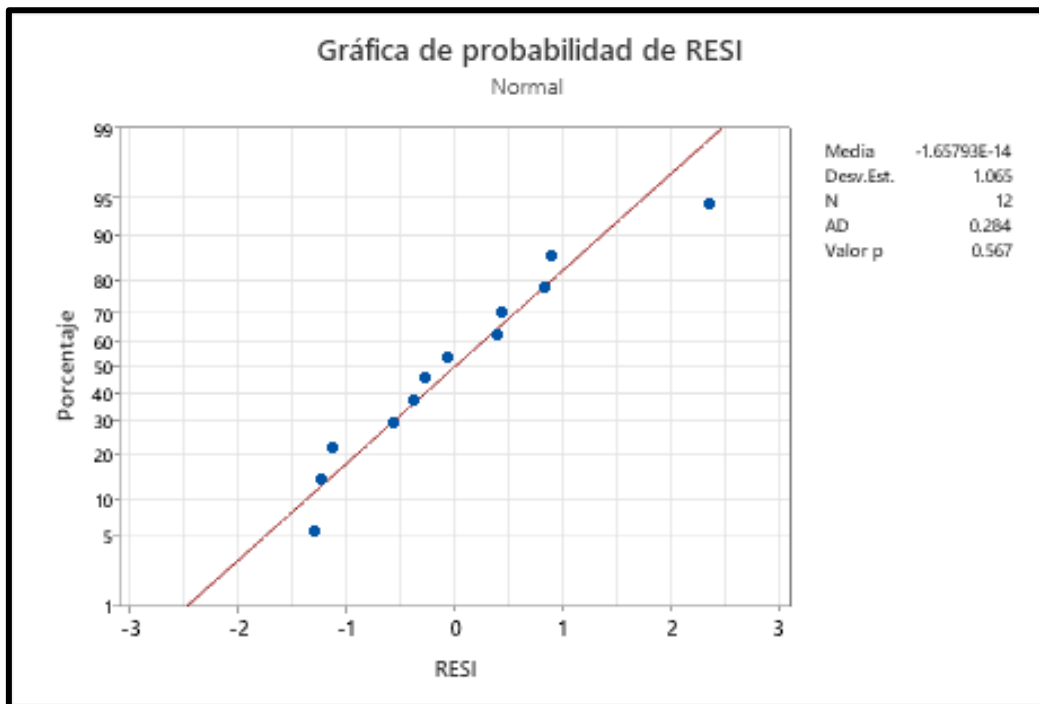


Figura 41 — Prueba de normalidad de residuos de FC

9. Índice de curvatura

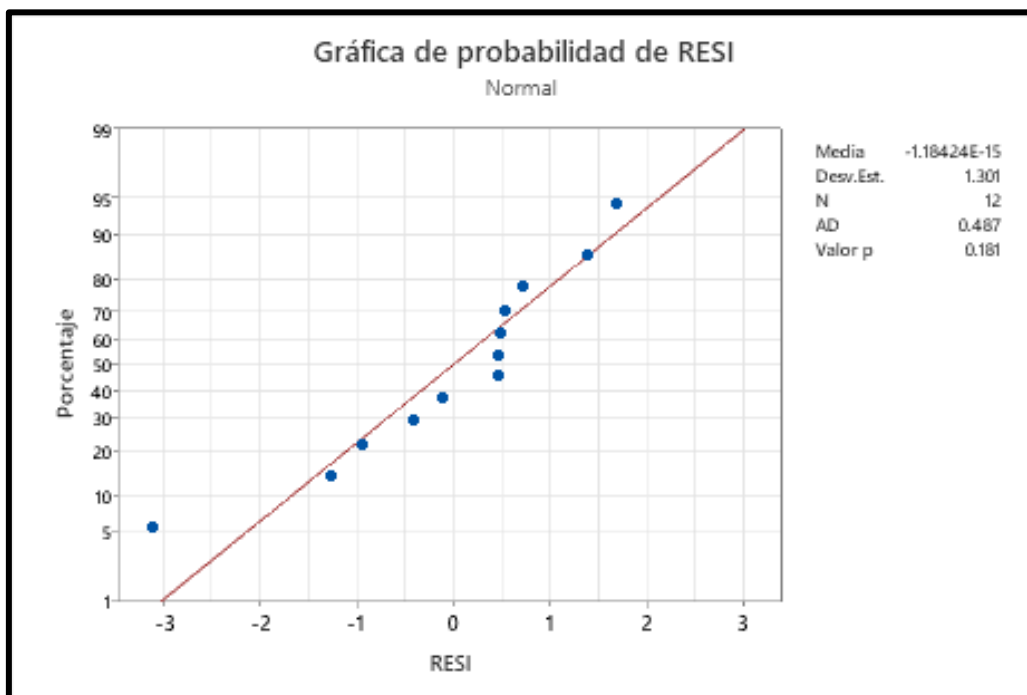


Figura 42 — Prueba de normalidad de residuos de IC

10. Finura al hilado

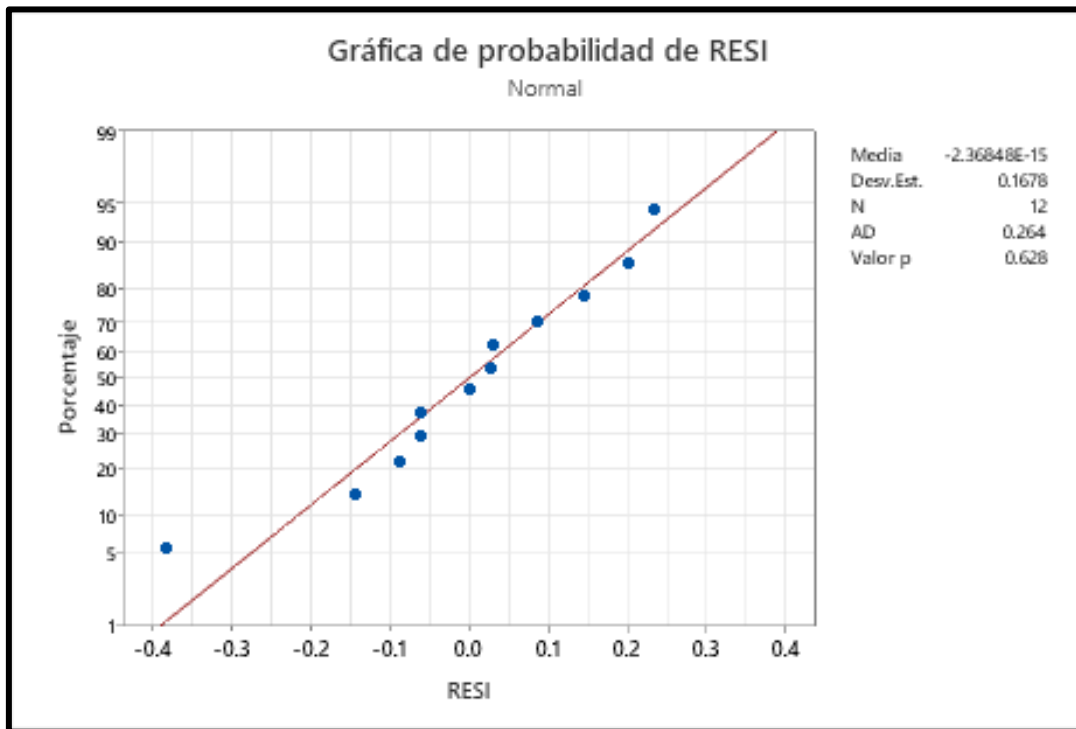


Figura 43 — Prueba de normalidad de residuos de FH

Anexo C

C.1 pH de tinte extraído

Tabla 53 — Cuantificación del pH del tinte de *Buddleja coriacea* con diferentes mordientes.

Muestra	Variable	Media±D.E.
Tinte (T2)	pH	5.22±0.11
Tinte (T3)	pH	3.18±0.01
Tinte (T4)	pH	2.58±0.03
Tinte (T5)	pH	3.18±0.01

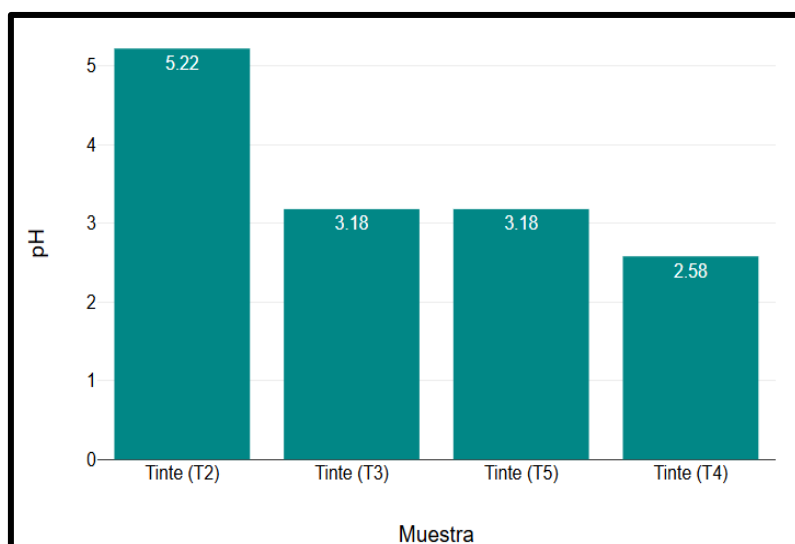


Figura 44 — Cuantificación del pH del tinte de *Buddleja coriacea* con diferentes mordientes

La tabla 53 y la figura 44 se exponen los resultados de fibras de alpaca teñidas con diferentes mordientes, destacando cómo estos influyen en el pH de las soluciones de colorante. En el tratamiento T2, que usa *Buddleja coriacea* sin mordientes, el pH promedio es 5.22, indicando una condición más neutra en comparación con otros tratamientos y posiblemente resultando en una fijación de color menos eficiente.

Por otro lado, el tratamiento T3, que incluye *Buddleja coriacea* y $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ (alumbre), muestra un pH promedio de 3.18, sugiriendo que el alumbre reduce el pH y podría mejorar la fijación del color en la lana. El tratamiento T4, con *Buddleja*

coriacea y $C_2H_2O_4$ (ácido oxálico), registra el pH más bajo con 2.58, indicando una acidez significativa que puede favorecer la fijación y la intensidad del color debido al ácido oxálico.

Finalmente, el tratamiento T5, combinando *Buddleja coriacea* y Na_2SO_4 (sulfato de sodio), mantiene un pH de 3.18, igual al del tratamiento T3, lo que implica que el sulfato de sodio no tiene un impacto considerable en el pH de la solución colorante.



Anexo D



Figura 45 — Arbusto de flores de colli (*buddleja coriacea*)

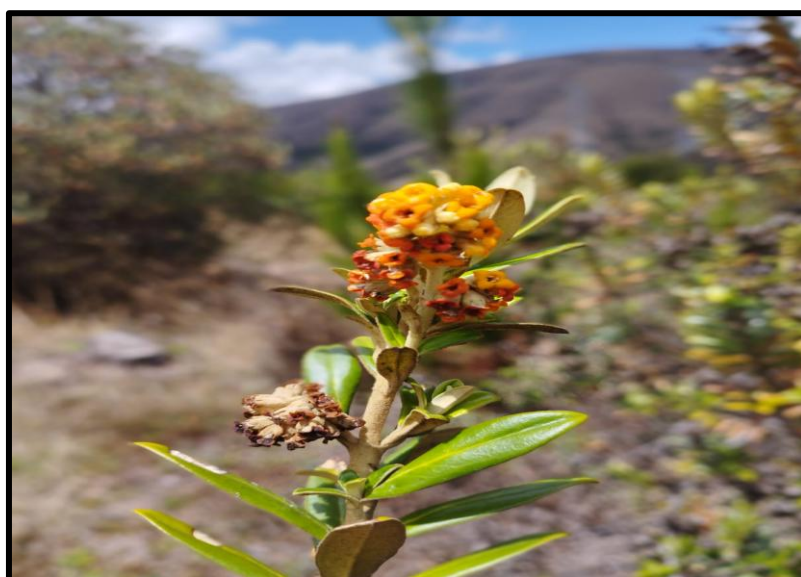


Figura 46 — Flores de colli (*Buddleja coriacea*)



Figura 47 — Fibra de lana de ovino (hilado)



Figura 48 — Fibra de algodón nativo (hilado)

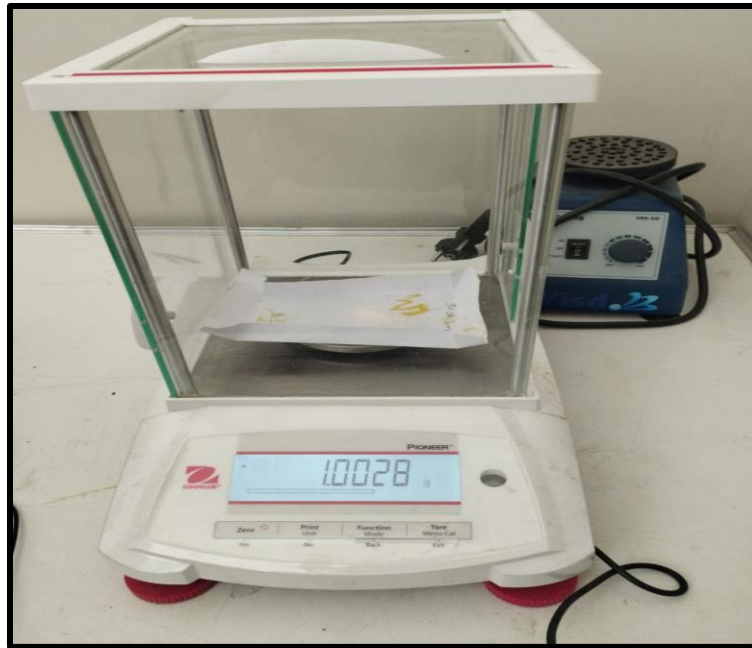


Figura 49 — Pesado de mordiente



Figura 50 — Pos-mordentado de fibra con con alumbre, collpa y sal de limón



Figura 51 — Acondicionamiento de muestras para prueba



Figura 52 — Pruebas de colorimetría