



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD INGENIERIA
CARRERA DE AGROINDUSTRIA**

Evaluación de la extracción de pigmentos naturales de hoja de tomate riñón (*Solanum lycopersicum L.*) y flor de diente de león (*Taraxacum officinale*) para la industria textil

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Agroindustrial

Autor:

Alvarez Machado, Verónica Elizabeth

Tutor:

MgSc. Sebastián Alberto Guerrero Luzuriaga

Riobamba, Ecuador. 2026

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, Verónica Elizabeth Alvarez Machado, con cédula de ciudadanía 0605321900, autora del trabajo de investigación titulado: Evaluación de la extracción de pigmentos naturales de hoja de tomate riñón (*Solanum lycopersicum L.*) y flor de diente de león (*Taraxacum officinale*) para la industria textil, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autora de la obra referida será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, a los 05 días del mes de febrero del 2026



Verónica Elizabeth Alvarez Machado
C.I: 0605321900

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Sebastián Alberto Guerrero Luzuriaga catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería , por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: Evaluación de la extracción de pigmentos naturales de hoja de tomate riñón (*Solanum lycopersicum L.*) y flor de diente de león (*Taraxacum officinale*) para la industria textil, bajo la autoría de Verónica Elizabeth Alvarez Machado; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 05 días del mes de febrero de 2026



Sebastián Alberto Guerrero Luzuriaga
MgSc. Sebastián Alberto Guerrero Luzuriaga
C.I: 0603950577

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Evaluación de la extracción de pigmentos naturales de hoja de tomate riñón (*Solanum lycopersicum L.*) y flor de diente de león (*Taraxacum officinale*) para la industria textil, presentado por Veronica Elizabeth Alvarez Machado, con cédula de identidad número 0605321900, bajo la tutoría de MgSc. Sebastián Alberto Guerrero Luzuriaga; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 05 de Febrero del 2026.

PhD. José Miranda Yuquilema
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO

PhD. Diana Yáñez Sevilla
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

MgS. Daniel Luna Velasco
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



CERTIFICACIÓN

Que, **VERÓNICA ELIZABETH ALVAREZ MACHADO** con CC: **0605321900**, estudiante de la Carrera de **AGRINDUSTRIA**, Facultad de Ingeniería; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**EVALUACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE PIGMENTOS NATURALES DE HOJA DE TOMATE RIÑÓN (SOLANUM LYCOPERSICUM L) Y FLOR DE DIENTE DE LEÓN (TARAXACUM OFFICINALE) PARA LA INDUSTRIA TEXTIL.**", cumple con el 6%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **COMPILATIO MAGISTER+**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 11 de diciembre de 2025



Mgs. Sebastián Guerrero L.
TUTOR TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi luz y fortaleza en cada paso de este camino, guiándome con sabiduría y amor infinito para alcanzar esta meta. A la Virgen María Inmaculada, por su intercesión, protección y consuelo en los momentos de dificultad, acompañándome siempre con su amor maternal.

A mi ángel del cielo, mi abuelita, que, aunque ya no está físicamente, su amor y sabiduría siguen guiando mis pasos, y su recuerdo vive en mi corazón, fortaleciéndome cada día.

A mis padres, Gonzalo y Gladys por su sacrificio, apoyo incondicional y ejemplo de perseverancia, quienes con su amor han sido el motor de mis sueños. A mi hermana, por ser mi inspiración, compañera y fuente de ánimo constante en este proceso.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la fortaleza y perseverancia para culminar esta etapa tan importante de mi vida.

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres, quienes con su amor, apoyo incondicional y sabios consejos fueron pilares fundamentales en este proceso. A mi hermana y mis tíos, por su compañía y motivación constante.

Extiendo mi gratitud a mi tutor de tesis, Mgs. Sebastián Guerrero, por su valiosa guía, paciencia y conocimientos compartidos, que enriquecieron este proyecto. Así mismo, agradezco a la Universidad Nacional de Chimborazo y al técnico Docente de laboratorio Mgs. Fernanda Rojas, por facilitarme los recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación.

También quiero reconocer a mis amigos, por el apoyo mutuo y que hicieron más llevadero este camino. Finalmente, a todos aquellos que, de una u otra manera, aportaron a la realización de este trabajo, mi más profundo agradecimiento.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| DECLARATORIA DE AUTORÍA | |
| DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR | |
| CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL | |
| CERTIFICADO ANTIPLAGIO | |
| DEDICATORIA | |
| AGRADECIMIENTO | |
| ÍNDICE GENERAL | |
| ÍNDICE TABLAS | |
| ÍNDICE DE FIGURAS | |
| RESUMEN | |
| ABSTRACT | |
| CAPÍTULO I. INTRODUCCION..... | 14 |
| 1.1 Antecedentes | 14 |
| 1.2 Problema | 15 |
| 1.3 Justificación | 15 |
| 1.4 Objetivos..... | 16 |
| CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO..... | 17 |
| 2.1 MARCO REFERENCIAL..... | 17 |
| 2.2 MARCO TEORICO | 21 |
| 2.2.1 Alpaca | 21 |
| 2.2.2 Fibra de alpaca | 21 |
| 2.2.3 Tratamiento de la fibra de alpaca | 26 |
| 2.2.4 Extractos vegetales | 27 |
| 2.2.5 Maceración..... | 29 |
| 2.2.6 Proceso de la tintura | 31 |
| 2.2.7 Mordientes que se utilizan en el teñido de la fibra textil..... | 32 |
| CAPÍTULO III. METODOLOGIA..... | 33 |
| 3.1 Tipo de Investigación. | 33 |
| 3.2 Diseño de la Investigación | 33 |
| 3.2.1 Materiales y Equipos | 35 |
| 3.2.2 Procedimientos | 37 |
| 3.3 Hipótesis | 44 |
| 3.4 Técnicas de recolección de Datos | 44 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.4.1 | Absorción de luz por Espectrofotometría | 44 |
| 3.4.2 | Determinación de pH en los extractos | 45 |
| 3.4.3 | Índice de amarillez en fibras | 45 |
| 3.4.4 | Escala Cie Lab..... | 45 |
| 3.4.5 | Microscopia por barrido electrónico..... | 46 |
| 3.5 | Población de estudio y tamaño de muestra..... | 46 |
| | CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 48 |
| 4.1 | Resultados del solvente para el teñido de la fibra textil Absorbancia en el extracto de diente de león. | 48 |
| 4.2 | Análisis comparativo de la absorbancia y transmitancia en el extracto de diente de león. | 49 |
| 4.3 | Análisis absorbancia y transmitancia en el extracto de hoja de tomate riñón..... | 52 |
| 4.4 | Resultado de la Escala Cie Lab en el extracto de diente de león | 52 |
| 4.5 | Resultado para el índice de amarillez (YI) en el extracto de diente de león..... | 55 |
| 4.6 | Resultado de la escala CIEL ab en el colorante verde con el extracto de hoja de tomate riñón..... | 55 |
| 4.7 | Evaluación mediante microscopia de barrido (SEM) de los cambios morfológicos en las fibras blanqueadas y teñidas con los extractos obtenidos..... | 57 |
| 4.8 | Cambios morfológicos en fibra sin tratar y fibra blanqueada. | 59 |
| 4.9 | Evaluación de los cambios morfológicos de la fibra blanqueada con la fibra teñida con extracto amarillo con dos mordientes. | 61 |
| 4.10 | Evaluación de los cambios morfológicos de la fibra blanqueada con la fibra teñida con extracto verde con dos mordientes..... | 62 |
| | CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES | 64 |
| | BIBLIOGRAFIA | 66 |
| | ANEXOS..... | 75 |

ÍNDICE DE TABLAS.

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Clasificación taxonómica de la Alpaca | 21 |
| Tabla 2. Tratamientos..... | 34 |
| Tabla 3. Variables Controladas | 35 |
| Tabla 4. Insumos y materiales utilizados en el trabajo de investigación | 36 |
| Tabla 5. Equipos utilizados en el trabajo de investigación | 36 |
| Tabla 6 Absorbancia del extracto obtenido mediante la utilización de diferentes solventes del diente de león. a 430 nm | 48 |
| Tabla 7 Transmitancia del extracto obtenido mediante la utilización de diferentes solventes del diente de león a 430 nm | 48 |
| Tabla 8 Absorbancia del extracto obtenido mediante la utilización de diferentes solventes de la hoja de tomate riñón. | 50 |
| Tabla 9 Transmitancia del extracto obtenido mediante la utilización de diferentes solventes de la hoja de tomate riñón..... | 51 |
| Tabla 10 Muestra los parámetros L^* , a^* , b^* determinados en la fibra de alpaca sometida a los diferentes procesos de teñido y lavado..... | 53 |
| Tabla 11 Índice de amarillez para fibra de alpaca teñida con extracto de diente de león y dos mordientes..... | 55 |
| Tabla 12 Muestra los parámetros L^* , a^* , b^* determinados en la fibra de alpaca sometida a los diferentes procesos de teñido y lavado..... | 56 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 Estructura de la Fibra de Alpaca | 25 |
| Figura 2 Estructura química de la queratina | 26 |
| Figura 3 Hoja de Tomate Riñón | 28 |
| Figura 4 Flor de Diente de León..... | 29 |
| Figura 5 Maceración..... | 30 |
| Figura 6 Diagrama de Flujo de la Recolección de MP & extracción de pigmentos..... | 38 |
| Figura 7 Diagrama de Flujo de la Obtención y Clasificación de la Lana..... | 39 |
| Figura 8. Diagrama de Flujo del Desengrase Fibra de Alpaca..... | 40 |
| Figura 9. Diagrama de Flujo del Blanqueamiento de la Fibra..... | 40 |
| Figura 10 Diagrama de Flujo del Mordentado de la Fibra | 41 |
| Figura 11 Curva de temperatura y tiempo del proceso de teñido con extractos de <i>Solanum lycopersicum L.</i> y <i>Taraxacum officinale</i> | 42 |
| Figura 12 Diagrama de Flujo del Teñido de la fibra..... | 43 |
| Figura 13 Diagrama de Flujo del Post - lavado de la fibra..... | 44 |
| Figura 14 Diagrama de Flujo de la Microscopia Electrónica de Barrido | 46 |
| Figura 15 Fibra teñida con extracto de diente de león..... | 53 |
| Figura 16 Fibra teñida con extracto de hoja de tomate riñón. | 56 |
| Figura 17 Estructura morfológica de la fibra de alpaca | 58 |
| Figura 18 Evaluación de cambios morfológicos fibra sin tratar y fibra blanqueada. | 59 |
| Figura 19 Evaluación de los cambios morfológicos de la fibra blanqueada con la fibra teñida con extracto amarillo con dos mordientes..... | 61 |
| Figura 20 Evaluación de los cambios morfológicos de la fibra blanqueada con la fibra teñida con extracto verde con dos mordientes | 62 |
| Figura 21 Recolección de las hojas de tomate riñón y flor de diente de león..... | 75 |
| Figura 22 Preparación de la Materia Prima para el secado | 75 |
| Figura 23 Analisis de absorción de luz por espectrofotometría..... | 76 |
| Figura 24. Extracción de los pigmentos con los diferentes solventes..... | 76 |
| Figura 25. Teñido de la fibra de alpaca..... | 77 |
| Figura 26 Preparación de la Fibra para microscopia de barrido SEM..... | 77 |
| Figura 27 Toma del color en las diferentes escalas de medición..... | 78 |
| Figura 28 Toma de pH de los extractos | 78 |

RESUMEN

La industria textil enfrenta importantes desafíos ambientales debido al uso predominante de colorantes sintéticos, los cuales generan contaminación hídrica y residuos tóxicos. Por ello, se requiere desarrollar alternativas basadas en pigmentos naturales que reduzcan el impacto ambiental de los procesos de teñido. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la extracción de pigmentos naturales a partir de hoja de tomate riñón (*Solanum lycopersicum* L.) y flor de diente de león (*Taraxacum officinale*), igual que su uso en el teñido de fibras de alpaca. La recolección se llevó a cabo mediante maceración en frío utilizando dos disolventes: metanol al 80% y etanol al 94%, en una proporción de 1:50 (planta:disolvente) durante 720 horas bajo condiciones de oscuridad y con agitación en intervalos. Para identificar el disolvente con mayor eficacia en la extracción, se realizó un análisis de absorción de luz a través de espectrofotometría UV-Vis. A partir de estos resultados, se eligió el metanol para las etapas posteriores del proceso experimental. Los extractos producidos se utilizaron en fibra de alpaca que había recibido un tratamiento anterior a través de dos mordientes sulfato de potasio (K_2SO_4) y alumbre [$KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$]. Los baños térmicos fueron utilizados para llevar a cabo el proceso de teñido, y la evaluación del color se realizó empleando SEM (microscopía electrónica de barrido), YI (índice de amarillez) y parámetros CIELab. Estos resultados revelaron que el metanol posibilitó la obtención de extractos con una absorbancia más alta, mientras que el alumbre facilitó la estabilidad, fijación y uniformidad del color al ser lavado; esto último fue diferente con el sulfato de potasio, que demostró tener menos durabilidad del color. En resumen, los colorantes naturales extraídos de la hoja de tomate riñón y de la flor de diente de león tienen un gran potencial para ser utilizados como colorantes ecológicos en fibras proteicas, representando una opción sostenible para la industria textil tanto artesanal como industrial.

Palabras clave: maceración, microscopía electrónica de barrido (SEM), pigmentos vegetales, evaluación de color CIELab, sector textil, teñido

ABSTRACT

The textile industry faces significant environmental challenges due to the predominant use of synthetic dyes, which generate water pollution and toxic waste. Therefore, it is necessary to develop alternatives to synthetic dyes based on natural pigments that reduce the environmental impact of dyeing processes.

This study aimed to evaluate the extraction of natural pigments from tomato leaf (*Solanum lycopersicum* L.) and dandelion flower (*Taraxacum officinale*), and their application in dyeing alpaca fibers.

Extraction was performed by cold maceration with 80% methanol and ethanol at a 1:50 (plant:solvent) ratio for 720 hours in the dark, with occasional agitation. To determine the solvent with the highest extraction efficiency, a UV-Vis spectrophotometric absorption analysis was conducted. Based on these results, methanol was selected for the subsequent stages of the process.

The obtained extracts were applied to pretreated alpaca fibers using two mordants: alum [$\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$] and potassium sulfate (K_2SO_4). Dyeing was carried out in thermal baths, and color evaluation was conducted using CIELab parameters and the yellowness index (YI), and morphological characterization was performed using scanning electron microscopy (SEM).

Results showed that methanol yielded extracts with higher absorbance, while alum improved color fixation, stability, and homogeneity after washing, compared with potassium sulfate, which showed lower color persistence.

In conclusion, natural pigments extracted from tomato leaf and dandelion flower demonstrate potential for use as ecological dyes for protein fibers, representing a sustainable alternative for both artisanal and industrial textile applications.

Keywords: plant pigments, textile materials, maceration, dyeing, CIELab color evaluation, scanning electron microscopy (SEM).



Reviewed by:

Ms.C. Ana Maldonado León
ENGLISH PROFESSOR
C.I.0601975980

CAPÍTULO I. INTRODUCCION.

1.1 Antecedentes

La producción de colorantes naturales a partir de fuentes vegetales ha cobrado relevancia en la industria textil, debido a que es impulsada por la necesidad de tintes sostenibles y amigables con el medio ambiente. En esta perspectiva, la hoja de tomate riñón (*Solanum lycopersicum L.*) y la flor de diente de León (*Taraxacum officinale*) representan fuentes factibles para obtener pigmentos naturales

Pigmentos en la Hoja de Tomate Riñón (*Solanum lycopersicum L.*) El tomate es un fruto que se conoce ampliamente por su alto contenido de licopeno, un carotenoide con propiedades antioxidantes que le otorgan su característico color rojo. Sin embargo, las hojas también constituyen una fuente alternativa de compuestos bioactivos con potencial para teñir. Estos elementos vegetales incluyen principalmente clorofilas, β-caroteno, luteína y flavonoides, además de xantofilas, pigmentos responsables de la coloración verde característicamente observada en la planta. Investigaciones recientes se han centrado en técnicas de extracción de pigmentos carotenoides y clorofílicos a partir de residuos vegetales del cultivo de tomate, de esta manera abarcando hojas y tallos, lo que demuestra que las hojas del tomate riñón representan una materia prima prometedora para la obtención de pigmentos naturales con aplicaciones potenciales en la industria textil (Mauliddiyah, 2021).

Pigmentos en la Flor de Diente de León (*Taraxacum officinale*). El diente de león es una planta común que alberga múltiples compuestos bioactivos en sus flores, incluyendo flavonoides y carotenoides, responsables de su color amarillo, un estudio reciente evaluó las variables de proceso para la extracción de compuestos del diente de león, aplicando el método Soxhlet, y diseñó un extractor piloto, encontrando que el tiempo de extracción es un factor significativo que influye en el rendimiento (Toapanta Guanín, 2024)

La industria textil busca opciones sostenibles por el efecto negativo que producen los colorantes sintéticos. En este contexto, los pigmentos naturales derivados de hoja de tomate y flor de diente de león se posicionan como una alternativa ecológica para el teñido de fibras.

Estos extractos, aparte de disminuir la utilización de colorantes sintéticos, brindan propiedades funcionales tales como la actividad antioxidante, las cuales pueden elevar el valor agregado de los productos textiles. Así, los colorantes naturales se perfilan como una opción factible para fomentar prácticas más responsables en la industria.

A pesar de los avances que se han logrado en el campo del teñido con pigmentos naturales, todavía hay desconocimiento de información sobre la utilización específica de extractos obtenidos de hoja de tomate riñón y flor de diente de león sobre fibras de alpaca, especialmente en cuanto a la comparación sistemática de distintos solventes de extracción y tipos de mordientes. En este contexto, el presente estudio se orienta a subsanar dicho vacío mediante una evaluación experimental controlada.

1.2 Problema

La industria textil y de confección ecuatoriana es un pilar de la economía nacional, representando el 5,5% del PIB manufacturero y el 27,4% del empleo en el sector manufacturero en 2022. Sin embargo, esta industria enfrenta desafíos ambientales significativos debido al uso predominante de colorantes sintéticos, los cuales contienen compuestos como aminas aromáticas, metales pesados (como plomo, cromo, cadmio y mercurio), y solventes orgánicos volátiles. Estos contaminantes pueden liberar sustancias tóxicas al agua durante el proceso de teñido, generar emisiones de gases de efecto invernadero y dejar residuos persistentes que afectan gravemente tanto al medio ambiente como a la salud humana (AITE I Industria, 2023), (Calderón et al., 2021).

Frente a esta problemática, el presente proyecto de investigación plantea la utilización de pigmentos naturales extraídos de recursos vegetales locales, como la hoja de tomate riñón (*Solanum lycopersicum L.*) y la flor de diente de león (*Taraxacum officinale*), aplicados sobre fibra de alpaca. La extracción de los pigmentos se realizó mediante el método de maceración, considerado una técnica convencional pero sostenible, que permite preservar las propiedades tintóreas de los compuestos naturales y reducir el impacto ambiental asociado al proceso de teñido.

De este modo, el estudio se centra en analizar la eficiencia tintórea y la estabilidad cromática de los extractos naturales, con la intención de sugerir opciones ecológicas prácticas para la industria textil en Ecuador ayudando a disminuir el uso de colorantes sintéticos y al promoviendo de una producción más sostenible.

1.3 Justificación

La preocupación en aumento sobre los efectos que tienen los colorantes sintéticos sobre la salud y el medio ambiente ha impulsado la búsqueda de alternativas más naturales en varias industrias, entre ellas la textil. Los tintes de textiles a partir de pigmentos naturales, que se obtienen de las plantas, son una alternativa ecológica, ya que poseen ventajas como ser biodegradables y tener menos toxicidad.

El tomate riñón (*Solanum lycopersicum L.*) y el diente de león (*Taraxacum officinale*) son considerados fuentes valiosas de pigmentos naturales. El tomate conocido por su contenido de licopeno un carotenoide que destaca por su brillante color rojo y sus propiedades antioxidantes, tambien presentan en sus hojas una alternativa rica en compuestos bioactivos que pueden ser utilizados para el teñido, entre los elementos vegetales incluyen principalmente clorofilas, β -caroteno, luteína y flavonoides, así como xantofilas, pigmentos que son responsables de la coloración verde característicamente observada en la planta. El diente de león cuenta con flavonoides y carotenoides que pueden ofrecer tonalidades amarillas. La obtención mediante la extracción eficiente de estos pigmentos y su uso en el sector textil podrían disminuir la necesidad de colorantes sintéticos y reducir el efecto ambiental vinculado a su producción y utilización.

Estudios recientes han investigado la obtención de pigmentos naturales de diferentes orígenes vegetales con fines en la industria textiles. Por ejemplo, se ha trabajado en la creación de colorantes biodegradables usando de la cochinilla roja, col morada y flor de retama para el teñido de fibras de algodón (Calderón et al., 2017). De igual manera, se han llevado a cabo pruebas para producir tintes naturales a partir de raíces de plantas (Rodas, 2021), aplicándolos en fibras textiles de algodón y lana. Estas investigaciones muestran que es posible utilizar pigmentos naturales en el sector textil, fomentando prácticas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

El desarrollo de técnicas de teñido natural representa una oportunidad para elevar el valor de la producción local, reducir la dependencia de insumos químicos foráneos y crear productos textiles sostenibles en mercados específicos que demandan métodos de producción responsable y certificados ecológicos, sobre todo en la provincia de Chimborazo, en Ecuador donde se concentra la elaboración y procesamiento artesanal de la fibra de alpaca. Por ende, además de favorecer el progreso del saber científico este estudio respalda la prevención de métodos tradicionales artesanales con un enfoque en la responsabilidad medioambiental y el desarrollo de la economía local.

El estudio propuesto tiene como objetivo examinar la extracción de pigmentos naturales tanto de las hojas de tomate riñón como de las flores del diente de León, y su uso para teñir textiles (fibra de alpaca). Este análisis ayudará a generar opciones ecológicas y responsables en el sector textil, alineándose con las tendencias mundiales que buscan la sostenibilidad y la disminución del empleo de sustancias químicas perjudiciales.

1.4 Objetivos

General

Evaluar la extracción de pigmentos naturales de hoja de tomate riñón (*Solanum lycopersicum L.*) y flor de diente de León (*Taraxacum officinale*) para la industria Textil.

Específicos

- Extraer pigmentos naturales de hojas de tomate riñón (*Solanum lycopersicum L.*) y flor de diente de león (*Taraxacum officinale*) para su aplicación en la fibra de alpaca.
- Evaluar las propiedades fisicoquímicas de los colorantes naturales obtenidos.
- Realizar pruebas para determinar la eficiencia del tinte en la fibra de alpaca.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1 MARCO REFERENCIAL

Con el fin de entender esta investigación, se llevó a cabo un examen de varios estudios previos que forman que contribuyen en la base conceptual y experimental de este trabajo. Se reunió información esencial de diferentes autores tratando temas claves sobre la extracción, uso y análisis de colorantes naturales en el sector textil, tal como se explica a continuación:

En la investigación realizada por Ahsan et al., (2020) se destaca la creciente relevancia de los colorantes naturales en el sector textil como respuesta a la necesidad de productos más sostenibles y orgánicos. Estos tintes, procedentes de fuentes orgánicas, vegetales o minerales, representan una alternativa ecológica frente a los tintes sintéticos, ya que aportan matices únicos y generan beneficios para el medio ambiente. Para asegurar una adecuada adhesión del color a las fibras durante el proceso de teñido con colorantes naturales, se incluyen varias etapas importantes, entre las cuales la aplicación de mordientes resulta esencial. Los mordientes suelen ser sales metálicas que actúan como intermediarios entre el colorante y la fibra textil, permitiendo un teñido efectivo. Estas sales pueden formar enlaces mediante diversas fuerzas intermoleculares, lo que facilita una unión eficiente entre el colorante natural y la fibra, favoreciendo una adhesión sólida y duradera del color. Al aplicar el colorante sobre fibras previamente tratadas con mordientes, se mejora la fijación del tinte, aumentando la resistencia al lavado y al desgaste, lo que garantiza la durabilidad y calidad del proceso de teñido.

Kamel et al., (2015), aseguran que, debido a su origen natural y a su menor impacto medioambiental en comparación con los colorantes sintéticos, los colorantes naturales han sido utilizados durante mucho tiempo. La inquietud por la sostenibilidad ha impulsado el interés por estos tintes en la industria textil contemporánea. El proceso de obtener pigmentos de materias biológicas, por ejemplo, las flores de manzanilla, está orientada a utilizarlos en tejidos de lana. Para que el colorante se fije mejor en las fibras, es esencial utilizar mordientes. Se analiza una variedad de métodos de mordentado y parámetros para el teñido, tales como la temperatura, la concentración del colorante y el pH, empleando diseños factoriales como con el objetivo de mejorar el procedimiento, la solidez del color, que mide la resistencia a la decoloración y transferencia, se evalúa según los estándares ISO 105-C06, garantizando la calidad del teñido en diferentes condiciones de uso y mantenimiento.

La investigación de Menegazzo et al., (2020), señala que los colorantes naturales han emergido nuevamente como una alternativa ecológica y sostenible a los sintéticos, destacándose por su biodegradabilidad y una paleta de colores única. En este sentido, la extracción de tintes de flores de manzanilla mediante métodos acuosos garantiza un proceso adecuado para su uso en la industria textil. Es fundamental el premordentado con mordientes como alumbre y tanino para mejorar la afinidad del colorante con la fibra de lana, seguido por el proceso de teñido para asegurar una fijación óptima. La optimización del teñido incluye variables como pH, temperatura y concentración del colorante mediante diseños

factoriales, lo que permite evaluar con precisión su impacto en la adsorción del tinte en las fibras textiles. Evaluar la solidez del color frente a la luz, lavado y frote es esencial para garantizar la durabilidad del teñido, complementada por estudios termodinámicos que mejoran la eficiencia y sostenibilidad del proceso.

Popescu et al., (2021), Se ha observado un aumento significativo en el interés por los colorantes de origen natural, dado su impacto positivo en el medio ambiente y su carácter renovable, lo que los convierte en una alternativa sostenible frente a los colorantes artificiales, cuyos efectos pueden ser perjudiciales para la naturaleza y la salud humana. Este estudio se enfoca en la extracción de tintes a partir de flores de manzanilla para aplicarlos en lana, destacando un método efectivo y ecológico para la producción de tejidos teñidos. Este procedimiento comprende la extracción por calor y la preparación de soluciones de colorantes con distintos grados de concentración. El premordiendo es fundamental para garantizar la adecuada fijación del colorante en las figuras textiles, mejorando parámetros como el pH, la temperatura y la concentración del tinte por medio de experimentos. Así mismo, el estudio de la cinética y la termodinámica proporcionan un panorama pormenorizado de los mecanismos mediante los cuales el tinte se adhiere, lo cual ayuda a optimizar la eficiencia y sostenibilidad del proceso de teñido, para asegurar que el color conserve su intensidad tras el lavado y el desgaste es esencial evaluar la calidad del teñido. Esta evaluación se realiza mediante métodos normativos que garantizan tanto la durabilidad como la calidad de los productos textiles finales.

El estudio realizado por Fu et al., (2021), explora el desarrollo de pigmentos derivados de frutas de naranja como una opción a los pigmentos sintéticos tradicionales para aplicaciones textiles superhidrófobas en tejidos de punto de algodón. El objetivo primordial consiste en crear y combinar estos pigmentos naturales con el fin de otorgar propiedades superhidrófobas a los tejidos, analizando tanto ensayos mecánicos como pruebas físicas. A lo largo del proceso de experimentación, los investigadores obtuvieron y aplicaron pigmento naranja en diferentes concentraciones (20%, 40%, 60% y 80%) con el fin de teñir los tejidos de punto elaborados en algodón. A continuación, se utilizó una solución superhidrófoba en los tejidos que habían sido tratados. Los elementos del proceso de teñido abarcaron pigmento, disolvente, aglutinante, aditivo y dureza, cada uno de los cuales fue creado para potenciar las características superhidrófobas de los tejidos. Las pruebas mecánicas y físicas incluyeron la medición del efecto del agua (ASTM D5946-04). El material con 60% de pigmento naranja presentó un ángulo de contacto de 151°, lo que evidenció propiedades hidrófobas significativas. Así mismo, se estudió la resistencia al secado del color (ASTM D5053), obteniendo una calificación estable del 5 en estado seco y un índice de transferencia de color de 3.5 para el pigmento naranja al 80% bajo condiciones húmedas. Con el fin de evaluar la resistencia mecánica, se llevaron a cabo pruebas de resistencia al estallido (ASTM D3786) y de resistencia a la abrasión (ASTM D4966-98). Los resultados mostraron que el material que recibió tratamiento con un 80% de pigmento naranja presentó la mayor resistencia al estallido y una pérdida de peso muy baja durante la prueba de abrasión.

Shukla & Vankar, (2013), investigaron la aplicación de materiales lignocelulósicos para adsorber colorantes. Examinaron el uso de subproductos agrícolas como cáscara de coco y bagazo de caña de azúcar para eliminar colorantes de soluciones acuosas. Varian las condiciones experimentales, como el pH y la concentración inicial de colorante, para evaluar la eficacia de estos materiales. Realizaron pruebas de adsorción en lotes, mezclando materiales adsorbentes con soluciones de colorantes en distintas condiciones. La cantidad de colorante removido se midió mediante espectrofotometría, y los datos se analizaron con modelos de isoterma y cinética para entender los mecanismos de adsorción. Los resultados demostraron que estos subproductos agrícolas son efectivos en la remoción de colorantes, ofreciendo una solución económica y sostenible para el tratamiento de aguas residuales.

X. Wang et al., (2022), llevaron a cabo la investigación sobre la extracción de pigmentos de la cáscara verde de la nuez y su uso en la tinción de fibras de lana mediante un proceso asistido por microondas. Los autores mejoraron las condiciones de extracción empleando el método de superficie de respuesta, ajustando variables como la potencia del microondas, el tiempo de extracción y la proporción de disolvente. Este procedimiento facilitó una gran efectividad en la obtención de pigmentos en un período corto de tiempo. Con el fin de teñir las fibras de lana, se investigó la utilización de iones de tierras raras como mordientes, que se aplicaron durante un proceso que incluyó pretratamiento, tinción y postratamiento. Se llevó a cabo una evaluación de la efectividad del teñido y la durabilidad del color a través de pruebas de resistencia al lavado y a la fricción. Los hallazgos evidenciaron que la utilización de iones de tierras raras aumentó considerablemente la retención del color en las fibras de lana, presentando una opción respetuosa con el medio ambiente en comparación con los colorantes sintéticos y disminuyendo el impacto ambiental de los procedimientos de tintura textil.

Ali Khan et al., (2016), señalan que la coloración de materiales textiles naturales y sintéticos es uno de los procesos más contaminantes para el medio ambiente, debido al uso extensivo de colorantes sintéticos que liberan sustancias químicas tóxicas en el entorno y cuerpos de agua. También destacan que los textiles teñidos principalmente con tintes dispersos sintéticos pueden causar respuestas alérgicas, tóxicas y cancerígenas al entrar en contacto con la piel. En los últimos años, ha crecido el interés global por teñir algodón, seda y lana con colorantes naturales. Estos colorantes son mayormente biodegradables, no alérgicos y menos tóxicos que los sintéticos. Diversos análisis han subrayado las aplicaciones textiles más significativas de productos vegetales respetuosos con el medio ambiente, como fibras, tintes, pigmentos, polifenoles, aceites y otros compuestos biológicamente activos. Se han discutido ampliamente los principales atractivos de los tintes naturales obtenidos de recursos renovables.

Bota Sanda, (2021), menciona que los tintes, compuestos químicos utilizados para colorear telas, cabello, plásticos, papel, alimentos y cosméticos, se dividen en dos tipos principales: sintéticos y naturales. Los colorantes suelen aplicarse en una solución acuosa y a veces requieren sustancias adicionales para mejorar su absorción en las fibras. A lo largo de la historia, las antiguas civilizaciones de Grecia, Mesopotamia, India, China y

Egipto comenzaron a utilizar tintes naturales desde aproximadamente el año 3. 000 antes de Cristo. En Egipto, las telas eran coloreadas en tonos rojo, azul, amarillo y verde. Para el año 800 a. C. , las ciudades fenicias de Tiro y Sidón eran reconocidas por su industria textil, especialmente en la utilización de tintes naturales. En la actualidad, a pesar de que los colorantes sintéticos son utilizados en gran medida, se relacionan con reacciones alérgicas y efectos tóxicos. A causa de severas normativas ambientales, ha vuelto a ganar popularidad el uso de tintes naturales, que son capaces de generar tonalidades singulares y representan una opción más segura y respetuosa con el medio ambiente en comparación con los tintes sintéticos.

Salauddin Sk et al., (2021), nos dice que los tintes para textiles se dividen en dos categorías principales: sintéticos y naturales. Los tintes naturales, o pigmentos naturales, se derivan de raíces, tallos, hojas, flores, frutas, animales o minerales de colores naturales. Aunque tintes y pigmentos tienen propiedades distintas, los tintes son fundamentales para el sustrato textil, mientras que los pigmentos no. Los colorantes son principalmente orgánicos, a diferencia de los pigmentos que son inorgánicos y requieren un aglutinante para su aplicación. Los tintes sintéticos se obtienen del petróleo y el alquitrán de hulla, siendo muy usados por sus colores brillantes, estabilidad, conveniencia y bajo costo. Sin embargo, los tintes sintéticos presentan riesgos como reacciones alérgicas y tóxicas y no son completamente biodegradables, causando problemas ecológicos y de salud. Debido a las estrictas normas ambientales y la preocupación ecológica, se ha incrementado el interés en materias primas naturales. Las aguas residuales de tintes sintéticos pueden causar enfermedades y daños catastróficos al ecosistema marino si no se tratan adecuadamente. Los tintes naturales, aunque tienen una estabilidad y afinidad con las fibras textiles mediocres, son respetuosos con el medio ambiente y se están desarrollando métodos sostenibles y económicos para su extracción. Los tintes naturales también se utilizan en colorantes alimentarios, cosméticos, células solares, tinciones histológicas e indicadores de pH. Aunque existen muchos estudios sobre tintes naturales, pocos explican los procesos de extracción. Este estudio investigó la obtención y aplicación de tintes naturales en textiles, abarcando su clasificación, propiedades y procesos de extracción.

Phan et al., (2021), destacan que las frutas y verduras contienen moléculas colorantes que pueden ser una alternativa ecológica a los colorantes sintéticos en diversas aplicaciones. Una fuente sustentable de estos colorantes naturales podría ser la utilización subproductos de frutas y vegetales, aunque todavía se conoce poco sobre sus propiedades cualitativas y cuantitativas para este propósito. A pesar de sus ventajas que ofrece al medio ambiente, los tintes naturales tienen una estabilidad y compatibilidad insuficiente con las fibras textiles, lo que genera interrogantes sobre su factibilidad y el nivel de sostenibilidad necesario para superar estas dificultades.

Iqbal & Ansari (2021), indican que el teñido de textiles es un procedimiento para mejorar la apariencia de la fibra o tela mediante compuestos colorantes, los cuales pueden ser de origen sintéticos o naturales. India, con su rica variedad cultural y geográfica, ha empleado tradicionalmente colorantes naturales obtenidos de plantas y minerales locales

hasta la introducción de los colorantes químicos en 1856, lo que llevó a una disminución en la aplicación de colorantes naturales. Los inconvenientes de salud y ambientales relacionados con los colorantes sintéticos han despertado un creciente interés en la búsqueda de nuevas fuentes y métodos de tintado natural, impulsado por una mayor conciencia sobre la salud y el medio ambiente. Esto ha incrementado la demanda de ropa ecológica; sin embargo, la producción a menor escala no logra cubrir completamente esta necesidad. En este contexto, los colorantes naturales de origen alimentario, como el azafrán y la cúrcuma, están siendo preferidos frente a los colorantes químicos debido a los posibles riesgos que estos representan para la salud. Asimismo, en el campo de la histología se emplean colorantes naturales como la hematoxilina para el análisis de estructuras celulares, lo que resalta la importancia de investigar nuevas fuentes naturales como *Punica granatum*, *Curcuma longa*, *Syzygium cumini* y *Sorghum bicolor*.

2.2 MARCO TEORICO

2.2.1 Alpaca

Según lo que menciona Serrano & Vilcapaza (2023), la alpaca es un mamífero de la familia de los camélidos que se encuentra en América del Sur. Es altamente valorado por contar con una fibra de calidad superior, la cual es el unido producto que se aprovecha los beneficios que ofrece este animal. En la siguiente tabla que se presenta a continuación se reúne información sobre la taxonomía de la *Vicugna pacos* (Alpaca doméstica).

Tabla 1
Taxonómica de la Alpaca

| | |
|----------|----------------------|
| Reino | Animalia |
| Filo | Chordata |
| Subfilo | Vertebrata |
| Clase | Mammalia |
| Orden | Artiodactyla |
| Suborden | Tylopoda |
| Familia | Camélidos |
| Tribu | Lamini |
| Género | <i>Vicugna</i> |
| Especie | <i>Vicugna pacos</i> |

Nota. De, Genomic analysis of the domestication and post-Spanish conquest evolution of the llama and alpaca, por Fan et al., 2020

2.2.2 Fibra de alpaca

Según Serrano & Vilcapaza (2023) La fibra de alpaca es un tipo fibra animal que se obtienen de la alpaca, un camélido originario de los Andes. Su ventaja más destacada es su

amplia gama de colores naturales, lo que la convierte en una opción perfecta para artículos textiles de alta calidad.

Huamani (2024) esta de acuerdo en que la fibra de alpaca es altamente valorada por su suavidad y sus propiedades hipoalergénicas, especialmente para aquellas personas con piel sensible y delicada.

De acuerdo con Gürkan Ünal et al. (2019) las fibras de alpaca se derivan de la alpaca (*Lama pacos*), que forma parte de la familia de las llamas. Esta tiene una estructura ordenada que está formada principalmente por queratina, una proteína que cubre el cuerpo de la alpaca. Esta fibra puede originarse de dos razas: Huacaya y Suri, que muestran diferencias en su aspecto. Asimismo, la fibra está disponible en varios colores fundamentales como blanco, beige, marrón y negro, además de numerosos matices y combinaciones. (Pariona, 2017)

Las fibras naturales tienen una serie de ventajas y propiedades que permiten su amplia aplicación en la industria, la fibra se utiliza en el sector textil, la construcción, la medicina y en el deporte. (Jankowska et al. 2021)

El uso de fibras finas y lujosas, como la alpaca y la seda, en la producción de tejidos incrementa mucho más el valor del producto. Pero el costo de un tejido elaborado exclusivamente con alpaca o seda es bastante alto (Gürkan Ünal et al. 2019).

Clasificación

Según lo mencionado por Pariona. (2017) la clasificación de la fibra de alpaca, se toman en cuenta diversos factores importantes como: la raza del animal, la finura de la fibra, su color, longitud, suavidad y el grado de limpieza. Si esta clasificación no se lleva a cabo las fibras de diferentes longitudes y grosores se combinan, lo que incide en la calidad del producto final. Clasificar por la longitud permite orientar la fibra hacia procedimientos determinados: las fibras largas son empleadas en el peinado, mientras que las cortas se utilizan en el cardado.

La fibra de alpaca y sus propiedades.

La alpaca es el animal que produce fibra y además ofrece la mayor variedad de colores naturales, se han reconocido hasta 22 tonalidades diferentes, que abarcan desde el blanco puro hasta el negro intenso, incluyendo una amplia escala de marrones y grises en diferentes matices y combinaciones. (Cruz et al. 2021)

De acuerdo con Cruz et al. (2021) La fibra de alpaca exhibe una variedad extensa de colores naturales, siendo el blanco y el amarillo (fawn) los que se destacan por sus cualidades singulares. El color blanco es visto como el más adecuado para la fabricación de textiles, gracias a su suavidad y a que provoca menos irritación en la piel. Por otro lado, el color amarillo se categoriza en diferentes niveles de intensidad (LFX, LFY, LFZ). La creación de estos colores naturales es sostenible, dado que no necesita tintes

ni productos químicos, lo que coincide con la creciente necesidad de consumidores que están atentos al medio ambiente.

Color

La fibra de alpaca se caracteriza por una gran variedad de colores naturales que abarca desde el blanco hasta el negro, muestra la interacción compleja entre la genética de la especie, el entorno y la alimentación. Mediante una selección meticulosa, las alpacas han desarrollado la capacidad de producir fibras suaves, finas y de color blanco. No obstante, la estructura proteica de la fibra puede ocasionar un color amarillento bajo condiciones ambientales extremas y tratamientos químicos severos (Duffield et al., 2008).

Amarillez

El color amarillo de las fibras es el resultado de la presencia de diversos componentes químicos que se generan durante el crecimiento del animal, como pigmentos, grasa, sebo y productos de la descomposición de proteínas (Cardamone et al., 2004).

Blancura

La blancura en la fibra de alpaca es una característica única que indica la falta de color, manchas e impurezas en las fibras, lo que da como resultado un color uniforme y claro. Este rasgo es muy relevante en la industria textil, no solo debido a su efecto en la apariencia del material, sino también por su relación con el proceso de tintado. Las fibras más claras proporcionan una mayor flexibilidad para el uso de colorantes. (Duffield et al., 2008).

Índice de amarillez en fibras

El índice de amarillez (YI) es un parámetro que se utiliza para cuantificar la tendencia de una muestra a exhibir tonalidades amarillas en comparación con el blanco ideal. Se calcula conforme a las normas establecidas por la ASTM E313-20 “Standard Practice for Calculating Yellowness and Whiteness Indices from Instrumentally Measured Color Coordinates”, mediante una función de las coordenadas tristímulo X, Y y Z, determinadas por un colorímetro o espectrofotómetro de reflexión.

Un valor alto de YI indica una mayor saturación del color amarillo, mientras que valores bajos reflejan tonalidades más claras, verdosas o azuladas ASTM-E313-20, (2020). Un valor alto de YI indica una mayor saturación del color amarillo, mientras que valores bajos reflejan tonalidades más claras, verdosas o azuladas ASTM-E313-20, (2020). Este parámetro se emplea con bastante frecuencia para evaluar el material del papel, plástico y textil y así establecer la cantidad de color amarillo que están contienen.

Escala Cie Lab en fibras

La escala CIE Lab*, también conocida como espacio de color CIE 1976, es un modelo tridimensional desarrollado por la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) para describir el color percibido por el ojo humano ColorimetroDS-200 , (2024). Este espacio se compone de tres coordenadas:

L*: indica la luminosidad, con valores de 0 (negro) a 100 (blanco).

a*: representa la variación entre verde (valores negativos) y rojo (valores positivos).

b*: expresa la variación entre azul (valores negativos) y amarillo (valores positivos).

El sistema CIELab es ampliamente utilizado en la industria textil y agroindustrial para cuantificar colores de forma objetiva y reproducible mediante instrumentos colorimétricos (ASTM-E313-20, 2020)

Características estructurales de la fibra

De acuerdo con Saca (2023), la fibra de alpaca se compone en tres componentes principales:

- **Cutícula:** es la capa exterior de la fibra, que se dispone en una única dirección, dado que la fibra apunta hacia arriba. Esta característica provoca el afiltrimiento, que es el proceso mediante el cual las fibras se conectan a través del cierre que se produce en los bordes libres de estas células.
- **Corteza (cortex):** es la sección principal de la fibra, que consiste en células con forma de polígono, dispuestas de manera vertical y conectadas entre si por fibrillas longitudinalmente. Las fibrillas mencionadas pueden dividirse en partes más pequeñas que son visibles con un microscopio; a estas partes se les llama microfibrillas.
- **Medula:** forma la parte central de la fibra y es más evidente en fibras gruesas, aunque es poco visibles en las delgadas. Esto proviene del folículo piloso y hace referencia a un espacio longitudinal con una estructura indefinida que está semivaciado.

Por parte de Serrano & Vilcapaza (2023), señalan que la composición de la estructura de la fibra incluye:

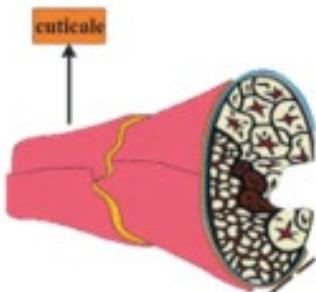
- **Cutícula:** La fibra se compone de células corticales internas y de células cuticulares externas, las cuales presentan una estructura organización compleja en capas.
- **Corteza y Médula:** Las células de la corteza representa un 90% de la fibra, por tan motivo tiene un alto nivel de resistencia y flexibilidad.

En contraste, la autora Huamani (2024) indica que la estructura de la fibra es de la siguiente forma:

- **Cutícula:** Detalla de manera específica acerca de las capas de la cutícula que son tres: (exocutícula, endocutícula y epicutícula) y su función en la defensa de la fibra.

- **Médula:** Indica que las fibras con médula completa tienen a ser más anchas y presentan una mayor resistencia al calor.

Figura 1
Estructura de la Fibra de Alpaca



Nota. De, “Advancements in Applications of Natural Wool Fiber” por Allafi et al., 2022.

Características químicas de la fibra de alpaca

Tapia (2023), menciona que las fibras proteicas que conforman la fibra de alpaca están compuestas principalmente por carbono, oxígeno, nitrógeno, hidrógeno y azufre. Estos elementos integran la queratina, proteína fundamental de las fibras animales. La queratina está formada por cadenas polipeptídicas unidas mediante enlaces salinos S-S y grupos terminales de aminoácidos dibási

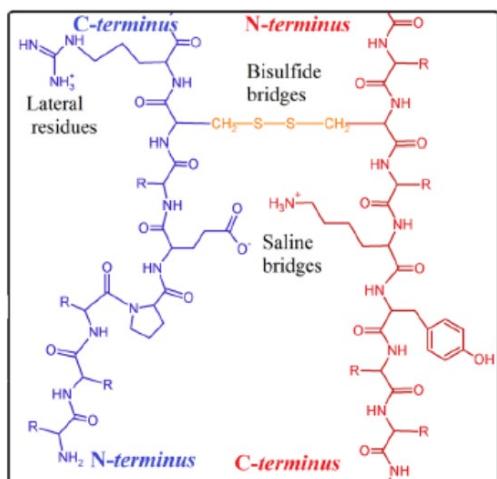
cos y dicarboxílicos, generados por la presencia de cistina. El elevado contenido de cistina en la queratina de las fibras camélidas confiere propiedades químicas y físicas particulares, como una mayor resistencia y estabilidad estructural. Camélidas.

Composición química de la lana

La fibra se compone de una proteína especial llamada queratina. Esta queratina posee una gran cantidad de aminoácidos, entre los que abarcan: glicina, alanina, serina, prolina, valina, treonina, cistina, leucina isométrica, ácido aspártico, metionina, histidina, hidroxilisina, fenilalanina, arginina, tirosina, ácido glutámico y triptófano. La presencia de estos 18 aminoácidos marca la diferencia entre la lana y las fibras sintéticas que normalmente se crean a partir de únicamente dos monómeros. Específicamente, el azufre encontrado en la cistina es crucial para la estructura de la fibra (Allafi et al., 2022).

Figura 2

Estructura química de la queratina



Nota. Las reacciones químicas que ocurren entre las cadenas de queratina, conocidas como protofibrillas, que son las responsables de la formación de la fibra. De Advancements in Applications of Natural Wool Fiber: Review. Journal of Natural Fibers, <https://doi.org/10.1080/1478615X.2022.2030001>), por Allafi et al., 2022.

2.2.3 Tratamiento de la fibra de alpaca

Escarmenado

El escarmenado constituye la primera etapa en el tratamiento de la fibra de alpaca y consiste en esponjar la fibra para que adquiera una textura más ligera y resulte más manejable en los procesos posteriores Chanjí, Peche, & Aucahuasi (2017). De acuerdo con (León & Bojorque (2021), este procedimiento permite abrir los mechones de fibra, eliminar impurezas y orientar las fibras en una misma dirección. Existen dos modalidades para realizarlo: de forma manual o con ayuda de maquinaria; sin embargo, en el escarmenado manual se utilizan cardas manuales, las cuales son paletas provistas de una superficie con púas o puntas metálicas, generalmente de 70 a 100 pulgadas (León & Bojorque, 2021).

Desengrasado de la fibra

De acuerdo con Czaplicki et al. (2014) El proceso de desgrasado de la lana tiene como objetivo eliminar las impurezas (como grasa y suciedad) y preparar la lana para su posterior procesamiento. En un entorno industrial, este procedimiento se lleva a cabo en un equipo que consta de ciento tanques (bañeras) dispuestos en una secuencia de procesamiento técnico, junto con un transportador o rastra para deslizar la lana a lo largo de las diversas fases del proceso.

Este proceso se concentra en eliminar las impurezas utilizando detergentes biodegradables, los cuales son menos dañinos para el medio ambiente. Al combinar estos detergentes con bicarbonato, se aumenta la efectividad en la limpieza, el blanqueo y la suavidad de la fibra. Joselyn (2024)

Blanqueamiento de la fibra

De acuerdo con Erdoğan et al. (2021) se describe el proceso de blanqueo como la acción de aclarar materiales textiles mediante la eliminación de su color natural. Estos procesos podrían conllevar la alteración o eliminación de conjuntos cromóforos en el material de base, de igual manera, la descomposición de cuerpos coloreados en fracciones más pequeñas y solubles que se pueden eliminar con mayor facilidad durante el proceso de blanqueamiento. Las metodologías para el blanqueo de las fibras de lana incluyen el uso de agentes reductores, agentes oxidantes y la integración de ambos tipos de agentes.

Teñido de la fibra

Serrano & Vilcapaza (2023) define que “El teñido de la fibra de alpaca es un procedimiento complicado por la estructura que presenta la fibra además de su composición. En donde se requiere el uso de colorantes correctos para preservar sus propiedades”.

Los Parámetros que se deben tomar en cuenta en el teñido según Serrano & Vilcapaza (2023), son los principales factores en el proceso de teñido y se describe a continuación:

- **pH y Temperatura:** Los colorantes se utilizan a temperaturas controladas y moderadas para evitar la degradación de la fibra, y el pH alcalino debe mantenerse controlado para evitar que la queratina se dañe.
- **Tiempo de Exposición:** Se debe controlar con atención dado que una exposición prolongada puede influir en la resistencia y la elasticidad de la fibra.

Por otro lado la autora Huamani (2024), enfatiza que la afinidad de la fibra con el colorante como un parámetro determinante, señalando que la estructura de la fibra influye directamente en la adherencia del color. En particular, las fibras más finas, como las de Baby Alpaca, presentan una mayor capacidad de absorción y fijación del tinte, logrando tonalidades más intensas y uniformes. Colorantes Naturales en la industria Textil

2.2.4 Extractos vegetales

Son sustancias obtenidas mediante la separación de compuestos bioactivos de plantas utilizando diferentes métodos, optimizados según las propiedades de los compuestos y la calidad deseada. Estos extractos se aplican en industrias como la farmacéutica, cosmética y alimentaria, contribuyendo a la innovación y el desarrollo sostenible (Kowalczewski et al., 2023).

Hoja de Tomate Riñón

Las hojas del tomate riñón son de tipo compuesto e imparipinnado, con foliolos lobulados y bordes dentados, y presentan tricomas glandulares que liberan compuestos aromáticos y bioactivos. Esta estructura favorece la obtención de pigmentos y otros compuestos útiles para el teñido natural de fibras, como la lana, en la industria textil (Mendez, 2020).

Desde el punto de vista químico, estas hojas están compuestas principalmente agua, proteínas, carbohidratos y minerales, sin embargo componentes más relevantes para el proceso de teñido son los compuestos bioactivos:

- Carotenoides: Proporcionan tonos amarillos a anaranjados, influyendo en el color del extracto.
- Clorofilas: Son las responsables del color verde intenso, perfectas para teñir lana y demás fibras proteicas.
- Flavonoides y ácidos fenólicos: además de influir en el color, tienen propiedades antioxidantes, lo que contribuye a aumentar la estabilidad del tono frente a lavados y exposición a la luz (Lopez, 2021).

Asimismo, la presencia de minerales como calcio y potasio puede favorecer la fijación del color en las fibras, especialmente si se emplean mordientes como el alumbre, aumentando la intensidad y durabilidad del verde obtenido. Por estas razones, las hojas de tomate riñón representan una fuente natural valiosa de pigmentos verdes para la industria textil, permitiendo obtener tonos verdes de diversa intensidad mediante extracciones acuosas o con solventes suaves, conservando propiedades antioxidantes y respetando criterios ecológicos en el producto final. (Torres, 2012)

Figura 3

Hoja de Tomate Riñón



Nota. De, Cultivo del Tomate riñón en Invernadero, por Caguana et al., 2003

Flor de Diente de León

Las flores de *Taraxacum officinale* son ampliamente reconocidas por su color amarillo brillante y por contener compuestos bioactivos que pueden ser utilizados en el teñido natural de fibras como la lana. Estos compuestos incluyen principalmente carotenoides, flavonoides y ácidos fenólicos, los cuales no solo aportan color sino también propiedades antioxidantes que favorecen la estabilidad del tinte.

- Carotenoides: Las flores contienen carotenoides, como luteína y beta-caroteno, responsables del color amarillo intenso. Estos compuestos también poseen actividad antioxidante, lo que contribuye a la durabilidad del color en las fibras teñidas (M. Fan et al., 2023)

- Flavonoides: Entre los flavonoides presentes se encuentran quercetina, luteolina y apigenina, los cuales refuerzan el color y ofrecen protección antioxidante frente a la exposición a la luz y lavados repetidos Lis et al., (2020); Y. Wang et al., (2024).
- Ácidos fenólicos: Las flores contienen ácido clorogénico y ácido cafeico, que también actúan como antioxidantes y contribuyen a la intensidad y estabilidad del color durante el teñido (Yousefzadeh Valendeh et al., 2023).
- Minerales: Elementos como calcio y potasio presentes en las flores pueden favorecer la fijación del color sobre fibras proteicas, especialmente cuando se utilizan mordientes como el alumbre, aumentando la intensidad y durabilidad del tono obtenido (M. Fan et al., 2023)

Por estas razones, las flores de diente de león constituyen una fuente natural prometedora de pigmentos amarillos y compuestos bioactivos para la industria textil, permitiendo obtener tonos amarillos estables y ecológicos en lana mediante técnicas de extracción acuosa o con solventes suaves.

Figura 4
Flor de Diente de León



Nota. De Diente de León, por Weber, 2000

2.2.5 Maceración

La maceración es uno de los métodos más empleados para la extracción de pigmentos naturales presentes en matrices vegetales debido a su simplicidad, bajo costo y capacidad para preservar la estructura química de los compuestos sensibles al calor. Este proceso consiste en poner en contacto el material vegetal previamente seco y triturado con un solvente adecuado (como metanol, etanol o agua) durante un tiempo determinado, permitiendo la difusión de los compuestos solubles desde las células del tejido hacia el solvente (Sasidharan et al., 2011). La maceración es un método tradicional de extracción sólido-líquido ampliamente empleado para obtener pigmentos y compuestos bioactivos presentes en matrices vegetales debido a su simplicidad, bajo costo y a la capacidad que tiene este método para preservar estructuras químicas sensibles al calor Sasidharan et al., (2011). El proceso se basa en la difusión pasiva de los metabolitos desde el interior de las células vegetales hacia el solvente, generada por un gradiente de concentración que impulsa el movimiento de los compuestos solubles desde la matriz vegetal hacia la fase líquida.

Cuando el material vegetal seco y triturado entra en contacto con el solvente, se produce la penetración del líquido en los tejidos, lo que hidrata la matriz y facilita la ruptura

de estructuras celulares debilitadas por el secado. Esto permite la liberación progresiva de pigmentos como flavonoides, carotenoides y clorofilas, los cuales se transfieren mediante mecanismos de lixiviación, desorción y difusión interna Sasidharan et al., (2011).

La eficiencia de la maceración se basa en varios elementos esenciales:

Tipo de solvente: Los solventes polares, como metanol y etanol, poseen una notable capacidad para solvolver compuestos polares y semipolares, por lo que facilita una extracción eficiente de pigmentos naturales. Según Rodriguez-Amaya, (2019), la selección del disolvente es fundamental para la solubilidad y estabilidad de los pigmentos extraídos. Esto es especialmente cierto para los carotenoides y las clorofilas, los cuales pueden descomponerse con facilidad si el disolvente es inadecuado.

Interacción entre líquido y sólido: Un valor elevado propicia un marcado diferencial de concentración entre el disolvente y la planta, lo que agiliza la transferencia de masa. Si los calores son más bajos, se puede haber una sobresaturación del disolvente, lo que dificulta la extracción total de los pigmentos.

Temperatura: Aunque la maceración generalmente se realiza a temperatura ambiente para prevenir la degradación de compuestos sensibles al calor, pequeños aumentos en la temperatura pueden favorecer la velocidad de difusión. No obstante, altas temperaturas pueden causar la oxidación o desnaturalización de pigmentos tales como la clorofila y los carotenoides (Rodriguez-Amaya, 2019).

Tamaño de las partícula: Cuando la molienda es más fina, la superficie de contacto entre el solvente y el material vegetal aumenta, lo cual favorece que los compuestos se liberen. No obstante, un exceso en la pulverización podría dar lugar a la liberación de sustancias indeseables, tales como taninos u otros metabolitos que afectan la estabilidad del extracto.

Tiempo de contacto: La extracción aumenta con el tiempo hasta alcanzar un equilibrio entre la concentración de pigmentos en la planta y el solvente. Extensiones innecesarias pueden favorecer la oxidación de los compuestos o la pérdida de actividad antioxidante (Sasidharan et al., 2011).

Figura 5
Maceración



Nota. De, Taller de Alseide, por Taller de Alseide, 2025

2.2.6 Proceso de la tintura

El proceso de tintura consiste en la transferencia, absorción y fijación de los pigmentos naturales hacia la fibra textil, y depende de fenómenos físico-químicos que ocurren entre el colorante, el solvente y la estructura de la fibra. La tintura inicia cuando las fibras de alpaca previamente lavadas y mordentadas se introducen en el baño de colorante, generando la difusión de los compuestos presentes en el extracto como flavonoides, carotenoides y clorofilas desde la solución hacia el interior de la fibra (Bechtold & Mussak, 2009).

Este procedimiento se lleva a cabo en tres fases esenciales:

La adherencia del colorante en la superficie de la fibra:

Inicialmente, los colorantes naturales se fijan a la parte externa de la fibra mediante débiles atracciones físicas, como enlaces de hidrógeno y fuerzas de Van der Waals. Este suceso está condicionado por la afinidad inicial que existe entre el colorante y los grupos funcionales de la fibra proteica.

Difusión hacia el interior de la fibra: Una vez adsorbidos, los pigmentos difunden hacia el interior de la fibra de alpaca, la cual está compuesta principalmente por queratina. La fibra presenta microcanales y regiones amorfas donde los pigmentos pueden desplazarse y alojarse. La difusión está influenciada por la temperatura, el pH del baño y el tamaño molecular del pigmento (Samanta & Agarwal, 2009).

Fijación permanente del color: La fijación se logra cuando los pigmentos establecen interacciones químicas más estables con la fibra, las cuales pueden incluir enlaces iónicos, enlaces coordinados y complejos metal-pigmento. En esta etapa el papel del mordiente es fundamental.

Factores que influyen en la tintura

El logro de la tintura se basa en factores fisicoquímicos que afectan la relación entre pigmentos y la fibra:

- pH del baño: ayuda a determinar la ionización de los grupos funcionales de la fibra y del pigmento en la fibra.
- Temperatura: aumenta el movimiento de las moléculas y facilita la absorción del tinte, pero temperaturas muy altas pueden dañar los carotenoides y las clorofilas. (Rodríguez-Amaya, 2019).
- Tiempo de tintura: un tiempo adecuado y controlado ayuda a que el pigmento se adsorba y fije correctamente y de manera uniforme.
- Concentración del colorante: este parámetro afecta a la intensidad del color y el grado de saturación.

Durante la tintura con extractos naturales, la estabilidad del pigmento en el solvente es un factor importante, ya que los compuestos naturales pueden degradarse por oxidación, exposición a la luz o varios cambios de pH si no se lleva a control adecuadamente (Rodríguez-Amaya, 2019).

2.2.7 Mordientes que se utilizan en el teñido de la fibra textil

Los mordientes son sustancias que permiten mejorar la fijación, afinidad y durabilidad de los pigmentos naturales sobre las fibras textiles, actuando como puentes químicos entre el colorante y los grupos funcionales de la fibra. Su presencia es fundamental en el teñido con colorantes naturales, ya que aumenta la solidez del color frente al lavado, la luz y la fricción (Haji, 2019).

Alumbre ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$)

El alumbre es uno de los mordientes más utilizados en tintorería natural debido a su alta eficacia, disponibilidad y compatibilidad con fibras proteicas como la alpaca. El alumbre contiene aluminio trivalente (Al^{3+}), un ion metálico con gran capacidad de formar complejos coordinados con los pigmentos naturales. Durante el mordentado, el aluminio se une primero a los grupos funcionales de la fibra principalmente grupos hidroxilo (-OH), amino (-NH₂) y carbonilo (-C=O) presentes en la queratina, y posteriormente al pigmento, formando un complejo estable conocido como metal–pigmento–fibra (Bechtold & Mussak, 2009). Este complejo incrementa la afinidad del colorante por la fibra y mejora notablemente la solidez del color. Además, el alumbre suele proporcionar tonos más brillantes y estables, particularmente cuando se utiliza con pigmentos fenólicos como flavonoides (Haji, 2019).

Sulfato de potasio (K_2SO_4)

El sulfato de potasio se utiliza como un agente de fijación o aditivo en la tintura natural debido a su habilidad para alterar la conductividad y la reactividad del medio de teñido. Este compuesto desempeña un papel importante como sal auxiliar, y de esta manera ayuda en la regulación de la absorción y fijación del color y a que el pigmento entre en la estructura de las fibras de manera más efectiva. El ion de potasio (K^+) ayuda a reducir la repulsión electrostática entre el colorante y las fibras, lo que permite que los colorantes se adhieran y se distribuyan uniformemente dentro de la fibra (Samanta & Agarwal, 2009). Asimismo, el sulfato de potasio puede alterar el pH de los extractos obtenidos y la fuerza iónica del baño de tintura, lo que afecta de manera directa la hue de final y la durabilidad del pigmento durante el proceso para ello se debe estandarizar con ácido acético para llegar a un pH adecuado de teñido.

2.2.8 Rol del mordentado en la fijación del color

El mordentado, se realiza convencionalmente en la industria con alumbre ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), y de esta manera se incrementa significativamente la afinidad entre el pigmento y la fibra para una mejor anherencia del color. Según Haji (2019), el aluminio presente en el alumbre actúa como un agente de enlace, formando complejos metal–pigmento que se unen a los grupos funcionales de la fibra de alpaca, especialmente grupos hidroxilo (-OH), amino (-NH₂) y carbonilo (-C=O) presentes en la proteína de queratina. Este sistema crea configuraciones duraderas que evitan que el colorante se suelte durante el lavado, la luz o el uso continuo. Igualmente, los mordientes pueden alterar la tonalidad del colorante, aumentando o cambiando el color final según el metal que se aplique (Haji, 2019).

CAPÍTULO III. METODOLOGIA.

3.1 Tipo de Investigación.

Esta investigación utilizó un método cuantitativo, basado en la recopilación y análisis sistemático de datos numéricos que permitieron una evaluación objetiva de las variables presentes en el procedimiento de teñido textil. En esta ocasión, se examinó el impacto de los colorantes naturales extraídos de la hoja de tomate riñón (*Solanum lycopersicum L.*) y de la flor de diente de león (*Taraxacum officinale*) en fibras de alpaca, utilizando mordientes como el alumbre [$KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$] y sulfato de potasio (K_2SO_4), con la finalidad de estudiar su comportamiento borroso y la fijación del color. De igual manera, la investigación fue de tipo experimental, dado que se alteraron variables independientes —como los pigmentos utilizados y los mordientes empleados— para analizar sus efectos en variables dependientes, tales como la intensidad, consistencia y fijación del color en la fibra.

La identificación de conexiones entre elementos como el colorante y la calidad del teñido fue posible gracias al enfoque cuantitativo. Al analizar componentes como el pH del líquido. El color intenso, la uniformidad del tinte y el hecho de que el pigmento se adhiera a la fibra. Se emplearon métodos estandarizados de observación, análisis visual y captura fotográfica para estudiar las propiedades asegurando así que los resultados del experimento fueran confiables.

3.2 Diseño de la Investigación

El diseño de la presente investigación fue de tipo experimental, pues se manipularon variables en condiciones controladas para analizar los impactos en la conducta tintórea de los pigmentos naturales aplicados a la fibra de alpaca. Este método posibilitó el estudio de como la variedad de planta (flor de diente de león y hoja de tomate riñón) y la clase de mordiente (sulfato de potasio y alumbre) afectan la fijación e intensidad del color.

Se establecieron dos variables independientes:

- **Pigmento vegetal:** flor de diente de león (*Taraxacum officinale*) y hoja de tomate riñón (*Solanum lycopersicum L.*)
- **Mordientes:** sulfato de potasio (K_2SO_4), y alumbre ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$), los dos mordientes fueron aplicados en un porcentaje del 25% con respecto al peso de la fibra.

A partir de estas combinaciones se definieron cuatro tratamientos experimentales, los cuales fueron aplicados en tres producciones independientes, con tres repeticiones por tratamiento en cada una, utilizando 2 gramos de fibra de alpaca por repetición, para asegurar la confiabilidad de los resultados obtenidos.

El análisis estadístico se desarrolló teniendo en cuenta el tipo solvente y procesándose los datos obtenidos con software Statgraphics Centurion XVIII. Se efectuó un análisis de

varianza (ANOVA) para identificar diferencias significativas entre los tratamientos. Luego, se aplicó la prueba de Tukey ($p < 0,05$) para la comparación de promedios, y la prueba t de Student para hacer comparaciones específicas entre grupos, con el objetivo de confirmar la relevancia estadística de los resultados obtenidos.

Tabla 2.

Tratamientos

| Tratamiento | Pigmento | Mordiente | Nº de Rept |
|-------------|------------------------|--------------------|------------|
| T1 | Hoja de Tomate Riñón | Alumbre | 3 |
| T2 | Hoja de Tomate Riñón | Sulfato de Potasio | 3 |
| T3 | Flor de Diente de León | Alumbre | 3 |
| T4 | Flor de Diente de León | Sulfato de Potasio | 3 |

Variables de estudio

Las variables de la investigación se definieron con el propósito de establecer relaciones entre las condiciones de extracción, el tipo de pigmento y el comportamiento tintóreo sobre la fibra de alpaca.

Variables independientes

- **Tipo de solvente:** metanol y etanol.
- **Tipo de pigmento:** hoja de tomate riñón (*Solanum lycopersicum L.*) y flor de diente de león (*Taraxacum officinale*).
- **Tipo de mordiente:** sulfato de potasio (K_2SO_4) y alumbre [$KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$]

Variables dependientes

Absorción de luz por espectrofotometría

- Absorbancia - unidades de absorbancia (UA)
- Transmitancia %.

Parámetros colorimétricos en la escala CIELab midiendo L^* , a^* , b^* , índice de amarillez (YI) y morfología de la fibra (observación que se realizaron mediante microscopía electrónica de barrido, SEM).

Variables controladas

Tabla 3.

Variables Controladas

| Variable controlada | Descripción técnica | Condición establecida |
|--|---|---|
| Temperatura de extracción, Mordentado, teñido, lavado | Control de la temperatura en cada fase del proceso (extracción, mordentado, teñido y lavados) para evitar la degradación de pigmentos, desgaste de color y asegurar uniformidad en el teñido. | Secado: 60 °C secado de flores y hojas. Extracción: Temperatura del medio ambiente Mordentado: 60 °C. Teñido: Entre 35 °C a 80 °C. Lavado: 35 °C. Maceración: 30 días. Desengrasado: 20 minutos. |
| Tiempo de proceso | Duración similar de cada ensayo para asegurar la estabilidad y conservación de los colorantes. | Blanqueado: 20 minutos Mordentado: 60 minutos Teñido: 60 minutos Lavado: 15 minutos en cada ciclo. Solvente: metanol al 80%. Etanol 94% |
| Concentración de reactivos (solvente, mordiente, pigmento) | Controlar el número y la calidad de los reactivos utilizados para evitar interacciones químicas y garantizar una extracción eficiente. | Mordientes: sulfato de potasio y alumbre, porcentaje del 25 % en relación con el peso de la fibra. Relación pigmento/solvente: 1:50 (20 g/1000 ml). |
| Proporción fibra: baño de teñido | Una relación permanente entre la masa de la fibra y el volumen total del baño, a fin de que la exposición, fijación y absorción del tinte sean apropiadas. | 1:300 (2 g de fibra / 600 ml de baño de teñido). |
| Condiciones de secado | Control de la temperatura ambiente para evitar la degradación y alteración del color obtenido. | Secado a T° ambiente, sin exposición directa al sol. |

3.2.1 Materiales y Equipos

En la Tabla 4 se muestra los insumos y materiales para la extracción de los pigmentos naturales, desengrasado, blanqueamiento, mordentado, teñido y lavado de la fibra de alpaca.

Tabla 4.*Insumos y materiales utilizados en el trabajo de investigación*

| Insumos | Materiales |
|---|--|
| Vellón de fibra de alpaca (<i>Vicugna pacos</i>) | Vasos de precipitado (diversos volúmenes) |
| Hojas de tomate riñón (<i>Solanum lycopersicum L.</i>) | Balones de aforo (diversos volúmenes) |
| Flores de diente de león (<i>Taraxacum officinale</i>) | Vidrios de reloj |
| | Termómetros |
| | Espátulas de acero inoxidable |
| | Pinzas de acero inoxidable |

En la Tabla 5 se observa los equipos utilizados con su respectivo modelo, que se han utilizado durante el transcurso de la investigación

Tabla 5.*Equipos utilizados en el trabajo de investigación*

| Equipo | Modelo / Marca |
|--|-----------------------|
| Balanza analítica | MKLAB |
| Baño María | |
| Colorímetro | DS-200 Series |
| Horno deshidratador | |
| Cocina eléctrica | Tekno |
| Microscopio electrónico de barrido (SEM) | TESCAN |
| pH metro | HACH sension3 |
| Espectrofotómetro UV–Vis | UNICO |

Condiciones ambientales del laboratorio

- **Temperatura promedio:** 22 ± 2 °C
- **Humedad relativa:** 60 ± 5 %

- **Condiciones de almacenamiento:** muestras conservadas en frascos de vidrio ámbar, en lugar seco y ventilado, protegidas de la luz solar directa.

Características de la materia prima

- Flor de diente de león (*Taraxacum officinale*): Fueron recolectadas en plena floración, en horarios de mañana (08:00–10:00), a una temperatura media de 20–22 °C y una humedad relativa aprox del 65 %.
- Hoja de tomate riñón (*Solanum lycopersicum L.*): obtenidas posteriormente a la primera cosecha del fruto, cuando las plantas alcanzaron su fase de madurez vegetativa, bajo condiciones climáticas templadas con temperaturas promedio de 18–20 °C.
- Las muestras fueron limpiadas manualmente para eliminar impurezas, deshidratadas en deshidratador, y posteriormente trituradas y almacenadas en frascos de vidrio ámbar con metanol para su proceso de maceración, en lugar seco y ventilado, protegidas de la luz solar directa.

3.2.2 Procedimientos

Recolección de materia prima y extracción de pigmentos

La recolección de la materia prima se realizó de forma manual, seleccionando hojas frescas de tomate riñón (*Solanum lycopersicum L.*) y flores de diente de león (*Taraxacum officinale*) en áreas específicas donde las plantas se encontraban en condiciones óptimas para preservar la calidad de los pigmentos naturales. Las hojas de tomate riñón fueron recolectadas en la comunidad de Guaslán Grande, parroquia San Luis, cantón Riobamba, durante la etapa vegetativa madura, cuando presentaban color verde intenso y alto contenido de clorofillas. Las flores de diente de león se recolectaron en la comunidad de Llío, parroquia San Andrés, cantón Guano, en fase de plena floración, antes de que iniciara la maduración que origina el vilano o “pelusa blanca”, momento en el cual los carotenoides comienzan a degradarse.

La recolección de la materia prima se realizó de forma manual, seleccionando hojas frescas de tomate riñón (*Solanum lycopersicum L.*) y flores de diente de león (*Taraxacum officinale*) en óptimas condiciones para garantizar la calidad de los pigmentos naturales. Se recolectó 1 kg de material vegetal fresco para cada especie, cantidad suficiente para preparar los extractos requeridos con una relación planta: solvente de 1:50. Este material se empleó en las extracciones con metanol y etanol, utilizando 20 g por muestra para asegurar la comparabilidad entre solventes. Posteriormente, el material recolectado fue secado en un deshidratador a 60 °C durante 2 horas, con el fin de preservar los compuestos pigmentarios y evitar su degradación.

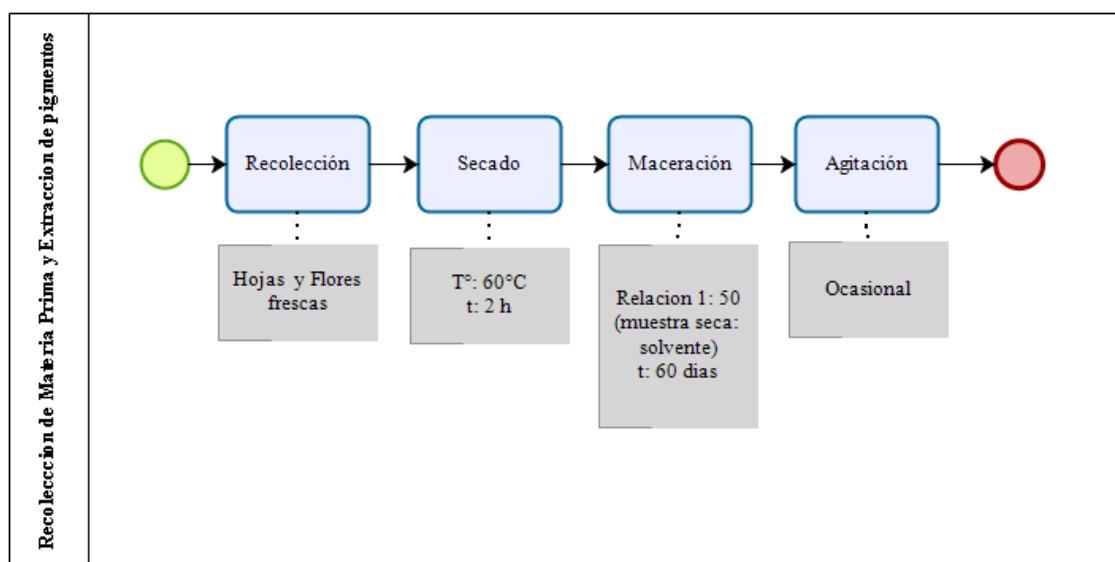
Para evitar la descomposición del material vegetal y conservar los compuestos pigmentarios, a las muestras se realizó un proceso de secado a 60 °C durante 2 horas en un horno - deshidratador. Posteriormente, se realizó la maceración en frío con metanol al 80 %,

empleando una proporción de 1:50 (masa de muestra seca/volumen de solvente), equivalente a 20 g de muestra seca por 1000 mL de metanol. Las muestras fueron colocadas en frascos de vidrio ámbar, manteniéndolas en ambientes oscuros durante 30 días, con agitación ocasional para extraer el pigmento.

Este procedimiento fue adaptado a partir de las metodologías descritas por Sasidharan et al., (2011) y Phan et al, (2021), quienes destacan la eficacia de la maceración en frío con solventes orgánicos polares para preservar la integridad de pigmentos naturales sensibles al calor

Figura 6

Diagrama de Flujo de la Recolección de MP & extracción de pigmentos



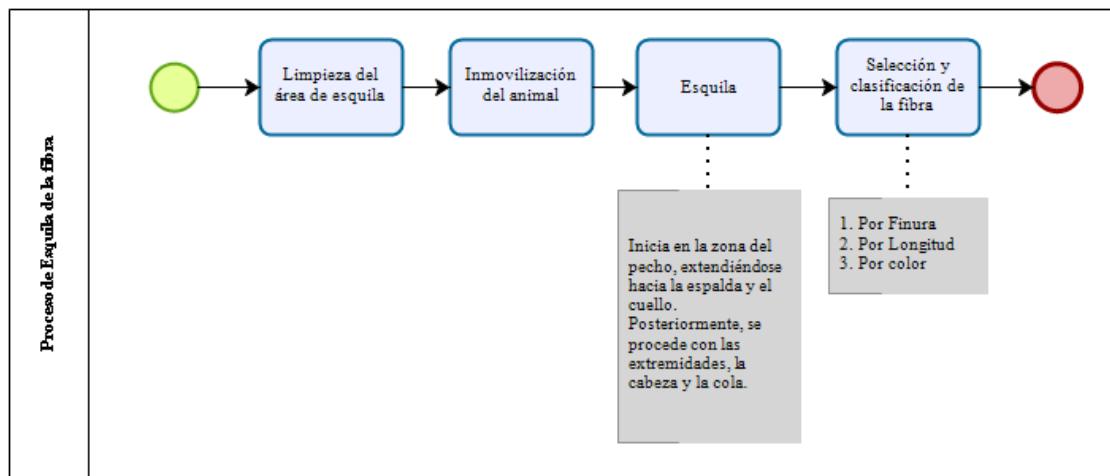
Obtención y clasificación de la fibra

La calificación del vellón se basó en su composición de cualidades superiores e inferiores, longitud de mecha y color. Este proceso fue llevado a cabo de forma manual por personal calificado, a través de inspección visión y táctil. (INDECOPI, 2014)

Según (Aguilar calla, 2012) la esquila se realiza como en la figura 7.

Figura 7

Diagrama de Flujo de la Obtención y Clasificación de la Lana



1. Limpieza del área donde se va a esquilar
2. Inmovilización del animal
3. Esquila (El proceso de esquila inicia en la zona del pecho, extendiéndose hacia la espalda y el cuello. Posteriormente, se procede con las extremidades, la cabeza y la cola.)
4. Selección y clasificación de la fibra

Preparación de la fibra de alpaca

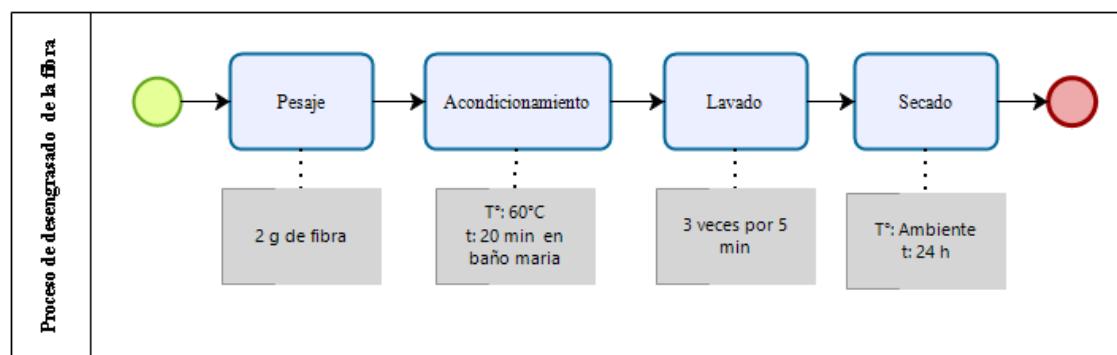
Para cada tratamiento experimental se utilizaron 2 gramos de fibra de alpaca. La preparación de la fibra se realizó en varias etapas con el fin de garantizar una adecuada absorción del pigmento y mejorar la calidad del teñido. Primero, se llevó a cabo el escarmenado manual, con el objetivo de eliminar las impurezas visibles presentes en el vellón de la fibra.

Desengrasado de la fibra

Se procedió al desengrasado el cual se basó en el método de desengrasarse se basó en el artículo desarrollado por Bouagga et al. (2022) en el artículo **“Effect of Mordant Bleaching on the Optical and Mechanical Properties of Black Tunisian Wool and Optimization of the Bleaching Process”** en donde se basó el proceso descrito en la figura 8. Para este proceso se utilizó 0,20 gramos de carbonato de sodio disuelto en agua a una temperatura de 60 °C, durante 20 minutos. Este proceso permitió remover residuos grasos y suciedad superficial. Finalizado el desengrasado, la fibra fue enjuagada cuidadosamente con agua tibia por 3 veces por 5 min para eliminar cualquier residuo del agente químico.

Figura 8.

Diagrama de Flujo del Desengrase Fibra de Alpaca



Blanqueamiento de la fibra

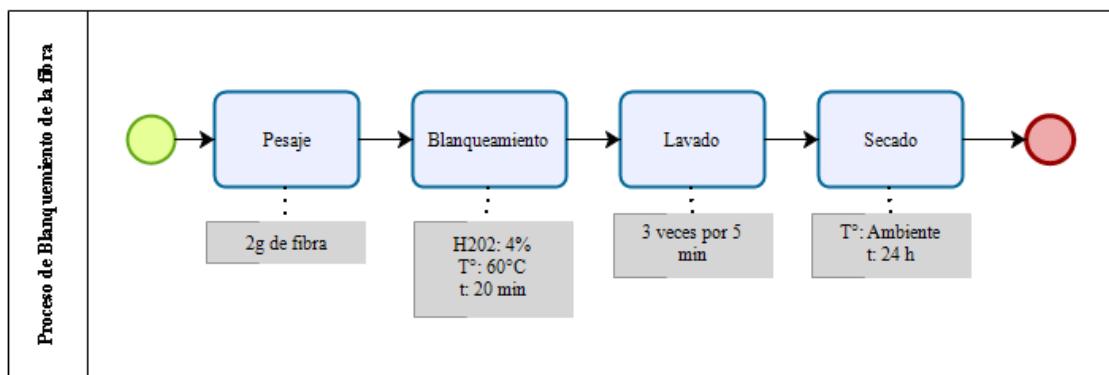
El proceso de formulación de baños para el blanqueamiento se fundamento en el artículo realizado por Arildii et al. (2022) “**OPTIMIZATION OF MORDANT BLEACHING OF YAK WOOL WITH HYDROGEN PEROXIDE AT LOW TEMPERATURE**”

El método de formulación de baños de blanqueamiento de la fibra se realizó con el propósito de uniformizar el tono base y mejorar la fijación del colorante. Para ello, se utilizó peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 4%, acompañado de 1 gramo de pirofosfato como estabilizante, en relación con los 2 gramos de fibra utilizados. Este tratamiento también se realizó a 60 °C durante 20 minutos, y al finalizar se procedió a un enjuague final con agua tibia y se dejó secar a temperatura ambiente, sin exposición directa al sol, en donde se siguió el proceso descrito en la figura 10.

Este procedimiento contribuyó a la obtención de una fibra uniforme, pura y adecuada para el proceso de mordentado y tintura, garantizando que el pigmento se fijara mejor en la estructura textil.

Figura 9.

Diagrama de Flujo del Blanqueamiento de la Fibra



Mordentado de la fibra

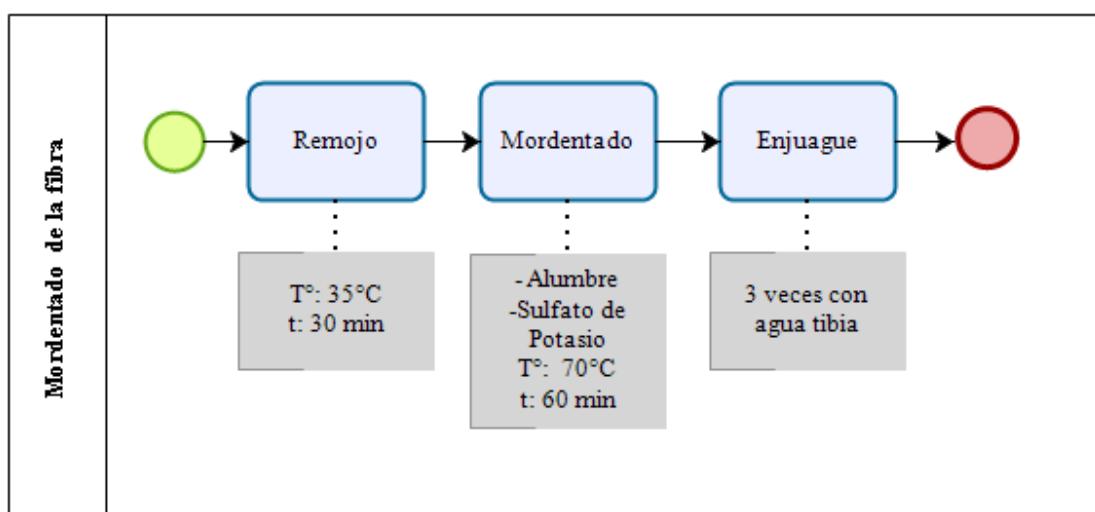
El proceso de mordentado se llevó a cabo utilizando alumbre ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) y sulfato de potasio (K_2SO_4) como mordientes, en función del tratamiento correspondiente. La concentración utilizada fue del 25% en relación con el peso de la fibra, lo que equivalió a 0,5 gramos de mordiente por cada 2 gramos de fibra de alpaca.

Este porcentaje se determinó en base a estudios previos de optimización del mordentado en fibras proteicas, los cuales establecen que concentraciones comprendidas entre 20 % y 30 % del peso de la fibra permiten una adecuada fijación del colorante natural sin alterar la estructura proteica de la queratina. En particular, (Menegazzo et al., 2020) y Kamel et al., (2011) reportaron que el uso de alumbre en concentraciones del 25 % favorece la formación de puentes metálicos estables entre el colorante y los grupos funcionales de la fibra ($-COOH$ y $-NH_2$), logrando colores más intensos y resistentes al lavado.

El mordentado se realizó a una temperatura de 70 °C durante 60 minutos, para que los mordientes se fijaran a la fibra y facilitaran posteriormente la fijación del pigmento vegetal. Una vez que el tiempo pasó, las fibras fueron enjuagadas con agua tibia a 35°C para eliminar el exceso de mordiente.

Figura 10

Diagrama de Flujo del Mordentado de la Fibra



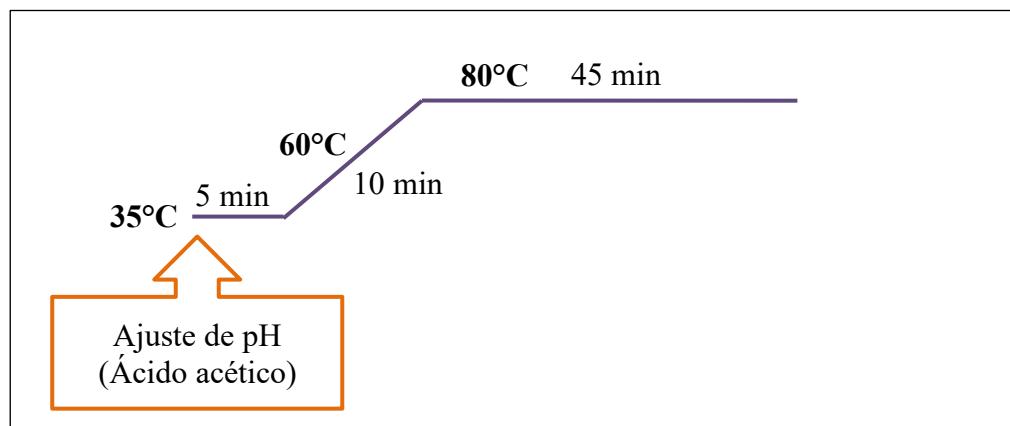
Teñido de la Fibra

La figura 11 muestra la curva de temperatura utilizada durante el teñido, iniciando a 35 °C, punto en el cual se efectuó el ajuste de pH con ácido acético. Posteriormente, la temperatura se incrementó progresivamente hasta 60 °C durante 10 minutos, y finalmente se alcanzaron 80 °C, que se mantuvieron durante 45 minutos. Este tratamiento térmico permitió una fijación gradual y uniforme del pigmento natural sobre la fibra.

Posteriormente, la temperatura se elevó progresivamente hasta 60 °C durante 10 minutos y finalmente se llegó a una temperatura de 80 °C, los cuales se mantuvieron durante 45 minutos. Este proceso de teñido se realizó en un baño María con control de temperatura, utilizando vasos de precipitación en donde se colocó la fibra mordentada junto con el extracto colorante. Esto permitió regular de manera precisa el calentamiento del sistema y ayudo a una fijación gradual y uniforme del pigmento natural sobre la fibra.

Figura 11

Curva de temperatura y tiempo del proceso de teñido con extractos de Solanum lycopersicum L. y Taraxacum officinale



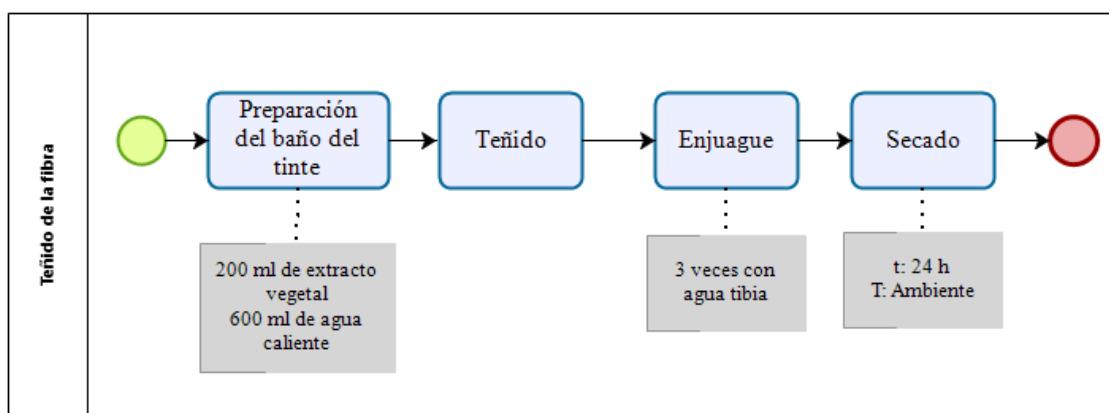
El proceso de teñido se llevó a cabo con una combinación de 200 ml del extracto vegetal, que fue obtenido anteriormente por la maceración del metanol al 80% y 400 ml de agua caliente a 80°C, manteniendo una relación entre el extracto y el agua 1:2. Esta mezcla fue elaborada inmediatamente antes de teñir para empapar la fibra de alpaca que había sido mordentada previamente.

Cabe señalar que, debido a que el extracto fue elaborado con metanol (punto de ebullición de 64,7 °C), durante el proceso se produjo una evaporación parcial controlada del solvente. Para evitar pérdidas significativas del extracto y conservar la concentración de los pigmentos, el teñido se realizó siguiendo el protocolo adaptado de (Kamel et al., 2005) y Eyupoglu et al., (2024), que recomiendan mantener el sistema parcialmente cubierto con tapa de vidrio o papel aluminio durante la etapa de calentamiento, permitiendo la salida mínima de vapor pero evitando condensación directa sobre la muestra.

De este modo, el procedimiento se realizó mayormente en un líquido acuoso sobrante, donde, los colores que se habían extraído antes se quedaron disueltos o en dispersión lo que ayudó a que se unieran y fijasen en la fibra de alpaca. Esta técnica asegura que se mantengan los compuestos de color y previenen la pérdida excesiva del solvente asegurando la estabilidad del color obtenido.

Figura 12

Diagrama de Flujo del Teñido de la fibra



Lavado de la Fibra

El lavado de la fibra se realizó con el objetivo de eliminar el exceso de pigmento no fijado y contribuir a la estabilidad del color.

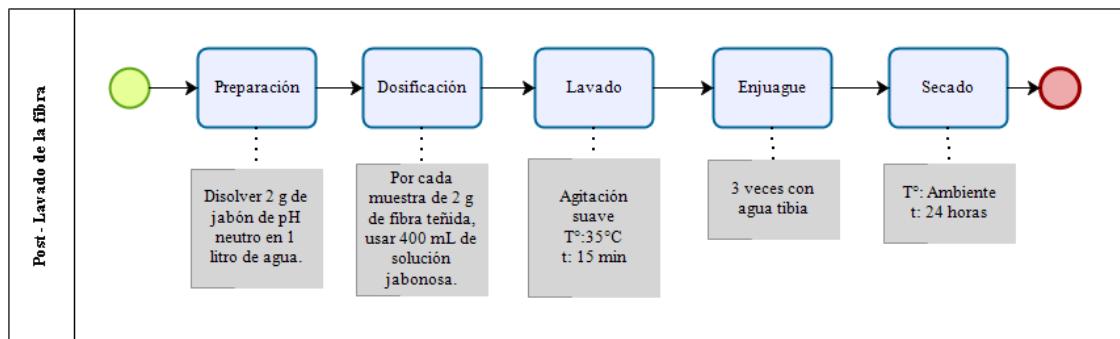
Para ello, se hizo una solución de jabón con pH neutro, en la que se mezclaron 2 gramos de jabón con 1 litro de agua. Se emplearon 400 mililitros de esta solución elaborada para cada muestra de fibra teñida que pesaba 2 gramos. Las fibras se sumergieron totalmente y se mantuvieron en agitación suave durante 15 minutos a 35°C, garantizando así un lavado eficaz y uniforme,

Este procedimiento se realizó para los tres lavados consecutivos, utilizando el mismo método y las mismas condiciones experimentales, con el fin de conocer la estabilidad del color con los dos mordientes utilizados.

Posteriormente, se enjuagaron con agua tibia (35°C), para retirar los residuos de jabón y pigmento, y finalmente se dejaron secar a temperatura ambiente, evitando la exposición directa al sol.

Figura 13

Diagrama de Flujo del Post - lavado de la fibra



3.3 Hipótesis

(H₀ – Solventes): El solvente que se emplea (agua, metanol u otros) no genera variaciones notables en la eficiencia de la extracción de pigmentos naturales de hoja de tomate riñón y flor de diente de león.

(H₁ – Solventes): El solvente que se emplea tiene un impacto significativo en la eficiencia de la extracción de pigmentos naturales de hoja de tomate riñón y flor de diente de león; el metanol es el solvente más eficaz.

(H₀ – Mordientes en fibra de alpaca): La utilización de mordientes (alumbre y sulfato de potasio) no produce variaciones notables en la vivacidad, adherencia o solidez del color en la fibra de alpaca teñida con colorantes naturales.

(H₁ – Mordientes en fibra de alpaca): El uso de mordientes (alumbre y sulfato de potasio) sí genera diferencias significativas en la intensidad, fijación y estabilidad del color aplicado en la fibra de alpaca teñida con pigmentos naturales.

3.4 Técnicas de recolección de Datos

La información fue recolectada mediante estudios fisicoquímicos y evaluaciones morfológicas de la fibra de alpaca en las diversas fases de su tratamiento.

3.4.1 Absorción de luz por Espectrofotometría.

El análisis de absorción de luz por espectrofotométrico (UV-Visible) se realizó con el objetivo de determinar cuál es los dos solventes, etanol al 80% y etanol al 94%, tenía una mayor capacidad extractiva y, por lo tanto, elegirlo para el resto de la investigación.

Por tal motivo, se elaboraron extractos a partir de hojas de tomate riñón (*Solanum lycopersicum L.*) y flores de diente de león (*Taraxacum officinale*), que fueron obtenidos por maceración en cada solvente. Los extractos fueron filtrados y, diluidos con el mismo solvente para mantener la absorbancia dentro del rango lineal del equipo.

Las mediciones se ejecutaron empleando el análisis de absorción de luz en un espectrofotómetro UV - Visible que tiene una capacidad de trabajo que va desde los 200

hasta los 800 nm y cubetas de cuarzo con un paso óptico de 1 cm, características propias del equipo. Se empleó el solvente puro metanol y etanol como blanco de referencia. Para garantizar la consistencia de los datos, cada muestra fue analizada en tres ocasiones.

Para cada extracto se efectuó un barrido espectral completo (200–800 nm) con el objetivo de identificar las longitudes de onda de máxima absorción (λ_{\max}) de los pigmentos predominantes. Los datos obtenidos de absorbancia (A) y transmitancia (%T) permitieron comparar la intensidad de los picos entre los dos solventes y determinar el más eficiente para la extracción. (Espadero Bermeo, 2018)

3.4.2 Determinación de pH en los extractos.

El pH de los extractos obtenidos de flor de diente de león y hoja de tomate riñón se determinó posteriormente a la filtración, utilizando un pH-metro previamente calibrado. Esta medición se realizó para caracterizar las propiedades químicas iniciales de los pigmentos y establecer el ajuste posterior necesario para el proceso de teñido, aunque estos valores no fueron incluidos dentro del análisis estadístico.

3.4.3 Índice de amarillez en fibras

Para calcular el índice de amarillez (YI) en las fibras de alpaca teñidas, se utilizó un colorímetro portátil modelo CHN Spec DS-200 (serie DS-200), previamente calibrado con una placa blanca patrón estándar, conforme a la norma equipo (ASTM-E313-20, 2020).

Las mediciones se realizaron en tres puntos distintos de cada muestra, evitando zonas con irregularidades o diferencias de iluminación. Cada lectura generó los valores de coordenadas X, Y, Z, con los cuales el equipo calculó automáticamente el Índice de Amarillez (YI) a través de su programación interna.

El YI hizo posible medir la intensidad del color amarillo en las fibras que fueron teñidas con el extracto de la flor de diente de león, y estudiar como el solvente usado para extraerlo (etanol o metanol) afecta la permanecía y adherencia del tinte a la fibra.

3.4.4 Escala Cie Lab

El color de las fibras de alpaca teñidas con los extractos naturales se evaluó utilizando un colorímetro CHN Spec DS-200 (serie DS-200, China), configurado en la escala de color CIE Lab tomando las mediciones de L^* , $*a^*b^*$. Antes de realizar las mediciones, el equipo fue calibrado con una placa blanca patrón estándar conforme a las especificaciones del fabricante, garantizando precisión y repetibilidad en los datos y evitando errores en la toma de estos.

Las mediciones se llevaron a cabo en cuatro etapas del proceso para determinar la resistencia del color ante los lavados sucesivos que se efectuaron

1. Despues del teñido, para registrar el color original que se logró luego de fijar el pigmento tras el teñido.
2. Despues del primer lavado, para observar posibles pérdidas iniciales de color.
3. Despues del segundo lavado, para evaluar la estabilidad intermedia del teñido.

4. Después del tercer lavado, para determinar la resistencia final del colorante natural sobre la fibra.

Cada muestra fue analizada en tres lados de la fibra distintos, evitando irregularidades o zonas con brillo. El equipo proporcionó directamente los valores de L*: luminosidad, a*: tendencia rojo-verde y b*: tendencia amarillo-azul

3.4.5 Microscopia por barrido electrónico.

El análisis morfológico superficial de las fibras de alpaca tanto antes como después del proceso de teñido se llevó a cabo utilizando microscopía electrónica de barrido (SEM). Esto se hizo para identificar las alteraciones estructurales provocadas por el uso de los pigmentos naturales.

El procedimiento se basó en la metodología descrita por (Hurren et al., 2008), en el artículo “The Effects of Ultrasonic Agitation in Laundering on the Properties of Wool Fabrics”, adaptada a las condiciones de este estudio.

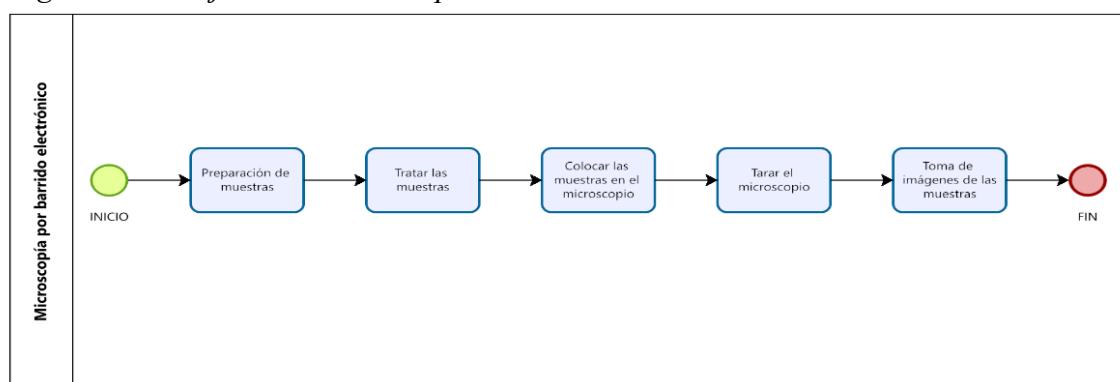
Las muestras de fibra se prepararon cortando pequeños fragmentos de aproximadamente 5 mm de longitud, los cuales se montaron sobre soportes metálicos de aluminio utilizando cinta adhesiva de carbono conductora. Posteriormente, se realizó un recubrimiento con oro (Au) mediante el método de sputtering, con un tiempo de deposición de 60 segundos y una corriente de 10 mA, con el fin de mejorar la conductividad eléctrica y evitar cargas superficiales durante la observación.

Las imágenes fueron realizadas con un microscopio electrónico de barrido JEOL JSM-IT300 (Japón), operado a un voltaje de aceleración de 10 kV y con aumentos entre 500x y 2000x, dependiendo del nivel de detalle requerido

El análisis se llevó a cabo en los Laboratorio de Microscopía de la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), bajo las condiciones controladas del equipo y supervisión del técnico de laboratorio.

Figura 14

Diagrama de Flujo de la Microscopia Electrónica de Barrido



3.5 Población de estudio y tamaño de muestra.

La población de estudio fue formada por todas las fibras de alpaca aprovechables para teñido con pigmentos naturales extraídos de:

- **Hoja de tomate riñón (*Solanum lycopersicum L.*),** que fue recolectada en la comunidad de Guaslán Grande, parroquia San Luis, cantón Riobamba.
- **Flor de diente de león (*Taraxacum officinale*),** recolectada en la comunidad de Llío, parroquia San Andrés, cantón Guano.
- **Fibra de alpaca** recolectada en la localidad de Tunshi la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) , proveniente de una hembra de la raza Huacaya, la fibra fue obtenida de la tercera esquila, asegurando uniformidad en longitud, grosor y densidad.

La muestra se seleccionó mediante un muestreo, en donde se tomaron fibras representativas de la población las mismas que cumplirá con las características establecidas. Para el teñido se establecieron los siguientes tratamientos:

- **Extracto:** hoja de tomate y flor de diente de león.
- **mordientes:** Sulfato de potasio y alumbre
- **Repeticiones:** Tres por cada tratamiento.
- **Cantidad de muestra para el análisis:** 2 gramos de muestra fibra por cada tratamiento y repetición.

En total, se analizaron 18 muestras experimentales, tomando en cuenta las combinaciones de los dos extractos etanol y metanol, los dos mordientes y las repeticiones por tratamiento. Para la extracción de pigmentos se analizaron dos solventes: etanol y metanol. La comparación entre estos dos se realizó mediante una prueba estadística t-Student, determinándose que el metanol presentó una mayor eficiencia de extracción, por lo que fue selecto para continuar con el desarrollo del proceso experimental.

Respecto al análisis estadístico de los tratamientos realizados en la fibra de alpaca, se empleó un análisis de varianza (ANOVA) para distinguir diferencias significativas e importantes entre los tratamientos, Posteriormente, se utilizó la prueba de Tukey para establecer cuales tratamientos mostraron diferencias significativas desde el punto de vista estadístico. Es importante señalar que, sin importar el mordiente empleado, los atributos del color que se notaron en la fibra fueron uniformes para cada pigmento, lo que demuestra la resistencia del tinte ante los mordientes utilizados.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados del solvente para el teñido de la fibra textil Absorbancia en el extracto de diente de león.

Tabla 6

Absorbancia del extracto obtenido mediante la utilización de diferentes solventes del diente de león. a 430 nm

| SOLVENTE | ABSORBANCIA (UA) |
|----------|------------------------|
| METANOL | 0,14±0,01 ^y |
| ETANOL | 0,07±0,03 ^z |

Nota. Las letras ^{y-z} indican diferencias significativas entre solventes (prueba t-Student, $p < 0,05$)

Al efectuar los ensayos por triplicado en la extracción de pigmentos de la flor *Taraxacum officinale* utilizando metanol y etanol, se pudo constatar que el metanol generó una absorbancia media notablemente más alta ($0,14 \pm 0,01$) que el etanol ($0,07 \pm 0,03$), con un margen absoluto de 0,07 unidades ($p < 0,05$).

Las mediciones se efectuaron mediante el análisis de absorción de luz por espectrofotometría UV-Vis a una longitud de onda máxima de 430 nm, correspondiente a la absorción característica de los carotenoides. Las extracciones se realizaron a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) y en oscuridad, para evitar la degradación térmica y fotoquímica de los pigmentos.

Su capacidad para disolver flavonoides y compuestos fenólicos, como la luteína y la quercetina, que son los causantes de que el extracto tenga un color amarillo, así como su mayor polaridad, explican su eficacia extractiva superior.

Por el contrario, la menor absorbancia y mayor desviación estándar con etanol manifiestan su menor afinidad molecular y menor poder de disolución para estos compuestos. Estos resultados coinciden con (Do et al., 2014). Y (Sultana et al., 2009) quienes destacan la eficacia del metanol en la extracción de pigmentos vegetales por su capacidad de romper interacciones entre metabolitos polares.

Transmitancia en el extracto de diente de león.

Tabla 7

Transmitancia del extracto obtenido mediante la utilización de diferentes solventes del diente de león a 430 nm

| SOLVENTE | TRANSMITANCIA (%) |
|----------|-------------------------|
| METANOL | 73,84±0,02 ^y |
| ETANOL | 84,49±0,02 ^z |

Nota. Las letras ^{y-z} indican diferencias significativas entre solventes (prueba t-Student, $p < 0,05$)

La transmitancia se evaluó de manera conjunta a la absorbancia, ya que ambas magnitudes se relacionan inversamente y permiten confirmar la consistencia de los datos y resultados obtenidos por espectrofotometría UV-Vis para la absorción de luz.

Al realizar las mediciones con el espectrofotómetro y por triplicado en los extractos de *Taraxacum officinale* obtenidos con los solventes metanol y etanol, se observó que el extracto con metanol presentó una transmitancia media de $73,84 \pm 0,02\%$, mientras que el etanol alcanzó $84,49 \pm 0,02\%$.

Una absorbancia más alta de luz en el extracto con metanol se refleja en una transmitancia más baja, lo que sugiere una concentración de pigmentos más elevada. Las mediciones se llevaron a cabo haciendo uso de espectrofotometría UV-Visible ($\lambda = 430$ nm) para absorber luz, en condiciones idénticas a las de la absorbancia: temperatura controlada de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ y la oscuridad en la que se realizó el análisis.

Este resultado confirma la mayor eficiencia del metanol en la recuperación de compuestos fenólicos y flavonoides, responsables de la coloración amarilla de la flor (Do et al., 2014).

Por lo tanto, el extracto con etanol mostró una mayor transmitancia y menos variabilidad, evidenciando así una menor capacidad para extraer pigmentos por tener menor polaridad.

4.2 Análisis comparativo de la absorbancia y transmitancia en el extracto de diente de león.

La extracción de pigmentos de la flor de diente de león con dos solventes distintos, evaluada mediante espectrofotometría, mostró que el metanol produjo mayor absorbancia ($0,14 \pm 0,01$) tabla 1 y menor transmitancia ($73,84 \pm 0,02\%$) tabla 2, mientras que el etanol presentó menor absorbancia tabla 1 ($0,07 \pm 0,03$) y mayor transmitancia ($84,49 \pm 0,02\%$) tabla 2, lo que indica que los extractos con metanol contenían mayor concentración de pigmentos.

Esta diferencia se atribuye a la polaridad más elevada del metanol, que favorece la solubilización de flavonoides y compuestos fenólicos responsables de la coloración, incrementando la densidad óptica de la solución, mientras que el etanol extrae menores cantidades debido a su menor afinidad por estos metabolitos (Do et al., 2014); (Sultana et al., 2009).

La elección del solvente afecta de manera directa el rendimiento de la extracción de las flores, y esto fue confirmado por la prueba estadística (*t* de Student para muestras independientes, $p < 0,05$) que demostró que estas diferencias son significativas. Estos hallazgos indican que el metanol posibilita la obtención de extractos concentrados y consistentes lo cual demuestra su habilidad para optimizar la recolección de pigmentos activos en *Taraxacum officinale*, por otro lado, el etanol. A pesar de producir soluciones más transparentes, fue menos eficaz para teñir.

Los dos parámetros se midieron dentro del mismo ensayo espectrofotométrico, para la absorción de luz, pero se presentan por separado para mostrar claramente la relación inversa

entre absorbancia y transmitancia, y evidenciar la coherencia en la eficiencia extractiva de los solventes.

Absorbancia en el extracto de hoja de tomate riñón.

Tabla 8

Absorbancia del extracto obtenido mediante la utilización de diferentes solventes de la hoja de tomate riñón.

| SOLVENTE | ABSORBANCIA(UA) |
|----------|------------------------|
| METANOL | 2,82±0,09 ^y |
| ETANOL | 2,23±0,02 ^z |

Nota. Las letras ^{y-z} indican diferencias significativas entre solventes (prueba t-Student, $p < 0,05$);

La extracción de pigmentos a partir de hojas de tomate riñón (*Solanum lycopersicum* L.) se realizó empleando dos solventes, metanol y etanol, con el objetivo de determinar cuál presentaba mayor eficiencia en la recuperación de compuestos colorantes. De acuerdo con la metodología establecida, se efectuó inicialmente un barrido espectral en el espectrofotómetro para identificar la región de máxima absorción de los extractos. El pico máximo de absorbancia (λ_{max}) se encontró en 663 nm, longitud de onda correspondiente a la absorción característica de la clorofila a, principal pigmento responsable del color verde en hojas vegetales (Dai & Mumper, 2010). Este valor fue seleccionado para la cuantificación comparativa entre solventes.

Se observó que el extracto hecho con metanol tuvo un índice de absorbancia promedio ($2,82 \pm 0,090$) significativamente más alto que el extracto hecho con etanol ($2,23 \pm 0,018$). Estos datos se presentan sin unidades, ya que pertenecen a la escala adimensional característica de la espectrofotometría UV-Vis.

La Prueba t de student para muestras independientes ($p < 0,05$) se utilizó para establecer si los contrastes entre disolventes eran estadísticamente significativos. Esta prueba demostró que el metanol tiene una capacidad superior para extraer pigmentos verdes. Según (Kumar et al., 2022), esta conducta tienen que ver con la polaridad del metanol, que es más alta, y su habilidad para disolver compuestos fotosintéticos, en particular carotenoides y clorofilas.

Asimismo, su menor viscosidad y mayor capacidad de penetración en la matriz vegetal favorecen una extracción más eficiente de metabolitos solubles, lo cual ha sido reportado en diversos estudios (Sasidharan et al., 2011). En contraste, el extracto obtenido con etanol mostró una absorbancia menor, lo cual puede atribuirse a su menor polaridad, que limita la solubilización de ciertos compuestos clorofílicos más polares (Do et al., 2014).

En conjunto, los resultados demuestran que el metanol es el solvente más adecuado para la extracción de pigmentos naturales de hojas de tomate riñón, motivo por el cual fue seleccionado para continuar con el proceso experimental de la investigación.

Transmitancia en el extracto de hoja de tomate riñón

Tabla 9

Transmitancia del extracto obtenido mediante la utilización de diferentes solventes de la hoja de tomate riñón.

| SOLVENTE | TRANSMITANCIA (%) |
|----------|------------------------|
| METANOL | 0,20±0,01 ^y |
| ETANOL | 0,60±0,01 ^z |

Nota. Las letras ^{y-z} indican diferencias significativas entre solventes (prueba t-Student, $p < 0,05$)

La medición de transmitancia de los extractos de hoja de tomate riñón (*Solanum lycopersicum L.*) mostró diferencias significativas entre los dos solventes empleados, evidenciando cómo la elección del solvente influye en la eficiencia de extracción de pigmentos naturales. El extracto obtenido con metanol presentó una transmitancia promedio de $0,2 \pm 0,01$, mientras que el extracto con etanol registró un valor significativamente menor de $0,6 \pm 0,01$. Esta menor transmitancia en el extracto con metanol indica que la solución absorbe más luz, lo que se interpreta como una mayor densidad óptica y, por ende, un mayor contenido de pigmentos solubles, incluyendo clorofilas, carotenoides y compuestos fenólicos, que son responsables de la coloración verde característica de la hoja y de la intensidad del color que podría ser aprovechada en aplicaciones industriales o textiles ((Dai & Mumper, 2010);(Kumar et al., 2022)). La mayor eficiencia del metanol puede atribuirse a su polaridad más alta en comparación con el etanol, lo que le permite penetrar más fácilmente en la matriz celular de la hoja, romper las interacciones químicas que retienen los pigmentos y solubilizar de manera más completa los metabolitos secundarios polares presentes en la célula vegetal.

Por el contrario, el extracto obtenido con etanol mostró una transmitancia mayor y una menor densidad óptica, lo que indica que este solvente es menos efectivo para recuperar pigmentos. Esto puede deberse a su menor polaridad y capacidad de interacción con los metabolitos polares, así como a una penetración limitada en la pared celular de la hoja, lo que provoca una extracción incompleta de los pigmentos activos (Sasidharan et al., 2011). Además, la durabilidad de los pigmentos durante el proceso de maceración, la afinidad molecular del disolvente con respecto a los compuestos fenólicos y el tiempo de contacto con la matriz vegetal son elementos que afectan las variaciones en las soluciones adquiridas mediante etanol

Las diferencias entre los dos solventes son estadísticamente significativas ($p < 0,05$), según la prueba estadística t student aplicada en las mediciones de transmitancia. Esto respalda que el solvente seleccionado es un elemento crucial en la concentración de los pigmentos recuperados.

Estos hallazgos son consistentes con investigaciones precedentes que destacan el metanol como un solvente efectivo para la extracción de compuestos polares y colorantes naturales. Este último puede producir extractos más estables y concentrados, los cuales poseen propiedades que son ideales para aplicaciones donde se requiere un color intenso y duradero.

Por último, el metanol mostró ser mejor que el etanol para extraer pigmentos de las hojas del tomate riñón. Así fue posible conseguir soluciones con mayor densidad óptica y una concentración más alta de metabolitos activos. Esto sostiene que la selección del solvente no solo influye en la eficiencia de la extracción sino también en el nivel de calidad del extracto lo cual permite contar con un producto con más posibilidades para usos industriales, textiles y alimentarios donde son determinantes tanto el color como su estabilidad e intensidad.

4.3 Análisis absorbancia y transmitancia en el extracto de hoja de tomate riñón.

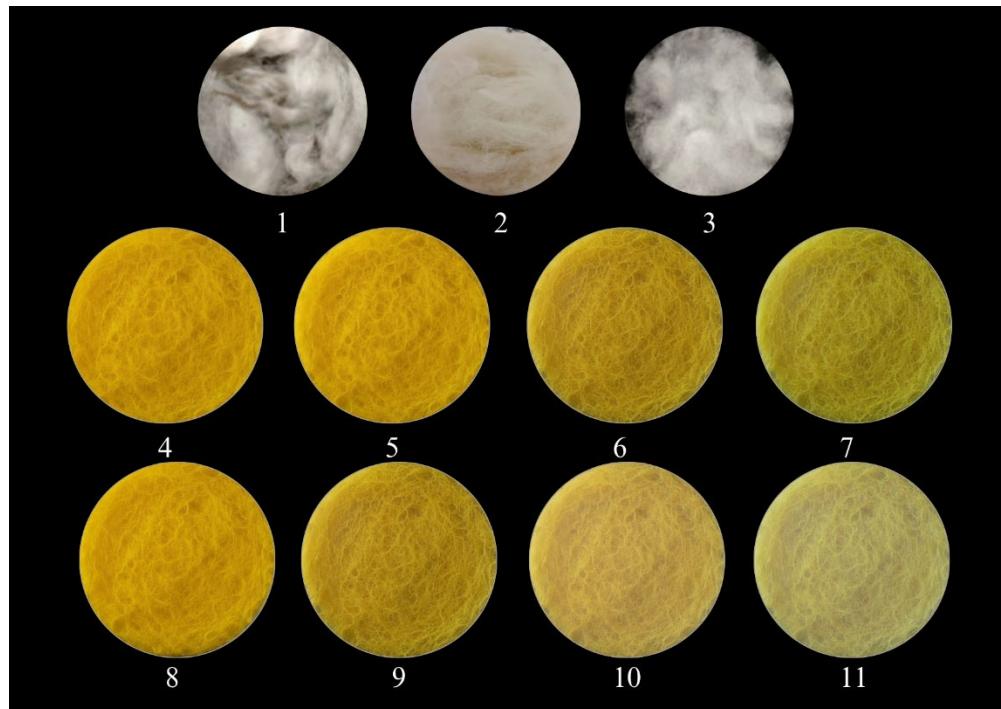
La evaluación de los extractos de hoja de tomate riñón (*Solanum lycopersicum L.*) con metanol y etanol mediante espectrofotometría mostró resultados consistentes entre absorbancia y transmitancia. El extracto con metanol obtuvo una absorbancia de $2,82 \pm 0,090$ y una transmitancia de $0,6 \pm 0,01$, mientras que el extracto con etanol alcanzó una absorbancia de $2,23 \pm 0,018$ y una transmitancia de $0,2 \pm 0,01$. Estos valores indican que el extracto con metanol contenía una mayor concentración de pigmentos, incluidos clorofilas, carotenoides y compuestos fenólicos, lo que se refleja en la mayor densidad óptica de la solución y en su capacidad para absorber más luz ((Dai & Mumper, 2010);(Kumar et al., 2022)), la relación inversa entre absorbancia y transmitancia observada confirma que los extractos más concentrados en pigmentos presentan menor paso de luz, mientras que los extractos con etanol, con menor absorbancia y transmitancia, contienen menos pigmentos solubles, probablemente debido a la menor polaridad del solvente y a su menor capacidad de penetración en la matriz vegetal (Sasidharan et al., 2011). La prueba t de Student aplicada a ambos parámetros indicó diferencias significativas ($p < 0,05$), confirmando que el metanol es estadísticamente más eficiente que el etanol para la extracción de pigmentos de hoja de tomate riñón. Finalmente, los datos de absorbancia y transmitancia obtenidos mediante espectrofotometría muestran que el metanol permite obtener extractos más concentrados y densos, con mayor potencial para aplicaciones textiles que requieren color intenso, uniforme y estable.

4.4 Resultado de la Escala Cie Lab en el extracto de diente de león

La figura 15 muestra las distintas etapas del tratamiento y teñido de la fibra: la muestra 1 corresponde a la fibra sin tratar; la 2, a la fibra desengrasada; la 3, a la fibra blanqueada; la 4 representa la fibra teñida con extracto de flor de diente de león utilizando alumbre como mordiente; la muestra 5 corresponde al primer lavado de la fibra teñida con alumbre; la muestra 6 al segundo lavado; y la muestra 7 al tercer lavado. Por otro lado, la muestra 8 muestra la fibra teñida con extracto de flor de diente de león utilizando sulfato de potasio como mordiente; la muestra 9 corresponde al primer lavado de la fibra teñida con sulfato de potasio; la muestra 10 al segundo lavado; y la muestra 11 al tercer lavado

Figura 15

Fibra teñida con extracto de diente de león.



Nota. Se llevó a cabo una evaluación del método colorimétrico de la fibra de alpaca teñida con extracto de diente de león, utilizando los parámetros L^* , a^* y b^* de la escala cromática CIELab. Para ello se emplearon dos mordientes diferentes: sulfato potásico (K_2SO_4) y alumbre ($AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$). Se utilizaron las pruebas t de Student y Tukey ($p < 0,05$) para distinguir diferencias notables entre mordientes y fases del proceso (primer, segundo, tercer lavado y teñido), teniendo en cuenta las diferencias significativas entre letras diferentes (a-e).

Tabla 10

Muestra los parámetros L^* , a^* , b^* determinados en la fibra de alpaca sometida a los diferentes procesos de teñido y lavado

| TRATAMIENTOS | TEÑIDO | 1ER LAVADO | 2DO LAVADO | 3ER LAVADO |
|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | L | | | |
| A+SP | $84,58 \pm 0,18^{dy}$ | $83,99 \pm 0,72^{cy}$ | $83,59 \pm 0,82^{by}$ | $83,02 \pm 0,6^{ay}$ |
| A+AL | $88,04 \pm 0,65^{dz}$ | $86,6 \pm 0,73^{cz}$ | $85,67 \pm 0,57^{bz}$ | $84,64 \pm 0,01^{az}$ |
| a | | | | |
| A+SP | $0,92 \pm 0,05^{dy}$ | $0,87 \pm 0,05^{cy}$ | $0,69 \pm 0,05^{by}$ | $0,55 \pm 0,05^{ay}$ |
| A+AL | $1,67 \pm 0,40^{dz}$ | $0,95 \pm 0,01^{cz}$ | $0,78 \pm 0,01^{bz}$ | $0,70 \pm 0,01^{az}$ |
| b | | | | |
| A+SP | $61,75 \pm 0,88^{dy}$ | $59,73 \pm 0,94^{cy}$ | $50,19 \pm 0,94^{by}$ | $39,84 \pm 0,88^{ay}$ |
| A+AL | $62,68 \pm 0,41^{dz}$ | $61,04 \pm 0,06^{cz}$ | $60,51 \pm 0,03^{bz}$ | $58,03 \pm 0,02^{az}$ |

Nota. A+SP: Extracto amarillo + sulfato de potasio (K_2SO_4) ; A+AL = Extracto amarillo + alumbre ($AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$). Las letras y-z indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los diferentes tratamientos (mordientes) para una misma etapa de acuerdo con la prueba

t-Student. Las letras a - e indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las diferentes etapas para un mismo tratamiento (mordiente) de acuerdo con la prueba de Tukey.

Según el parámetro L^* , los valores cercanos a 100 indican una mayor claridad (blanco) en las muestras, mientras que los valores más bajos reflejan tonalidades más oscuras (negro), al comparar los tratamientos, la fibra con alumbre presentó valores de L^* significativamente mayores, que los obtenidos con K_2SO_4 . Este comportamiento se debe a que el alumbre generó una coloración más intensa y menos luminosa, debido a la formación de complejos más estables y densos entre los iones metálicos del mordiente (Al^{3+}) y los pigmentos flavonoides del extracto, lo que provoca una mayor absorción de luz visible y menor reflectancia (Bechtold et al., 2006).

Por otro lado, a medida que se realizaron los lavados a la fibra teñida, los dos tratamientos mostraron una disminución progresiva de los valores de L^* , evidenciando un oscurecimiento gradual de la fibra teñida, este fenómeno se asocia a la pérdida parcial de pigmentos libres y al reacomodo de los complejos colorante-mordiente en la superficie de la fibra, lo que produce una disminución de la luminosidad aparente. Resultados similares fueron reportados por (Lichtenthaler & Buschmann, 2001), quienes señalaron que los procesos de lavado generan ligeras variaciones en la reflectancia debido a la reorganización y pérdida parcial de pigmentos naturales.

En cuanto al parámetro a^* (tendencia rojo-verde), los valores obtenidos indicaron una escasa contribución de tonalidades rojizas en la fibra teñida. Sin embargo, el tratamiento con alumbre mantuvo valores de a^* significativamente más altos con respecto al tratamiento con sulfato de potasio (K_2SO_4). Esto puede ser atribuido a la mayor interacción del ion Al^{3+} con los grupos fenólicos de los pigmentos flavonoides, lo que intensifica (J. Cardamone & Yao, 2004)

El parámetro b^* , que representa la intensidad de la tonalidad amarilla, mostró valores altos en ambas muestras tras el teñido, lo que confirmó la presencia y contribución significativa de pigmentos carotenoides y flavonoides provenientes del diente de león (Kamel et al., 2011).

El tratamiento con alumbre mantuvo valores de b^* significativamente más altos frente a los obtenidos con sulfato de potasio. Esta diferencia refleja que el alumbre favorece una mayor intensidad del tono amarillo en la fibra teñida, debido a la formación de complejos más estables entre los iones Al^{3+} y los grupos fenólicos de los flavonoides, lo que incrementa la absorción de luz y la saturación cromática del color (Bechtold et al., 2006);(Bechtold & Turcanu, 2005;Lawson et al., 2023)

De acuerdo con los valores de ΔE registrados, las diferencias de color entre los tratamientos fueron superiores a 3 unidades, lo que indica que los cambios de tonalidad son claramente perceptibles al ojo humano, cumpliendo el propósito del teñido de fibras con pigmentos naturales.

4.5 Resultado para el índice de amarillez (YI) en el extracto de diente de león

Además del análisis colorimétrico en escala CIELab (L, a, b), se determinó el índice de amarillez (YI) para complementar la interpretación de los resultados. El parámetro YI se utilizó porque este permite apreciar con mayor sensibilidad las variaciones en la tonalidad amarilla respecto a las coordenadas CIELab

Tabla 11

Índice de amarillez para fibra de alpaca teñida con extracto de diente de león y dos mordientes

| TRATAMIENTOS | TEÑIDO | 1ER LAVADO | 2DO LAVADO | 3ER LAVADO |
|--------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| A+SP | 94,91 ±0,98 ^{dy} | 84,89 ± 0,77 ^{cv} | 80,74±0,55 ^{by} | 78,00±0,50 ^{ay} |
| A+AL | 100,42±0,80 ^{dz} | 91,31±0,95 ^{cz} | 88,83±0,43 ^{bz} | 87,49±0,57 ^{az} |

Nota. A+SP: Extracto amarillo + sulfato de potasio (K_2SO_4) ; A+AL = Extracto amarillo + alumbre ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$). Las letras y-z indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los diferentes tratamientos (mordientes) para una misma etapa de acuerdo con la prueba t-Student. Las letras a - e indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las diferentes etapas para un mismo tratamiento (mordiente) de acuerdo con la prueba de Tukey.

Los valores de YI fueron notablemente más significativos con el tratamiento de alumbre que con el del sulfato de potación en cada fase.

Según (Manian, 2023), la mayor eficiencia del alumbre se debe a que se forman complejos metálicos más estables entre los guiones Al^{3+} y los grupos funcionales de los flavonoides en el extracto de diente de León, lo cual optimiza la fijación del pigmento en las fibras de alpaca. Se ha constatado en investigaciones parecidas hechas con algodón pintando con tintes naturales, que el tipo de mordiente metálico en especial los basados en aluminio influyen de decisivamente en la resistencia lavado y la retención del color incluso más que el tinte aplicado. (Benli, 2024).

Por otra parte la tendencia decreciente del YI a lo largo de los lavados es coherente con la solubilidad parcial de algunos pigmentos naturales, que provoca su desprendimiento bajo condiciones de lavado, fenómeno ampliamente documentado en la literatura sobre colorantes vegetales (Benli, 2024)

Por último, diversos autores señalan que la acción del mordentado metálico actúa como una estrategia eficaz para anclar los pigmentos a la fibra, mejorando la adherencia del color, aunque su efecto depende de factores como la estructura química del tinte, la naturaleza de la fibra y las condiciones del proceso (Manian, 2023).

4.6 Resultado de la escala CIEL ab en el colorante verde con el extracto de hoja de tomate riñón.

La Figura 16 muestra las distintas etapas del tratamiento y teñido de la fibra con extracto de hoja de tomate riñón: la muestra 1 corresponde a la fibra sin tratar; la 2, a la fibra desengrasada; la 3, a la fibra blanqueada; la 4 representa la fibra teñida con extracto de hoja de tomate riñón utilizando alumbre como mordiente; la muestra 5 corresponde al primer

lavado de la fibra teñida con alumbre; la muestra 6 al segundo lavado; y la muestra 7 al tercer lavado. Por otro lado, la muestra 8 muestra la fibra teñida con extracto de hoja de tomate riñón utilizando sulfato de potasio como mordiente; la muestra 9 corresponde al primer lavado de la fibra teñida con sulfato de potasio; la muestra 10 al segundo lavado; y la muestra 11 al tercer lavado.

Figura 16

Fibra teñida con extracto de hoja de tomate riñón.

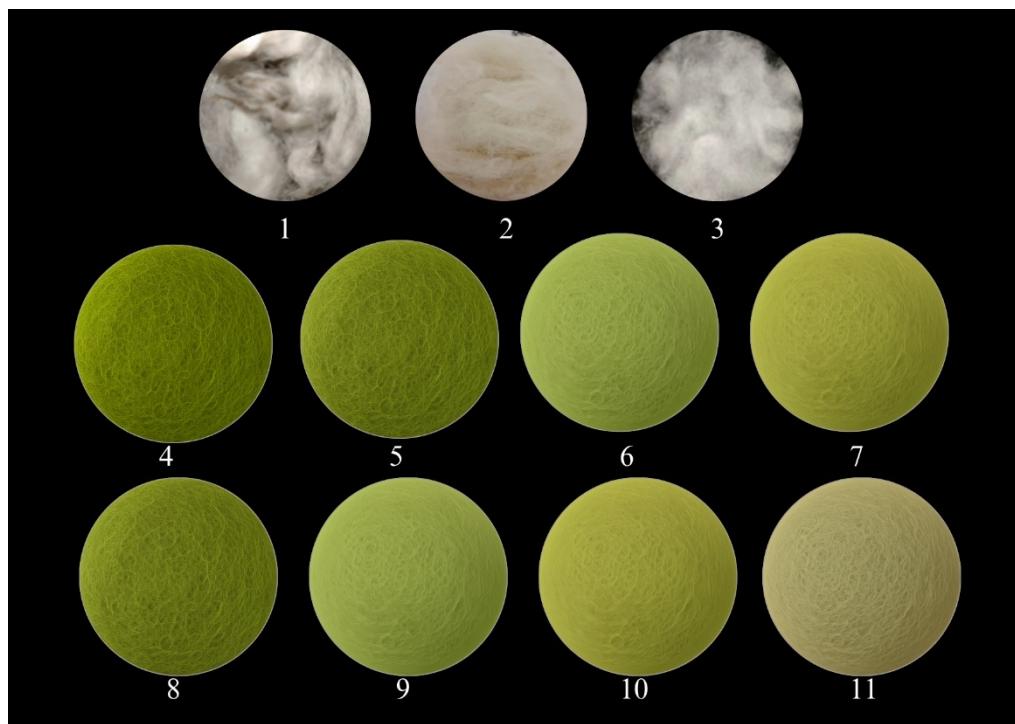


Tabla 12

Muestra los parámetros L^ , a^* , b^* determinados en la fibra de alpaca sometida a los diferentes procesos de teñido y lavado*

| TRATAMIENTOS | TEÑIDO | 1ER LAVADO | 2DO LAVADO | 3ER LAVADO |
|--------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | L | | | |
| V+SP | 47,53±0,97 ^{dy} | 43,19±0,98 ^{cy} | 39,39±0,68 ^{by} | 28,65±0,95 ^{ay} |
| V+AL | 49,56±0,75 ^{dz} | 44,86±0,88 ^{cz} | 43,81±0,88 ^{bz} | 42,84±0,47 ^{az} |
| V+SP | a | | | |
| | -1,75±0,55 ^{dy} | -0,94±0,70 ^{cy} | -0,64±0,44 ^{by} | -0,53±0,36 ^{ay} |
| VAL | b | | | |
| | -3,83±0,69 ^{dz} | -2,65±0,59 ^{cz} | -1,15±0,59 ^{bz} | -0,95±0,59 ^{az} |
| V+SP | b | | | |
| | 31,19±0,88 ^{dy} | 30,18±1,01 ^{cy} | 29,02±1,37 ^{by} | 26,58±0,99 ^{ay} |
| V+AL | 33,69±0,97 ^{dz} | 31,59±0,87 ^{cz} | 30,84±0,84 ^{bz} | 29,89±0,65 ^{az} |

Nota. V+SP: Extracto verde + sulfato de potasio (K_2SO_4) ; V+AL = Extracto verde + alumbre ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$). Las letras y-z indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los diferentes tratamientos (mordientes) para una misma etapa de acuerdo con la prueba t-

Student. Las letras a - e indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las diferentes etapas para un mismo tratamiento (mordiente) de acuerdo con la prueba de Tukey.

Los resultados del parámetro L (luminosidad) se evidenciaron que las fibras tratadas con alumbre presentaron valores significativamente superiores en comparación con el sulfato. Esto indica que las fibras mantuvieron una mayor claridad tras los lavados como lo reportaron (Ehsan Kh & Aghareed M, 2022)

En el parámetro a* (tendencia rojo–verde), los valores negativos reflejan el predominio de tonos verdosos. Se observó que el tratamiento con alumbre mantuvo valores más negativos durante el proceso de teñido y los lavados en comparación con el sulfato. La interacción de los iones Al^{3+} del alumbre con pigmentos fenólicos que se encuentran en los extractos naturales, como quercetina, kaempferol, ácido cafeico y ácido ferúlico en las hojas de *Solanum lycopersicum* L., y luteolina, apigenina y ácido clorogénico en las flores de *Taraxacum officinale*. Estos compuestos poseen grupos hidroxifenólicos capaces de formar complejos metálicos estables, modulando la tonalidad del color hacia matices más equilibrados o ligeramente verdosos (J. Cardamone & Yao, 2004).

Además, la tonalidad verde de la fibra se debió principalmente a la presencia de clorofilas y carotenoides en las hojas de tomate riñón, compuestos que absorben luz en el rango rojo-azul y reflejan el verde, otorgando el color característico a la fibra teñida con el extracto obtenido de la hoja de tomate riñón (Maoka, 2020).

En el parámetro b* (tendencia amarillo–azul), los valores positivos indican la presencia de tonalidades amarillas. Posteriormente a los lavados, se observó una ligera disminución de este parámetro para ambos tratamientos, lo que refleja cambios menores en la tonalidad amarillo–verdosa de la fibra. Este comportamiento se asocia con la degradación parcial de las clorofilas a y b presentes en el extracto de hojas de *Solanum lycopersicum* L., que durante los lavados pierden su ion central de magnesio (Mg^{2+}), originando derivados como feofitinas y feofórbidos, de color verde oliva a amarillento. Asimismo, la pérdida de algunos compuestos fenólicos inestables al pH y a la temperatura contribuye a una disminución de la intensidad del color, sin que se produzca un cambio drástico en la tonalidad general (Bechtold et al., 2006).

4.7 Evaluación mediante microscopía de barrido (SEM) de los cambios morfológicos en las fibras blanqueadas y teñidas con los extractos obtenidos.

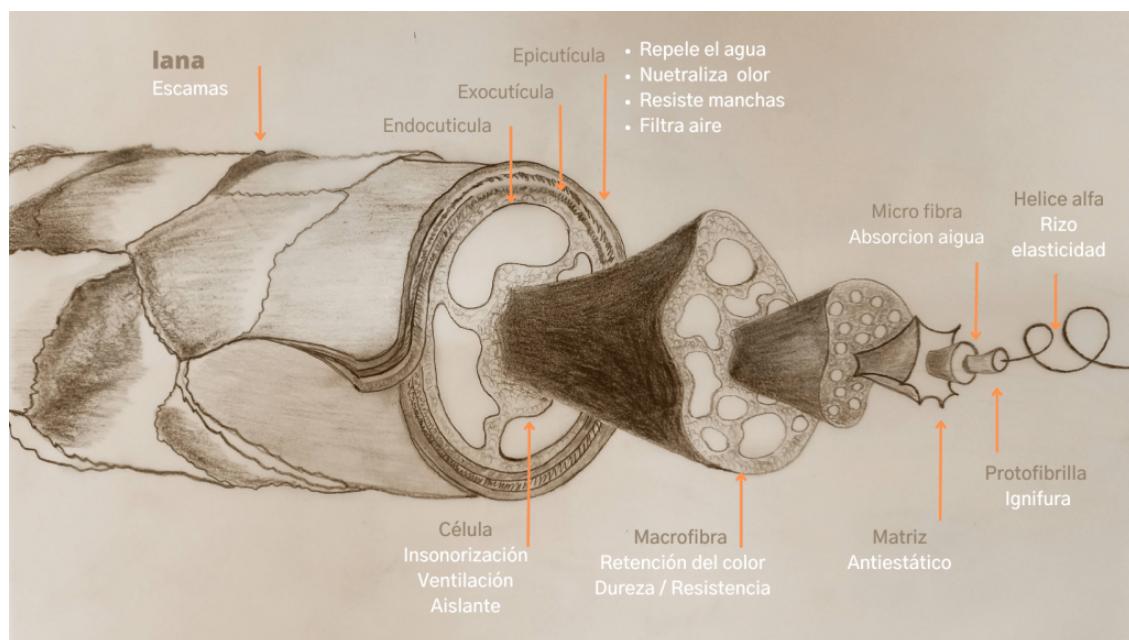
La microscopía electrónica de barrido (SEM) muestra que las superficies longitudinales de la fibra analizada son lisas y presentan escamas más delgadas y compactas en comparación con las observadas en la fibra de alpaca. Esta última está conformada por diversas capas y estructuras morfológicas, siendo la cutícula la parte más externa. La cutícula está compuesta por células con forma de escamas, y por debajo de ella se localizan la exocutícula y la endocutícula. La exocutícula contiene enlaces disulfuro (-S-S), responsables de la resistencia química de la fibra, mientras que la endocutícula posee azufre y enlaces

iónicos e hidrógeno, lo que la hace más vulnerable a la hidrólisis y a la acción de agentes químicos durante procesos como el blanqueamiento o el teñido (Bradbury & Ley 1972).

Además, la fibra está formada por células corticales y cuticulares unidas por sustancias intercelulares compuestas de lípidos y proteínas no queratínicas, las cuales facilitan la difusión del agua, los colorantes y los agentes químicos, y contribuyen a la cohesión estructural y la resistencia de la fibra (Bryson et al., 2009). Por debajo de estas capas se encuentra la corteza o *cortex*, constituida por células corticales alargadas. En el centro de la corteza se localiza la médula o zona medulada, una región menos densa y hueca que aporta flexibilidad, calidez y suavidad a la fibra (McGregor, 2012). Esto se ve reflejado en la figura 17.

Figura 17

Estructura morfológica de la fibra de alpaca



Nota. De Anatomía de la fibra de lana, por Vielba, 2022

La diferencia significativa se origina en la organización y la estructura de las células corticales adentro de la fibra. Así como, en la fibra de alpaca Huacaya, se pueden observar dos tipos de células corticales con diferentes tamaños y una disposición asimétrica. Esto provoca un comportamiento de contradicción en su manejo y una textura superficial más delicada. En contraste, las fibras de alpaca Suri presentan células corticales que son consistentes y una superficie más uniforme si se compara con las Huacaya. Las imágenes obtenidas mediante SEM destacan estas variaciones morfológicas, revelando la superficie lisa y uniforme que es típica de la fibra de alpaca, que se debe a la disposición densa y fina de sus escamas. (Shim & Jakes 2006).

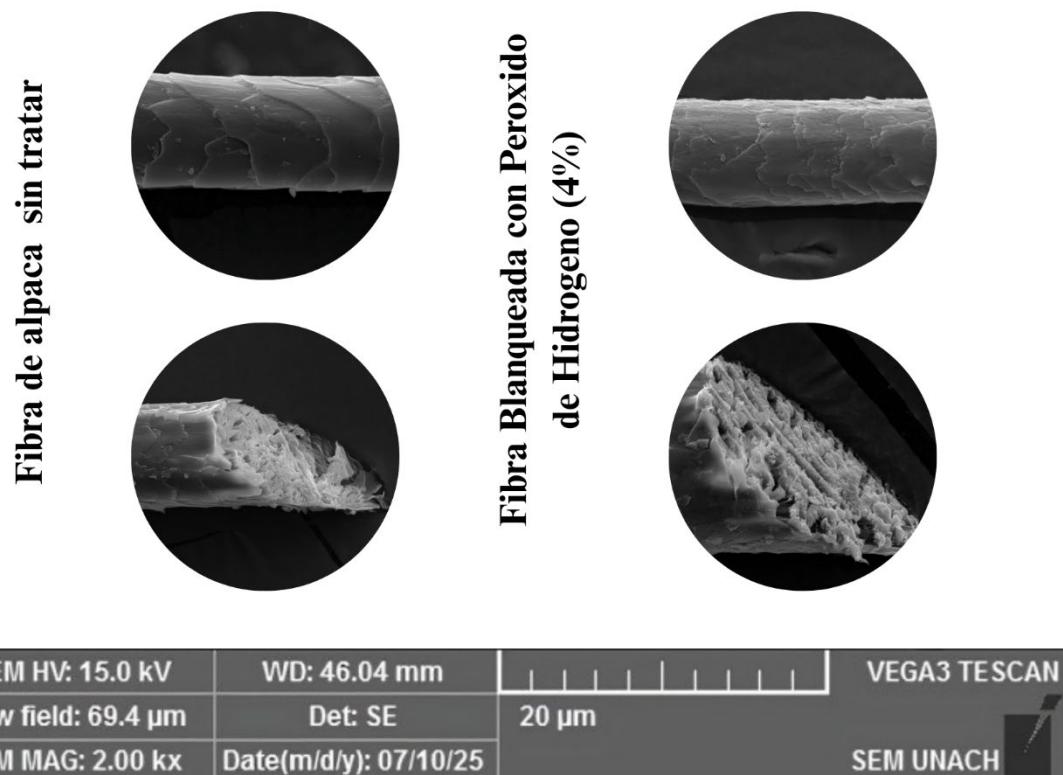
En estudios anteriores como el realizado por los autores Quispe, Huamani, & Ccopa (2025) y por Chavez et al. (2024), se utilizó el SEM para contrastar fibras de alpaca teñidas con cochinilla y mezclas con proteína de leche. En estos trabajos se observaron superficies

suaves con escamas finas lo que indica cambios en la morfología de las fibras tras llevar a cabo una fase de mordentado. Por otro Rahman & Golam Nur (2014), señalan que el SEN posibilita la evaluación de la eficiencia de los tratamientos anteriores al teñido de las fibras, lo que indica superficies uniformes y limpias. Después de que se ha realizado un teñido, el método es útil para determinar el diámetro de la fibra y para identificar cualquier cambio de en su estructura. En la figura 19,20,21 se muestran las imágenes en donde se pueden evidenciar los cambios morfológicos que sucedieron en los diferentes procesos a los que se sometió la fibra de alpaca.

4.8 Cambios morfológicos en fibra sin tratar y fibra blanqueada.

Figura 18

Cambios morfológicos en fibra sin tratar y fibra blanqueada.



El análisis mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) permitió caracterizar con la morfología superficial de la fibra de alpaca. Así como señalan Mucha & Janeczek (2017), esta fibra presenta una disposición de células cuticulares que rodean la corteza en un patrón imbricado equivalente al de las tejas, confiriéndole una estructura externa compacta y protectora, los bordes de las escamas cuticulares suelen exhibir un contorno relativamente uniforme y liso, lo que menciona Chavez et al. (2024), quienes explican la superficie de la alpaca como una capa de células cuticulares aplanadas que cumplen la función de resguardar la médula interna. Estas escamas se ordenan longitudinalmente desde la raíz hasta la punta, lo que otorga una organización regular a la fibra.

En el caso de la fibra tratada para el blanqueamiento convencional con peróxido de hidrógeno (4%), se observaron cambios morfológicos significativos. Aunque la estructura

básica en forma de tejas se conservó, la superficie se mostró más deteriorada, evidenciando un desgaste en las escamas cuticulares. Por ello, (Ghasemian, Barani, & Khazaei 2025), mencionan que este tipo de alteraciones se relaciona con la acción oxidativa del blanqueamiento, lo que provoca ruptura en los bordes y formación de surcos superficiales, lo cual fue también identificado en este estudio.

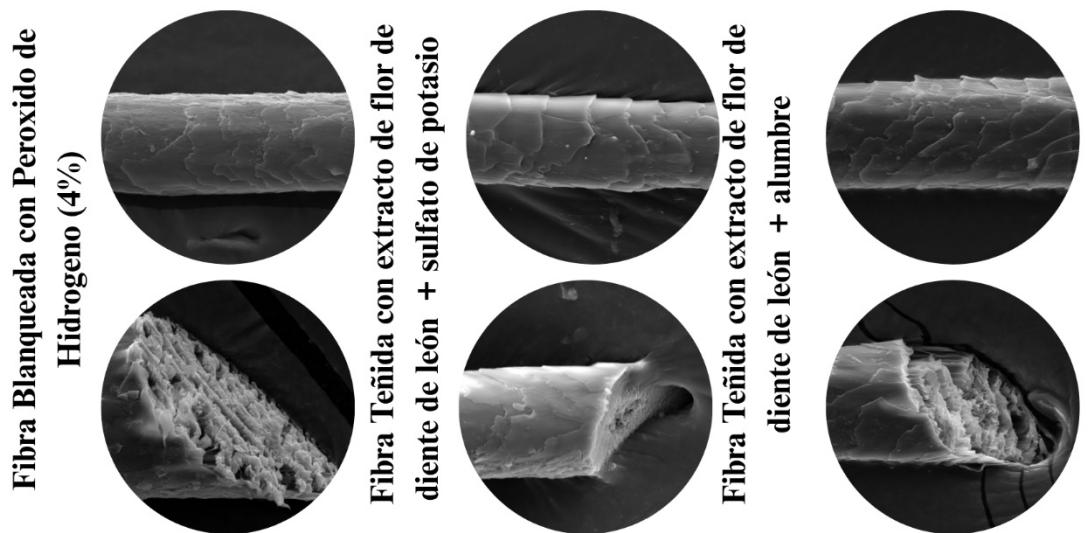
Cuando se evaluó el corte transversal, no se detectaron anomalías significativas en la parte interna de la fibra, confirmando que los efectos más notorios se concentraron en la superficie externa. Estos cambios se atribuyen a dos factores principales: (i) la acción química del peróxido de hidrógeno y (ii) la exposición a condiciones térmicas elevadas durante el proceso convencional. En el primer caso, el mecanismo de acción del peróxido se basa en la activación del ion perhidroxilo (HO_2^-), responsable del blanqueamiento oxidativo al degradar los pigmentos de melanina presentes en la fibra (Cardamone, Yao, & Nuñez 2004). Este ion no solo oxida pigmentos, sino que también interrumpe los enlaces disulfuro (S-S), provocando debilitamiento estructural. En el segundo caso, la exposición prolongada a altas temperaturas genera degradación por mecanismos radicalarios en múltiples etapas (iniciación, propagación y terminación), lo que da lugar a la formación de productos oxidativos que favorecen el desgaste de la fibra (Gupta et al., 2023)

Posteriormente, en la fibra tinturada, se observó que las condiciones de fijación del colorante, que implican el uso de baños maría a temperatura elevada, también influyeron en la morfología. Según (Niloy Rahaman et al. 2019).el calor aplicado durante el teñido puede alterar la superficie de fibras proteicas, acentuando rupturas en las escamas cuticulares y modificando su relieve, tal como se apreció en este análisis.

4.9 Evaluación de los cambios morfológicos de la fibra blanqueada con la fibra teñida con extracto amarillo con dos mordientes.

Figura 19

Evaluación de los cambios morfológicos de la fibra blanqueada con la fibra teñida con extracto amarillo con dos mordientes.



| | | | |
|--------------------------|-----------------------|------------|--------------|
| SEM HV: 15.0 kV | WD: 46.04 mm | 20 μ m | VEGA3 TESCAN |
| View field: 69.4 μ m | Det: SE | | |
| SEM MAG: 2.00 kx | Date(m/d/y): 07/10/25 | | |

En las fibras teñidas con extracto de diente de león, el SEM reveló que los pigmentos se depositaron de manera relativamente homogénea sobre la superficie. Si bien persistían los desgastes provocados por el blanqueamiento, las partículas colorantes se adhirieron principalmente en los surcos y entre las escamas cuticulares, formando una capa uniforme que disminuyó la visibilidad de los bordes (Niloy Rahaman et al. 2019).

La estructura general en forma de tejas se mantuvo, aunque con menor definición debido al recubrimiento de los compuestos presentes en el extracto, estos resultados los menciona Jiang et al. (2022), quienes atribuyen la tonalidad amarilla del diente de león a la presencia de flavonoides y carotenoides, moléculas con buena afinidad hacia matrices proteicas. El corte transversal que se realizó a la fibra aprobó que el teñido se concentró principalmente en la superficie externa, sin alterar la estructura interna de la fibra, lo que confirma que el proceso de fijación ocurre sobre la cutícula.

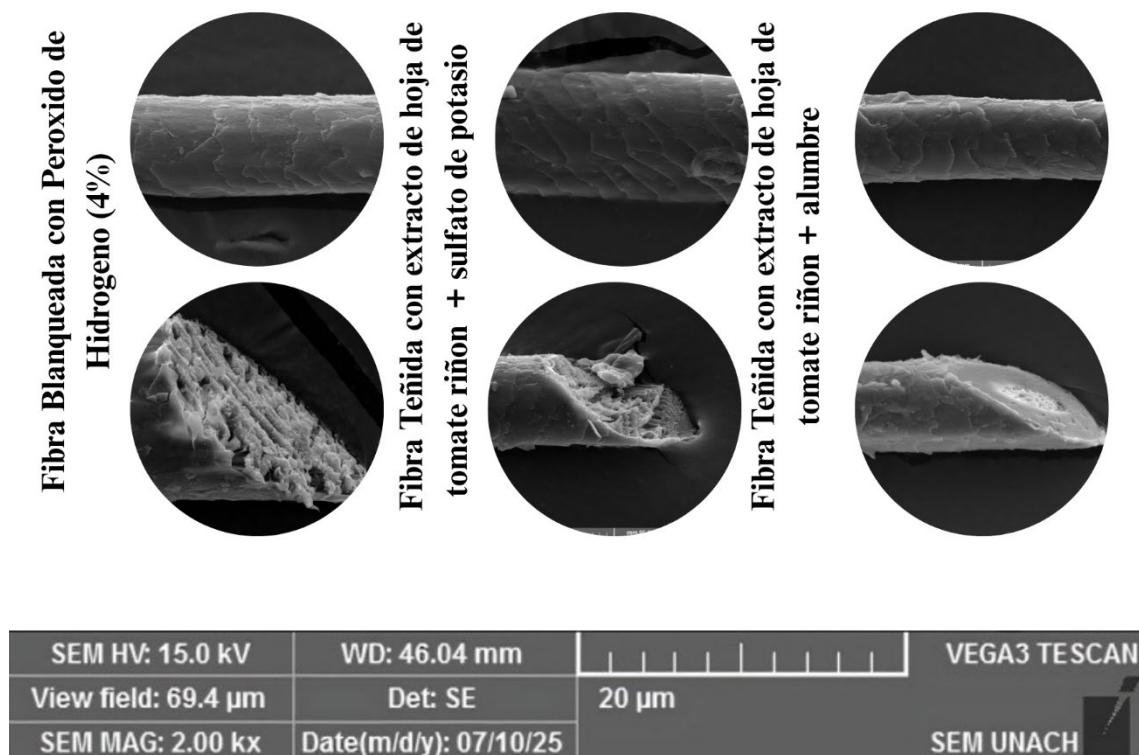
De manera relevante, el análisis mostró que, independientemente del mordiente empleado (K_2SO_4 o $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$), las características morfológicas observadas fueron semejantes. Es decir, aunque los mordientes contribuyeron a diferencias en la intensidad y estabilidad cromática (índice de amarillez), la microscopía no evidenció variaciones estructurales significativas entre ellos. Esto indica que los cambios en la superficie

responden más al efecto del blanqueamiento y del teñido en sí, y no al tipo de mordiente aplicado (Arumugam et al., 2021).

4.10 Evaluación de los cambios morfológicos de la fibra blanqueada con la fibra teñida con extracto verde con dos mordientes.

Figura 20

Evaluación de los cambios morfológicos de la fibra blanqueada con la fibra teñida con extracto verde con dos mordientes



En contraste, la fibra teñida con extracto de hoja de tomate riñón mostró una cobertura menos uniforme. Las imágenes SEM evidenciaron acumulación localizada de pigmentos, lo cual generó heterogeneidad en la superficie. Este comportamiento se asocia con la inestabilidad de las clorofillas y compuestos fenólicos presentes en el extracto, que tienden a degradarse o agregarse bajo condiciones de calor (Dai & Mumper, 2010).

Se detectó un deterioro más notable en las capas exteriores de este tratamiento, con bordes dañados y áreas que se desprendían parcialmente. Este hallazgo indica que la combinación del blanqueo con el color verde afectó más negativamente a la estructura superficial que al estrato amarillo. El color verde, sin embargo, siguió en la fibra en gran medida, lo que confirma una interacción efectiva entre los pigmentos y la capa exterior, pero con menos uniformidad.

De manera similar a lo observado previamente, el análisis transversal no evidenció alteraciones internas, lo que confirma que los cambios se limitaron a la superficie de la fibra. Asimismo, se determinó que, independientemente del tipo de mordiente utilizado, las alteraciones morfológicas fueron prácticamente iguales. En ambos casos, el mordiente

facilitó la adhesión del colorante, pero no generó diferencias significativas en la microestructura superficial de la fibra. Esta observación concuerda con lo reportado en estudios previos sobre fibras proteicas, en los cuales se indica que los mordientes influyen principalmente en la interacción química entre el pigmento y la fibra, más que en cambios visibles de la morfología externa (Ghosh & Bhowmick, 2019).

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- El metanol se confirmó como el solvente más eficiente para la extracción de pigmentos naturales tanto de la hoja de tomate riñón (*Solanum lycopersicum* L.) como de la flor de diente de león (*Taraxacum officinale*). Los valores obtenidos de absorbancia y transmitancia evidenciaron una mayor capacidad del metanol para solubilizar los compuestos colorantes —principalmente carotenoides, clorofilas y flavonoides— en comparación con el etanol. Gracias a su mayor polaridad, permitió obtener extractos más concentrados, estables y de tonalidades más intensas. Estos resultados confirman que la selección del solvente es un factor crítico que determina el rendimiento, la calidad y la intensidad del color en el proceso de extracción.
- Los pigmentos naturales extraídos presentaron características fisicoquímicas adecuadas para su aplicación como tintes, las cuales fueron evaluadas mediante la absorción de luz a través de espectrofotometría y el análisis del pH. Los resultados de absorbancia evidenciaron que ambos extractos poseen una buena capacidad de interacción con la luz visible, lo que confirma la presencia de compuestos colorantes con potencial uso en procesos de tintura. En cuanto a la estabilidad química, el extracto obtenido de la flor de diente de león presentó un pH de $4,5 \pm 0,2$, mientras que el extracto de hojas de tomate mostró un pH de $4,9 \pm 0,2$; ambos valores ácidos favorecen la conservación de la integridad de los pigmentos. Sin embargo, para mejorar la fijación del color en la fibra de alpaca, fue necesario ajustar el pH hasta 6,5 mediante el uso de ácido acético, condición que optimiza el proceso de teñido. En conjunto, estos resultados respaldan el cumplimiento del segundo objetivo, al describir las propiedades fisicoquímicas de los extractos y confirmar su estabilidad y compatibilidad con los procesos de tintura natural.
- Se encontró que el alumbre ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) es el mordiente con mayor eficacia para estabilizar y fijar el color en la fibra de alpaca, superando al sulfato de potasio (K_2SO_4). Su capacidad para formar complejos estables con los pigmentos permitió una mayor afinidad entre el extracto y la fibra, lo que dio lugar a colores más homogéneos, intensos y duraderos, especialmente cuando se colabora con pigmentos amarillos producidos por el diente de león. Estos resultados demuestran cuán relevante es utilizar mordientes metálicos adecuados para optimizar la eficacia del teñido natural.
- El análisis mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) confirmó que las fibras teñidas mantuvieron su estructura integra, sin presentar daños en la cutícula ni alteraciones reveladoras en su morfología. Esto indica que las condiciones del proceso de teñido y el uso de pigmentos naturales resultaron simultáneos con la fibra proteica, preservando sus propiedades físicas. En conjunto, estos hallazgos respaldan la viabilidad del uso de pigmentos naturales como una alternativa ecológica y responsable para el teñido de fibras de alpaca, destacando además la seguridad del proceso y su potencial de aplicación sostenible.

- Las pruebas que se ejecutaron para evaluar la eficiencia del tinte en la fibra de alpaca mostraron que los pigmentos naturales tienen una capacidad tintórea apropiada y son compatibles con la fibra. La microscopía electrónica de barrido SEM demostró que las fibras mantuvieron su integridad estructural sin sufrir alteraciones en la cutícula. Por otro lado, los análisis de color a través del índice de amarillez (YI) y de los parámetros CIE lab revelaron un buen nivel de fijación, estabilidad e intensidad del color sobre todo cuando se empleó alumbre como mordiente. Además, se verificó la estabilidad frente al lavado. En conjunto, estos resultados avalan la utilización de pigmentos naturales como opción ecológica y evidencian la eficiencia del pigmento obtenido.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con ensayos en donde se tome en cuantas variables como el tiempo, temperatura y concentración de solventes para maximizar el rendimiento y pureza de los pigmentos extraídos.
- Experimentar con mordientes ecológicos alternativos, como sales de hierro, vinagre, o extractos de plantas que tenga un alto contenido de taninos. Esto podría perfeccionar la fijación y disminuir el impacto químico del procedimiento.
- Sería conveniente incluir ensayos de solidez a la luz y al frote para determinar la durabilidad del color en condiciones de uso textil.
- Llevar a cabo estudios semiindustriales para examinar la factibilidad técnica y los costos del procedimiento teniendo en cuenta principios de economía circular y la utilización de desechos vegetales.
- Se recomienda realizar pruebas adicionales de solidez a la luz, al lavado, a la fricción y al sudor, con el fin de analizar el comportamiento del colorante natural en condiciones reales y prolongadas de uso textil.
- Debido a que la investigación se desarrolló únicamente a escala de laboratorio, es necesario efectuar pruebas piloto y de preproducción que permitan validar la eficiencia del proceso de extracción y teñido en volúmenes mayores. Estos estudios son fundamentales para determinar la viabilidad técnica del proceso en una planta industrial.
- Para estudios futuros, se proponen incluir una comparación minuciosa entre los precios de producción de colorantes naturales y sintéticos comerciales. Este estudio posibilitará la valoración de la viabilidad económica del método sugerido y su eventual implementación en el sector textil de Ecuador.

BIBLIOGRAFIA

- Aguilar calla, M. (2012). *Programa Regional Sur.*
- Ahsan, R., Masood, A., Sherwani, R., & Khushbakhat, H. (2020). Extraction and Application of Natural Dyes on Natural Fibers: An Eco-Friendly Perspective. *Review of Education, Administration & LAW*, 3(1), 63–75.
<https://doi.org/10.47067/real.v3i1.22>
- AITE I Industria. (2023). *Industria Textil Ecuador.*
<https://www.aite.com.ec/industria.html#:~:text=El%20sector%20textil%20y%20confecci%25n%20ecuatoriano%20ha%20sido%20un%20generador,econ%25mica%20de%20la%20industria%20textil>
- Ali Khan, M., Shahid-Ul-Islam, & Mohammad, F. (2016). Extraction of Natural Dye from Walnut Bark and its Dyeing Properties on Wool Yarn. *Journal of Natural Fibers*, 13(4), 458–469. <https://doi.org/10.1080/15440478.2015.1055033>
- Arildii, D., Davaasambuu, S., Bazarvaani, A., & Javzandulam, D. (2022). Optimization of Mordant Bleaching of Yak Wool with Hydrogen Peroxide at Low Temperature. *Journal of Natural Fibers*, 19(7), 2527–2538.
<https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1819512>
- ASTM-E313-20. (2020).
- Bechtold, T., Mussak, R., Mahmud-Ali, A., Ganglberger, E., & Geissler, S. (2006). Extraction of natural dyes for textile dyeing from coloured plant wastes released from the food and beverage industry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(2), 233–242. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2360>
- Benli, H. (2024). Bio-mordants: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(14), 20714–20771. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32174-8>
- Bota Sanda, L. I. (2021). Natural Dye Extraction and Dyeing of Different Fibers: A Review. *Innovative and Emerging Technologies for Textile Dyeing and Finishing*, 113–135. <https://doi.org/10.1002/9781119710288.ch4>
- Bouagga, T., Harizi, T., & Sakli, F. (2022). Effect of Mordant Bleaching on the Optical and Mechanical Properties of Black Tunisian Wool and Optimization of the Bleaching Process. *Journal of Natural Fibers*, 19(8), 3015–3027.
<https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1838992>

- Bradbury, J. H., & Ley, K. F. (1972). The chemical composition of wool. XI. Separation and analysis of exocuticle and endocuticle. *Australian Journal of Biological Sciences*, 25(6), 1235–1248. <https://doi.org/doi.org/10.1071/BI9721235>
- Bryson, W. G., Harland, D. P., Caldwell, J. P., Vernon, J. A., Walls, R. J., Woods, J. L., Nagase, S., Itou, T., & Koike, K. (2009). Cortical cell types and intermediate filament arrangements correlate with fiber curvature in Japanese human hair. *Journal of Structural Biology*, 166(1), 46–58. <https://doi.org/10.1016/j.jsb.2008.12.006>
- Caguana, M., Quindi, B., & Robayo, E. (2003). *El cultivo de tomate riñón en invernadero (Lycopersicon esculentum) Cultivo de tomate riñón en invernadero.*
- Calderón, A., Paula, M., Defas, C., & Beatriz, A. (2017). *SÍNTESIS DE COLORANTES BIODEGRADABLES A PARTIR DE LA COCHINILLA ROJA (DACTYLOPIUS COCCUS), COL MORADA (BRASSICA OLERACEA VAR. CAPITATA F. RUBRA) Y DE LA FLOR DE RETAMA (RETAMA SPHAEROCARPA L.) PARA EL TEÑIDO DE FIBRAS DE ALGODÓN.*
- Cardamone, J. M., Yao, J., & Nuñez, A. (2004). Controlling Shrinkage in Wool Fabrics: Effective Hydrogen Peroxide Systems. *Textile Research Journal*, 74(10), 887–898. <https://doi.org/10.1177/004051750407401008>
- Cardamone, J., & Yao, J. (2004). *Part II : Shrinkproofing of Wool Properties.* 565–570.
- Chanjí, E. D. R. ;, Peche, O., & Aucahuasi, J. ; (2017). *Proyecto de industrialización del hilado de fibra de alpaca de la empresa “Nina Pitay SAC.”* Universidad San Ignacio de Loyola.
- Chavez, B., Almirón, J., Churata, R., Valverde-ponce, K., Tupayachy-quispe, D., & Velasco, F. (2024). *CHARACTERIZATION AND EVALUATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF BLENDED OF YARNS BASED ON ALPACA AND MILK PROTEIN FIBERS.* 1–16.
- ColorimetroDS-200 . (2024). https://www.chnspec.net/DS-200-Portable-Spectral-Colorimeter.html?utm_source=chatgpt.com
- Cruz, A., Yucra, A., Gutiérrez, G. A., Burgos, A., Morante, R., Gutiérrez, J. P., Cervantes, I., & Wurzinger, M. (2021). Colorimetry analysis of coat color and its relationship with fiber traits in alpacas. *Animal*, 15(5), 100219. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100219>

- Czaplicki, Z., & Ruszkowski, K. (2014). Optimization of Scouring Alpaca Wool by Ultrasonic Technique. *Journal of Natural Fibers*, 11(2), 169–183.
<https://doi.org/10.1080/15440478.2013.864577>
- Dai, J., & Mumper, R. J. (2010). Plant phenolics: Extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*, 15(10), 7313–7352.
<https://doi.org/10.3390/molecules15107313>
- Do, Q. D., Angkawijaya, A. E., Tran-Nguyen, P. L., Huynh, L. H., Soetaredjo, F. E., Ismadji, S., & Ju, Y. H. (2014). Effect of extraction solvent on total phenol content, total flavonoid content, and antioxidant activity of Limnophila aromatica. *Journal of Food and Drug Analysis*, 22(3), 296–302. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2013.11.001>
- Ehsan Kh, I., & Aghareed M, T. (2022). Comparative Study on Different Types of Alum Sludge Conditioners. *Journal of Advanced Engineering Trends*, 41(1), 1–12.
<https://doi.org/10.21608/jaet.2020.36083.1024>
- Espadero Bermeo, S. G. (2018). *Comparación de la capacidad antioxidante de cuatro metabolitos secundarios presentes en Taraxacum officinale (diente de león) frente a n-acetil cisteína un antioxidante comercial*. 1–114.
- Eyüpoglu, S., Eyüpoglu, C., Merdan, N., & Karaku, O. (2024). *Investigation of Dyeing Characteristics of Merino Wool Fiber Dyed with Sustainable Natural Dye Extracted from Aesculus hippocastanum*.
- Fan, M., Zhang, X., Song, H., & Zhang, Y. (2023). Dandelion (Taraxacum Genus): A Review of Chemical Constituents and Pharmacological Effects. *Molecules*, 28(13).
<https://doi.org/10.3390/molecules28135022>
- Fan, R., Gu, Z., Guang, X., Marín, J. C., Varas, V., González, B. A., Wheeler, J. C., Hu, Y., Li, E., Sun, X., Yang, X., Zhang, C., Gao, W., He, J., Munch, K., Corbett-Detig, R., Barbato, M., Pan, S., Zhan, X., ... Dong, C. (2020). Genomic analysis of the domestication and post-Spanish conquest evolution of the llama and alpaca. *Genome Biology*, 21(1), 1–26. <https://doi.org/10.1186/s13059-020-02080-6>
- Fu, G., Zhang, X., Chu, X., Zhou, Y., Peng, X., Chen, Y., Su, M., Kuang, M., & Song, Y. (2021). Rapid fabrication of photonic crystal patterns with iridescent structural colors on textiles by spray coating. *Dyes and Pigments*, 195(August), 109747.
<https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2021.109747>

- Ghasemian, R., Barani, H., & Khazaei, F. (2025). Surface modification and performance of wool fibers after combined plasma and enzyme treatments. *Scientific Reports*, 15(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-93665-3>
- Gupta, J., Taneja, S., Bharti, R., Bhalla, V. K., & Jain, A. (2023). Effect of laser bleaching, ultrasonic scaling and powered tooth brushing on surface roughness and bacterial adherence of class V composite restorations. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*, 13(3), 429–435. <https://doi.org/10.1016/j.jobcr.2023.03.012>
- Gürkan Ünal, P., Atav, R., Ilarslan, S., & Berkhan Kastaci, B. (2019). The effect of using alpaca and silk instead of wool in weft yarns on the woollen fabric properties. *Journal of Natural Fibers*, 16(7), 1043–1054. <https://doi.org/10.1080/15440478.2018.1448319>
- Huamani, L. (2024). *Efecto del teñido de tinte de “cochinilla” (Dactylopius coccus) y mordientes metálicos sobre las propiedades de colorimétricas, bandas químicas y de solidez de color en fibra de alpaca Huacaya (Vicugna pacos)*. Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.
- Hurren, C., Cookson, P., & Wang, X. (2008). The effects of ultrasonic agitation in laundering on the properties of wool fabrics. *Ultrasonics Sonochemistry*, 15(6), 1069–1074. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2008.04.002>
- INDECOP. (2014). Fibra De Alpaca Clasificada. *Definiciones, Clasificación Por Grupos de Calidades, Requisitos y Rotulado. INDECOP y Sub Comisión de Normas Técnicas de La Fibra de Alpaca*. Lima, Perú.
- Iqbal, S., & Ansari, T. N. (2021). *SUSTAINABLE DYE EXTRACTION Extraction and Application of Natural Dyes*. 3–42.
- Jankowska, D., Wyrostek, A., Patkowska–Sokoła, B., & Czyż, K. (2021). Comparison of Physico-mechanical Properties of Fibre and Yarn Made of Alpaca, Sheep, and Goat Wool. *Journal of Natural Fibers*, 18(10), 1512–1517. <https://doi.org/10.1080/15440478.2019.1691126>
- Joselyn, F. (2024). *Biodegradable Compounds and Calcium Carbonate*. 3(1), 52–68.
- Kamel, M. M., Abdelghaffar, F., & El-Zawahry, M. M. (2011). Eco-friendly Dyeing of Wool with a Mixture of Natural Dyes. *Journal of Natural Fibers*, 8(4), 289–307. <https://doi.org/10.1080/15440478.2011.627114>
- Kamel, M. M., El-Shishtawy, R. M., Yussef, B. M., & Mashaly, H. (2005). Ultrasonic

assisted dyeing III. Dyeing of wool with lac as a natural dye. *Dyes and Pigments*, 65(2), 103–110. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2004.06.003>

Kumar, N., Pratibha, Neeraj, Sami, R., Khojah, E., Aljahani, A. H., & Al-Mushhin, A. A. M. (2022). Effects of drying methods and solvent extraction on quantification of major bioactive compounds in pomegranate peel waste using HPLC. *Scientific Reports*, 12(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11881-7>

Lawson, L., Ford, M., Hoque, M. S., Chute, W., Bressler, D. C., & Dolez, P. I. (2023). Processes and Challenges for the Manufacturing of Lyocell Fibres with Alternative Agricultural Feedstocks. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(23). <https://doi.org/10.3390/app132312759>

León, C., & Bojorque, R. (2021). *Diseño de una esarmenadora automática para el proceso de elaboración de lana de alpaca en la comunidad Cebada Loma, Parroquia Jerusalén*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.

Lichtenthaler, H. K., & Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV - VIS Spectroscopy . *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 1(1). <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01>

Lis, B., Jedrejek, D., Rywaniak, J., Soluch, A., Stochmal, A., & Olas, B. (2020). Flavonoid Preparations from Taraxacum officinale L. Fruits—A Phytochemical, Antioxidant and Hemostasis Studies. *Molecules*, 25(22). <https://doi.org/10.3390/MOLECULES25225402>

Lopez, S. (2021). Tomate riñón: características y principales plagas. *Del Monte AG*. https://delmonteag.com.ec/tomate-rinon-caracteristicas-y-principales-plagas/?utm_source=chatgpt.com

Maoka, T. (2020). Carotenoids as natural functional pigments. *Journal of Natural Medicines*, 74(1). <https://doi.org/10.1007/s11418-019-01364-x>

Mauliddiyah, N. L. (2021). *Extracción asistida por ultrasonido de licopenos provenientes de residuos agroindustriales de tomate de árbol (Solanum betaceum Cav.) con capacidad antioxidante*. 6.

McGregor, B. A. . (2012). *Properties, processing and performance of rare natural animal fibres : a review and interpretation of existing research results* (Issue 12). Rural Industries Research and Development Corporation.

- Mendez, J. (2020). Tomate, Tomatera, Jitomate. *Infojardin*.
https://fichas.infojardin.com/hortalizas-verduras/tomate-tomatera-jitomate.htm?utm_source=chatgpt.com
- Menegazzo, M. A. B., Giacomini, F., & Barros, M. A. S. D. de. (2020). Study of wool dyeing with natural dye extracted from chamomile flowers. *Journal of Natural Fibers*, 17(2), 271–283. <https://doi.org/10.1080/15440478.2018.1489333>
- Mucha, A., & Janeczek, M. (2017). Morphological and elemental analysis of alpaca hair using scanning electron microscopy with energy-dispersive X-ray spectroscopy (SEM-EDX). *Medycyna Weterynaryjna*, 74(5), 295–300.
<https://doi.org/dx.doi.org/10.21521/mw.6046>
- Niloy Rahaman, M., Sahadat Hossain, M., Razzak, M., Uddin, M. B., Chowdhury, A. M. S., & Khan, R. A. (2019). Effect of dye and temperature on the physico-mechanical properties of jute/PP and jute/LLDPE based composites. *Heliyon*, 5(6), e01753.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01753>
- Pariona, J. (2017). Rendimientos de categorización y clasificación de fibra de alpaca (Vicugna pacos). *Universidad Nacional Agraria La Molina Escuela De Posgrado Maestría En Producción Animal*, 81.
- Phan, K., Raes, K., Van Speybroeck, V., Roosen, M., De Clerck, K., & De Meester, S. (2021). Non-food applications of natural dyes extracted from agro-food residues: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 301, 126920.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126920>
- Popescu, V., Blaga, A. C., Pruneanu, M., Cristian, I. N., Pîslaru, M., Popescu, A., Rotaru, V., Crețescu, I., & Cașcaval, D. (2021). Green chemistry in the extraction of natural dyes from colored food waste, for dyeing protein textile materials. *Polymers*, 13(22).
<https://doi.org/10.3390/polym13223867>
- Quispe, A., Huamani, L., & Ccopa, R. (2025). Colorimetric and Textile Properties of Huacaya Alpaca Fibers Dyed With Cochineal: A Sustainable Approach. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 19(1), e011033. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v19n1-150>
- Rahman, M., & Golam Nur, M. (2014). Feasible Application of Modern Eco-Friendly Treatment of Wool Fabric before Coloration. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 4(7), 1–7.

Repon, M. R., Islam, M. T., & Mamun, M. A. Al. (2017). Ecological risk assessment and health safety speculation during color fastness properties enhancement of natural dyed cotton through metallic mordants. *Fashion and Textiles*, 4(1).

<https://doi.org/10.1186/s40691-017-0109-x>

Rodas, M. (2021). *Obtención de tintes naturales a partir de raíces de plantas*. 1–107.

https://r.search.yahoo.com/_ylt=AwrEszNmVONmdeUK57Z7egx.;_ylu=Y29sbwNiZjEEcG9zAzQEdnRpZAMEc2VjA3Ny/RV=2/RE=1726203111/RO=10/RU=https%3A%2F%2Fdspace.uazuay.edu.ec%2Fbitstream%2Fdatos%2F11079%2F1%2F16617.pdf/RK=2/RS=Qmw9HQ.MaHnfWTRePsoDWYnJIEM-

Rodriguez-Amaya, D. B. (2019). Update on natural food pigments - A mini-review on carotenoids, anthocyanins, and betalains. *Food Research International*, 124(2017), 200–205. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.028>

Saca, S. (2023). *Propiedades Físico-Mecánicos De La Fibra De Alpaca Utilizada En La Trasformación Artesanal*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Salauddin Sk, Rony, M. I. A., Haque, M. A., & Shamim, A. M. (2021). Review on Extraction and Application of Natural Dyes. *Textile and Leather Review*, 4(4), 218–233. <https://doi.org/10.31881/TLR.2021.09>

Sasidharan, S., Chen, Y., Saravanan, D., Sundram, K. M., & Yoga Latha, L. (2011). *EXTRACTION, ISOLATION AND CHARACTERIZATION OF BIOACTIVE COMPOUNDS FROM PLANTS' EXTRACTS*. 8, 93–130. https://doi.org/10.1007/978-3-642-56936-4_2

Serrano, O., & Vilcapaza, G. (2023). Evaluación y determinación de colorantes azoicos mediante la aplicación de ultrasonido como método alternativo en el teñido fibras de Alpaca. In *Universidad Católica de Santa María*. Universidad Católica de Santa María.

Shim, S., & Jakes, K. A. (2006). Differentiating alpaca fibres by scanning electron microscopy and energy dispersive spectrometry. *Journal of Camel Practice and Research*, 13(2), 193–199.

Shukla, D., & Vankar, P. S. (2013). Natural Dyeing with Black Carrot: New Source for Newer Shades on Silk. *Journal of Natural Fibers*, 10(3), 207–218.

<https://doi.org/10.1080/15440478.2012.757031>

- Sultana, B., Anwar, F., & Ashraf, M. (2009). Effect of extraction solvent/technique on the antioxidant activity of selected medicinal plant extracts. *Molecules*, 14(6), 2167–2180. <https://doi.org/10.3390/molecules14062167>
- Taller de Alseide. (2025). *Macerando Naturaleza*. <https://tallerdealseide.com/macerando-naturaleza>
- Tapia, S. (2023). Evaluación de la fibra de alpaca (Lama pacos) teñido con colorante del tallo de tankar (Berberis boliviana L.) a distintos mordientes y parámetros. In *Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac* (Vol. 1, Issue 1). Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.
- Toapanta Guanín, S. P. (2024). Evaluación de las variables de proceso de un método de extracción de diente de león (Taraxacum Officinale) y el diseño de un extractor piloto. *Ayan*, 15(1), 37–48.
- Torres, A. (2012). *Caracterización física, química y compuestos bioactivos de pulpa madura de tomate*. https://www.alanrevista.org/ediciones/2012/4/art-10/?utm_source=chatgpt.com
- Vielba, M. (2022). *Anatomía de la fibra de lana - Pirilana*. <https://pirilana.com/fibra-de-lana-anatomia/>
- Wang, L., Li, T., Liu, F., Liu, D., Xu, Y., Yang, Y., Zhao, Y., & Wei, H. (2019). Ultrasonic-assisted enzymatic extraction and characterization of polysaccharides from dandelion (Taraxacum officinale) leaves. *International Journal of Biological Macromolecules*, 126, 846–856. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.232>
- Wang, X., Yi, F., Zhang, W., & Guo, X. (2022). Optimization of the Application of Walnut Green Peel Pigment in Wool Fiber Dying and Fixing Process under Microwave-assisted Condition. *Journal of Natural Fibers*, 19(13), 4854–4867. <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1870632>
- Wang, Y., Zhang, T., Huang, M., Zhang, M., & He, Y. C. (2024). Preparation of dandelion flower extract-based polyvinyl alcohol-chitosan-dandelion-CuNPs composite gel for efficient bacteriostatic and dye adsorption. *International Journal of Biological Macromolecules*, 281(P4), 136512. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.136512>
- Weber, T. (2000). *Diente de León*. 20–23.
- Yang, R., Li, J., Cheng, G., Inta, A., & Yang, L. (2023). Textiles Dyeing with Pomegranate

(*Punica granatum*) Peel Extract Using Natural Mordant. *Journal of Natural Fibers*, 20(2). <https://doi.org/10.1080/15440478.2023.2282056>

Yousefzadeh Valendeh, S., Fattahi, M., Asghari, B., & Alizadeh, Z. (2023). Dandelion flower-fabricated Ag nanoparticles versus synthetic ones with characterization and determination of photocatalytic, antioxidant, antibacterial, and α -glucosidase inhibitory activities. *Scientific Reports*, 13(1), 1–17. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42756-0>

ANEXOS

Figura 21

Recolección de las hojas de tomate riñón y flor de diente de león



Figura 22

Preparación de la Materia Prima para el secado



Figura 23
Analisis de absorción de luz por espectrofotometría



Figura 24.
Extracción de los pigmentos con los diferentes solventes



Figura 25.
Teñido de la fibra de alpaca



Figura 26
Preparación de la Fibra para microscopía de barrido SEM



Figura 27

Toma del color en las diferentes escalas de medición



Figura 28

Toma de pH de los extractos

