



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD INGENIERÍA

CARRERA DE AGROINDUSTRIA

Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de hilos obtenidos a partir de la lana de oveja (*Ovis orientalis aries*) posterior a la aplicación de un agente blanqueador obtenido a base de diferentes concentraciones de peróxido de hidrógeno y ortiga blanca (*Lamium álbum L.*)

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Agroindustrial

Autor:

Janeta Ordoñez, Anthony Jhosue

Tutor:

Mgs. Sebastián Alberto Guerrero Luzuriaga

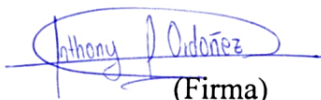
Riobamba, Ecuador. 2024

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, Anthony Jhosue Janeta Ordoñez, con cédula de ciudadanía 060514670-3, autor del trabajo de investigación titulado: Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de hilos obtenidos a partir de la lana de oveja (*Ovis orientalis aries*) posterior a la aplicación de un agente blanqueador obtenido a base de diferentes concentraciones de peróxido de hidrógeno y ortiga blanca (*Lamium álbum*), 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 autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, a los 25 días del mes de noviembre de 2024



(Firma)

Anthony Jhosue Janeta Ordoñez

C.I: 0605146703

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 las propiedades físico-mecánicas de hilos obtenidos a partir de la lana de oveja (*Ovis orientalis aries*) posterior a la aplicación de un agente blanqueador obtenido a base de diferentes concentraciones de peróxido de hidrógeno y ortiga blanca (*Lamium album L.*) bajo la autoría de Anthony Jhosue Janeta Ordoñez 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 06 días del mes de septiembre o de 2024.



Sebastián Alberto Guerrero Luzuriaga

C.I: 0603950577

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

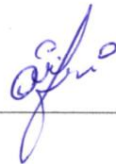
Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de hilos obtenidos a partir de la lana de oveja (*Ovis orientalis aries*) posterior a la aplicación de un agente blanqueador obtenido a base de diferentes concentraciones de peróxido de hidrógeno y ortiga blanca (*Lamium álbum*), por Anthony Jhosue Janeta Ordoñez, con cédula de identidad número 0605146703, bajo la tutoría de Mgs. 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 a los 25 días del mes de noviembre del 2024

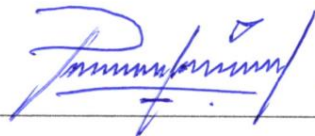
Cristian Patiño, PhD
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



José Miranda, PhD.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Paul Ricaurte, PhD.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





CERTIFICACIÓN

Que, **Janeta Ordoñez Anthony Jhosue** con CC: **0605146703**, estudiante de la Carrera de **AGROINDUSTRIA**, Facultad de Ingeniería; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de hilos obtenidos a partir de la lana de oveja (*Ovis orientalis aries*) posterior a la aplicación de un agente blanqueador obtenido a base de diferentes concentraciones de peróxido de hidrogeno y ortiga blanca (*Lamium álbum L.*)**", cumple con el 1%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **TURNITIN**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 24 de octubre de 2024



SEBASTIAN ALBERTO
GUERRERO LUZURIAGA

Mgs. Sebastián Guerrero L.
TUTOR TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DEDICATORIA

Le dedico el resultado de este trabajo a mi querida familia, con profundo agradecimiento y amor. Su constante apoyo, comprensión y amor incondicional han sido fundamentales para llegar a este logro.

A lo largo de este camino, he tenido la oportunidad de conocer a docentes maravillosos que han enriquecido mi experiencia y me han inspirado a seguir investigando. Su dedicación y sabiduría me han guiado y motivado en cada etapa de este viaje académico.

Cumplir con esta investigación ha sido un sueño. Este logro no solo es mío, sino también de todos ustedes que han estado a mi lado, brindándome fuerzas y ánimo para seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mi querida familia. Su amor incondicional, apoyo constante y confianza en mis capacidades han sido el pilar fundamental que me ha sostenido durante todo este camino. Sin ustedes, este logro no habría sido posible.

A mi tutor y amigo, el Ing. Sebastián Guerrero, y al Ing. Cristian Patiño, por su invaluable asesoría académica, su dedicación y por compartir conmigo su vasto conocimiento. Su guía ha sido esencial para la realización de esta investigación. También, extendiendo mi agradecimiento a los docentes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, cuya colaboración y apoyo técnico fueron cruciales para el desarrollo de este trabajo.

A la Universidad Nacional de Chimborazo, por brindarme una educación de calidad y las herramientas necesarias para llevar a cabo este proyecto. A los profesores que he tenido la fortuna de conocer durante esta investigación, su pasión por la enseñanza y su compromiso con el aprendizaje me han inspirado profundamente.

A mis amigos, por su compañía, apoyo emocional y por estar siempre presentes en los momentos buenos y malos. Sus palabras de aliento y su amistad han sido una fuente de motivación constante.

Finalmente, agradezco a la vida por todo lo bueno y lo malo que ha traído. Cada experiencia ha sido una lección que me ha permitido llegar hasta aquí y alcanzar este logro.

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I. INTRODUCCION..... 17

1.1 Antecedentes 17

1.2 Problema..... 18

1.2.1 Planteamiento del problema 18

1.3 Justificación..... 18

1.4 Objetivos 19

1.4.1 General 19

1.4.2 Específicos..... 19

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE 20

2.1 Estado del arte 20

2.2 Marco teórico 21

2.2.1 Fibras naturales..... 21

2.2.2 Oveja (*Ovis orientalis aries*) 21

2.2.3 Lana de oveja..... 21

2.2.4 Estructura de la lana 22

2.2.5 Composición química de la lana 22

2.2.6 Clasificación de la lana..... 23

2.2.7 Propiedades de la lana de oveja..... 23

2.2.8 Blanqueamiento de la lana de oveja 25

2.2.9 Blanqueamiento con peróxido de hidrógeno..... 25

2.2.10 Proceso eficiente para el blanqueamiento 25

2.2.11 Hila por rueda giratoria 25

| | | |
|--|---|----|
| 2.2.12 | Saberes Ancestrales | 26 |
| 2.2.13 | Extractos vegetales | 26 |
| 2.2.14 | Ortiga Blanca..... | 26 |
| 2.2.15 | Caracterización de ortiga blanca | 26 |
| 2.2.16 | Tendencias en la industria textil por prendas ecológica..... | 27 |
| 2.2.17 | Certificaciones eco o bio para hilos naturales | 27 |
| CAPÍTULO III. METODOLOGIA..... | | 28 |
| 3.1 | Tipo de investigación | 28 |
| 3.2 | Diseño de Investigación | 28 |
| 3.2.1 | Equipos, materiales, reactivos y materia prima..... | 28 |
| 3.2.2 | Obtención y clasificación de la lana..... | 29 |
| 3.2.3 | Acondicionamiento de la ortiga blanca (<i>Lamium album</i>)..... | 30 |
| 3.2.4 | Obtención de un extracto de ortiga blanca (<i>Lamium album</i>) por decocción..... | 30 |
| 3.2.5 | Obtención de un extracto de ortiga blanca (<i>Lamium album</i>) por Infusión..... | 31 |
| 3.2.6 | Desengrasado de la lana de oveja para el proceso de blanqueamiento | 32 |
| 3.2.7 | Tratamientos a partir de diferentes concentraciones de peróxido de hidrógeno y extractos de ortiga blanca | 33 |
| 3.2.8 | Proceso de blanqueamiento a partir de diferentes concentraciones de peróxido de hidrógeno y extractos de ortiga blanca..... | 33 |
| 3.2.9 | Obtención de hilos a partir de lana blanqueada..... | 34 |
| 3.3 | Población y Tamaño de la muestra..... | 34 |
| 3.4 | Métodos de Análisis | 35 |
| 3.4.1 | Índice de Blancura, Amarillez y Tintura | 36 |
| 3.4.2 | Prueba de solubilidad alcalina | 36 |
| 3.4.3 | Determinación de propiedades físico-mecánicas de hilos blanqueados..... | 37 |
| 3.4.4 | Microscopia por barrido electrónico Metodología..... | 38 |
| 3.5 | Técnicas de análisis. | 39 |
| CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | | 40 |
| 4.1 | Resultados de índice de amarillez y blancura | 40 |
| 4.2 | Análisis de microscopia por barrido electrónico SEM y resistencia a álcali | 43 |
| 4.3 | Análisis de las propiedades físico-mecánicas de los hilos de la fibra de oveja..... | 45 |
| CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | | 49 |
| 5.1 | Conclusiones..... | 49 |
| 5.2 | Recomendaciones | 50 |

| | |
|--------------------|----|
| BIBLIOGRAFÍA | 51 |
| ANEXOS | 55 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Diámetro de las Fibras Recolectadas de las Especies Animales Examinadas..... | 20 |
| Tabla 2 Propiedades Físico-mecánicas de las especies examinadas | 20 |
| Tabla 3 Diámetro de las Fibras Recolectadas de las Especies Animales Examinadas..... | 20 |
| Tabla 4 Grado de blancura, índice de amarillez y solubilidad en álcali de fibras de lana tratadas y no tratadas | 21 |
| Tabla 5 Efecto del blanqueo sobre las propiedades del hilo de yak. | 21 |
| Tabla 6 Equipos, materiales, reactivos y materias primas..... | 28 |
| Tabla 7 Tratamientos del agente blanqueador | 33 |
| Tabla 8 Proceso de hilado por torsión en maquina giratoria | 35 |
| Tabla 9 Parámetros analizados | 35 |
| Tabla 10 Coeficientes para el índice de amarillez, para el iluminante D65. | 36 |
| Tabla 11 Coeficientes para el índice de blancura, para el iluminante D65. | 36 |
| Tabla 12 Índice de amarillez e índice de blancura Comparaciones en parejas por Tukey ± media y desviación estándar..... | 41 |
| Tabla 13 Comparaciones en parejas por Tukey ± media y desviación estándar de la alcalinidad | 43 |
| Tabla 14 Propiedades físicas de lana de oveja comparaciones en parejas por Tukey ± media y desviación estándar..... | 45 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Estructura de fibra de lana | 22 |
| Figura 2 Estructura química de la queratina..... | 22 |
| Figura 3 Clasificación de la lana | 23 |
| Figura 4 Esquila y selección de la lana..... | 29 |
| Figura 5 Acondicionamiento de la ortiga blanca..... | 30 |
| Figura 6 Diagrama de obtención del extracto de ortiga blanca por decocción | 31 |
| Figura 7 Diagrama de obtención del extracto de ortiga blanca por infusión..... | 31 |
| Figura 8 Diagrama del Procedimiento de desengrasado de la lana | 32 |
| Figura 9 Diagrama del procedimiento previo para el proceso de blanqueamiento. | 33 |
| Figura 10 Proceso de hilado por torsión en maquina giratoria..... | 34 |
| Figura 11 Diagrama de proceso de solubilidad en álcali..... | 36 |
| Figura 12 Diagrama de determinación de propiedades físico-mecánicas de hilos..... | 37 |
| Figura 13 Microscopia por barrido | 38 |
| Figura 14 | 41 |
| Figura 15 Imágenes SEM de cada tratamiento | 43 |
| Figura 16 Oveja (<i>Ovis orientalis aries</i>) | 55 |
| Figura 17 Esquilado a la oveja | 55 |
| Figura 18 Vellón de la Oveja (<i>Ovis orientalis aries</i>)..... | 55 |
| Figura 19 Clasificación del vellón..... | 55 |
| Figura 20 Escarmenado de la lana de oveja | 55 |
| Figura 21 Pesado de las muestras de lana de oveja | 55 |
| Figura 22 Pesado del Carbonato de sodio | 56 |
| Figura 23 Desengrasado de la lana de oveja | 56 |
| Figura 24 Selección de hojas..... | 56 |
| Figura 25 Deshidratado de las hojas..... | 56 |
| Figura 26 Pesado de las hojas..... | 56 |
| Figura 27 Elaboración de extractos | 56 |
| Figura 28 Elaboración de tratamientos..... | 57 |
| Figura 29 Manejo del peróxido de hidrógeno | 57 |
| Figura 30 Pesado del piro fosfato de sodio (Estabilizante) | 57 |
| Figura 31 Blanqueamiento de las muestras | 57 |
| Figura 32 Secado de lana de oveja | 58 |

| | |
|--|----|
| Figura 33 Toma de color de la lana de oveja..... | 58 |
| Figura 34 Eliminación de la humedad de la muestra | 58 |
| Figura 35 Resistencia en álcali | 58 |
| Figura 36 Preparación de las muestras | 58 |
| Figura 37 Lectura del diámetro | 58 |
| Figura 38 Hilado por maquinas giratorias | 59 |
| Figura 39 Obtención de madejas de hilos | 59 |
| Figura 40 Calibración de equipo | 59 |
| Figura 41 Evaluación de propiedades físico-mecánicas..... | 59 |
| Figura 42 Preparación de muestras..... | 60 |
| Figura 43 Toma de imagen SEM | 60 |

RESUMEN

La lana de oveja es una fibra natural obtenida del vellón de las ovejas. Es una de las fibras más utilizadas por el ser humano desde tiempos remotos, debido a sus propiedades físico-mecánicas. Su composición química se caracteriza por la proteína queratina, la cual está recubierta por escamas llamadas cutícula, que le otorgan una mayor resistencia, resultando ser una fibra única para la industria textil. El objetivo de este estudio fue evaluar las propiedades físico-mecánicas de hilos obtenidos a partir de la lana de oveja (*Ovis orientalis aries*) posterior a la aplicación de un agente blanqueador, elaborado con diferentes concentraciones de peróxido de hidrógeno y ortiga blanca (*Lamium album*). Se utilizaron dos métodos de obtención de extractos: infusión y decocción, los cuales son comúnmente utilizados en las zonas andinas del Ecuador. Para formular el agente blanqueador, se emplearon diferentes concentraciones de extracto y peróxido de hidrógeno, además de aplicar estos dos de forma individual. La fibra fue blanqueada a una temperatura de 60°C por 30 minutos, resultando ser estas las condiciones adecuadas para que la fibra no se vea afectada por la temperatura. Consecuentemente, se evaluaron el índice de blancura y el de amarillez, con el fin de determinar la eficiencia de los diferentes tratamientos. Las fibras resultantes fueron hiladas en una rueda giratoria, en la que los filamentos tratados fueron torcidos por la rotación y enrollados en una bobina, lo que permitió la formación de hilos. Posteriormente, se analizaron sus propiedades físico-mecánicas en la Máquina Universal EZ-S SHIMADZU. Se aplicó el análisis de varianza ANOVA de medidas repetidas y la prueba de Tukey ($p < 0,05$) para evaluar si existían diferencias significativas entre los diferentes tratamientos. La combinación de extractos de ortiga blanca con el peróxido de hidrógeno, en comparación con el tratamiento control, indicó que a menor concentración de peróxido de hidrógeno y a mayor concentración de extractos de ortiga blanca, mayor fue el índice de blancura y menor el índice de amarillez. A pesar de esto, las propiedades físico-mecánicas se vieron afectadas por la presencia del peróxido de hidrógeno en el agente blanqueador, ya que altera la estructura de la fibra, debilitándola. En cambio, la utilización exclusiva de extractos de ortiga blanca contribuyó a obtener índices de blancura superiores respecto a la fibra cruda, pero inferiores en comparación con el tratamiento control y los otros tratamientos en los que se combinó con peróxido de hidrógeno. No obstante, sus propiedades físico-mecánicas, como el diámetro, la fuerza de ruptura, el máximo desplazamiento, la máxima deformación y la resistencia a álcalis, fueron superiores debido a la ausencia de peróxido de hidrógeno, el cual es responsable de debilitar la fibra. Así, este proceso se perfila como una alternativa viable, alineándose con las nuevas tendencias en la industria textil.

Palabras claves: lana de oveja, blanqueamiento, extractos, ortiga blanca, propiedades.

Abstract

The sheep wool is a natural fiber derived from the sheep's fleece. It is one of the most used fibers by human beings since ancient times, because of its physical-mechanical properties. Its chemical composition is characterized by a protein called keratin, which is covered by scales called cuticle that give it greater resistance, making it a unique fiber for the textile industry. The aim of this research was to determine the physical-mechanical properties of yarns obtained from sheep wool (*Ovis orientalis aries*) after the application of a bleaching agent obtained from different concentrations of hydrogen peroxide and white nettle (*Lamium album*). Two methods were used to obtain extracts, by infusion and decoction, which are commonly used in the Andean zones of Ecuador, to develop the bleaching agent. After the development, the fiber was bleached at a temperature of 60°C for 30 minutes, which proved to be the appropriate conditions for the fiber not to be affected by the temperature. Thereafter, the color was evaluated with the Colorimeter cr-410 to quantify its whiteness and yellowness index. The fibers were spun on a rotating wheel where the treated fibers are twisted by the rotation and wound on a bobbin allowing the development of yarns, and then their physical-mechanical properties were analyzed in the EZ-S SHIMADZU Universal Machine. It was applied a repeated measures ANOVA analysis where it was evaluated the effect of bleaching agent obtained from different concentrations of hydrogen peroxide and white nettle. To determine the statistical differences, we applied Tukey's test ($p < 0.05$). The combination of white nettle extracts with hydrogen peroxide, regarding the control treatment, it was found that the lower concentration of hydrogen peroxide and the higher concentration of white nettle extracts, the higher the whiteness index and the lower the yellowness index. However, the physical-mechanical properties were affected by the presence of hydrogen peroxide in the bleaching agent, since it affects the fiber structure, resulting in weaker fibers. On the other hand, the exclusive use of white nettle extracts contributed to obtain higher whiteness indexes with respect to the crude fiber, but lower than the control treatment and the other treatments where it was combined with hydrogen peroxide. Nevertheless, its physical-mechanical properties such as diameter, breaking strength, maximum displacement, maximum deflection and alkali resistance were superior because of the absence of hydrogen peroxide, which is responsible for weakening the fiber, thus being an alternative process, in line with the new trends in the textile industry.

Keywords:

SHEEP WOOL, BLEACHING, EXTRACTS, WHITE NETTLE, PROPERTIES.



Reviewed by

Msc. ENRIQUE GUAMBO YEROVI

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0601802424

CAPÍTULO I. INTRODUCCION.

1.1 Antecedentes

Las fibras naturales han sido esenciales para la confección y la fabricación de diversos instrumentos durante siglos. Sin embargo, la llegada de las fibras sintéticas a finales del siglo XX, influyó significativamente el uso de dichas fibras. Hoy en día, las crecientes preocupaciones medioambientales y el agotamiento de los recursos petroleros han llevado a una revalorización por las fibras naturales. Estas fibras tienen propiedades destacadas como alto módulo, baja densidad, costo reducido, reciclabilidad, no toxicidad y fácil accesibilidad. Estas propiedades hacen de las fibras naturales una opción atractiva y sostenible para industrias e investigadores que buscan alternativas respetuosas con el medio ambiente (Kılınç et al., 2017).

Desde la antigüedad, la lana ha sido altamente valorada en diversas culturas, incluyendo las civilizaciones de China, Babilonia y Egipto, por su capacidad para crear textiles de calidad. Con el paso del tiempo, las técnicas para obtener esta fibra se perfeccionaron significativamente. Durante la Edad de Hierro, se produjo un cambio revolucionario en la forma de recolectar la lana, se pasó de arrancarla manualmente a esquilarla con herramientas de corte especializadas. Este avance tecnológico no solo optimizó el proceso de extracción de la lana, sino que también mejoró el bienestar de los animales y la calidad del vellón obtenido (Eberle, 2008) .

La manufactura en la industria textil de la lana es un proceso global que transforma la lana cruda en un material refinado listo para su uso. La composición de la lana varía según factores como la raza ovina, la geografía y el clima, lo que influye en la cantidad de impurezas presentes, que pueden ser hasta la mitad del peso de la lana cruda. Para obtener lana de alta calidad se requiere métodos especializados para asegurar un producto excepcional, este proceso abarca etapas como el desgrasado, lavado, blanqueado, acabado y empacado (Allafi et al., 2022).

La lana ha sido valorada por su calidad y versatilidad, utilizada ampliamente en la producción de una variedad de artículos, incluyendo cortinas, almohadas, alfombras, calcetines, mantas y vestimenta diversa Strand et al., (2010). En el mercado comercial, la lana blanca tiene un precio alto debido a su adaptabilidad en cualquier tonalidad. Aunque las fibras de lana suelen ser de color blanco, también pueden ser negras o presentar tonos amarillentos debido a la presencia de pigmentos (Bouagga et al., 2022).

Las técnicas para blanquear las fibras de lana implican el uso de oxidantes, reductores y una combinación de ambos. Comúnmente se utilizó diversos blanqueadores químicos para desarrollar métodos alternativos a los tradicionales. Estos incluyen los siguientes: mono persulfato de potasio (KHSO_5); dicloro isocianato de sodio ($\text{C}_3\text{Cl}_2\text{N}_3\text{NaO}_3$); borohidruro de sodio (NaBH_4); peróxido de hidrógeno (H_2O_2 , 35%); ácido oxálico de sodio ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$); perborato de sodio (NaBO_3); y cloruro de sodio (NaCl) Erdoğan et al., (2021).

En este contexto, es necesario que la lana tenga un proceso de blanqueamiento, ya sea de manera natural o con usos de agentes químicos (blanqueadores). Los saberes ancestrales juegan un papel importante ya que, a lo largo de los años, estos saberes han sido una fuente crucial de identidad y pertenencia, proporcionando a los individuos un sentido de continuidad y propósito que trasciende en generaciones Kim et al., (2024). Puesto que los extractos de la ortiga blanca son utilizados como un agente blanqueador por sus propiedades que favorecen al proceso de blanqueamiento de la lana de oveja en las zonas andinas del Ecuador. Se espera que los resultados de esta investigación permitan determinar la concentración óptima del agente blanqueador para obtener hilos de lana de oveja con excelentes índices de blancuras y mejores propiedades físicas y mecánicas.

1.2 Problema

1.2.1 Planteamiento del problema

En el sector textil el uso de agentes químicos para generar el proceso de blanqueamiento es muy común, y pese a existir diferentes agentes, el peróxido de hidrogeno ha prevalecido, debido a sus propiedades blanqueantes, además la industria, destaca su ventaja de ser ambientalmente rentable. Esto se debe al uso reducido de productos químicos, tanto en condiciones de baja temperatura como en un único baño Erdoğan et al., (2021). Industrias textiles como Pro-Chemical & Dye Inc genera procesos de blanqueamiento con peróxido de hidrógeno al 35% v/v, sobre la lana de oveja.

Al Blanquear la lana con peróxido de hidrógeno, mejora su apariencia, pero a su vez se ve afectada su estructura, tanto externa por la descomposición de la cutícula e internamente en la desintegración de la queratina, logrando la ruptura de enlaces S-S (Cardamone et al., 2004).

En el trabajo de investigación plantea aplicar un agente blanqueador, mediante diferentes formulaciones, con distintas concentraciones de peróxido de hidrógeno y extracto de ortiga blanca. El objetivo de utilizar extractos de ortiga blanca (*Lamium album L.*) que comúnmente se utiliza en las zonas andinas del Ecuador, como saberes ancestrales, es observar el efecto que se obtiene al aplicar estos saberes sobre las propiedades de la fibra, para una posible sustitución del peróxido de hidrógeno al 35% v/v.

1.3 Justificación

Desde el punto de vista teórico, se realiza esta investigación porque, a pesar de que existen otros estudios relacionados al tema, no se han encontrado estudios con la aplicación de extractos vegetales para generar un proceso de blanqueamiento en la lana de oveja. Este estudio aplicará saberes ancestrales que se utilizan en las zonas andinas del Ecuador.

La lana, al ser una fibra natural proveniente de la oveja, debe someter a cierto procesamiento para generar una mejor apariencia. El blanqueamiento es el proceso para mejorar el aspecto, pero, a su vez, se ve afectada por su estructura, ya que el peróxido de hidrógeno reacciona con los puentes disulfuros, causando daños en la fibra.

Los saberes ancestrales en las zonas Andinas del Ecuador han sido una adquisición de conocimientos tradicional, particularmente aquellos relacionados con la genealogía y la historia de las familias, jugando un papel fundamental en la construcción del sentido de vida. A lo largo del tiempo, la transmisión de estos conocimientos ha sido esencial para cimentar la identidad y el sentido de pertenencia, otorgando a las personas una narrativa de continuidad y un propósito que se perpetúa a través de las generaciones (Kim et al., 2024).

Al desarrollar métodos alternativos de blanqueamiento en la lana de oveja, se evaluará cómo influyen en sus propiedades, dando así un protagonismo a los saberes ancestrales de las zonas andinas del Ecuador, poniendo en conocimiento que los extractos de ortiga blanca pueden remplazar el uso de peróxido de hidrógeno y otros agentes químicos en el proceso de blanqueamiento

La aplicación de este tipo de agente se genera una fibra ecológica, debido a que el proceso es sostenible y respetuoso con el medio ambiente, al no generar contaminantes químicos. Siendo atractivo para las nuevas tendencias en el mercado, puesto que estudios revelan que los mercados están optando por nuevas alternativas debido a sus consumidores (Abrar et al, 2021).

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Evaluar las propiedades físico-mecánicas de hilos obtenidos a partir de la lana de oveja (*Ovis orientalis aries*) posterior a la aplicación de un agente blanqueador obtenido a base de diferentes concentraciones de peróxido de hidrógeno y ortiga blanca (*Lamium album*)

1.4.2 Específicos

- Aplicar un agente blanqueador a partir de diferentes concentraciones de ortiga blanca (*Lamium album*) y peróxido de hidrógeno al proceso de blanqueamiento de la lana de oveja (*Ovis orientalis aries*)
- Obtener hilos a partir de la fibra textil de la lana de oveja (*Ovis orientalis aries*) blanqueada con diferentes concentraciones de ortiga blanca (*Lamium album*) y peróxido de hidrógeno
- Evaluar propiedades físico-mecánicas y ópticas de hilos a partir de la fibra textil de la lana de oveja (*Ovis orientalis aries*)

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

2.1 Estado del arte

Al analizar los parámetros físico-mecánicos de diferentes fibras de origen animal, se observó que las fibras de alpaca tenían el diámetro más pequeño, mientras que las fibras de cabra eran las más gruesas. Las fibras de cabra se destacaron por su rigidez y durabilidad, aunque eran las menos resistentes a la deformación. Por otro lado, las fibras de oveja merino mostraron la mayor elasticidad y resistencia a la deformación, pero también la menor resistencia a la rotura. Resultados similares se obtuvieron para los hilos fabricados con estas fibras; sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en la tenacidad de las muestras (Jankowska et al., 2021).

Tabla 1

Diámetro de las Fibras Recolectadas de las Especies Animales Examinadas

| Tipo de fibra | Diámetro (µm) |
|----------------------|----------------------|
| Fibra de Oveja | 25,32 |
| Fibra de Alpaca | 21,12 |
| Fibra de Cabra | 30,55 |

Nota. Tomado de Comparison of Physico-mechanical Properties of Fibre and Yarn Made of Alpaca, Sheep, and Goat Wool, por Jankowska et al., 2021

Tabla 2

Propiedades Físico-mecánicas de las especies examinadas

| Tipo de hilo | Fuerza de ruptura (cN) | Elongación a la ruptura ϵ (%) | Módulo de Elasticidad E (MPa) |
|-------------------------|-------------------------------|--|--------------------------------------|
| Hilo de fibra de oveja | 2.314 | 42 | 416,14 |
| Hilo de fibra de alpaca | 3.036 | 33 | 340,82 |
| Hilo de fibra de cabra | 2.714 | 27 | 527,35 |

Nota. cN = centi newton, MPa = Megapascuales. Tomado de Comparison of Physic-mechanical Properties of Fibre and Yarn Made of Alpaca, Sheep, and Goat Wool, por Jankowska et al., 2021

En el mercado comercial, la lana con tonalidades blancas es muy apreciadas. Bouagga et al., (2022) investigaron los efectos de la concentración de peróxido de hidrógeno, la temperatura del blanqueo y el tiempo en muestras de lana. Con una temperatura de 60 °C, un tiempo de tratamiento de aproximadamente 90 minutos y una concentración de peróxido de hidrógeno de 87,5 ml/l obtuvieron los datos de la **tabla 3**.

Tabla 3

Diámetro de las Fibras Recolectadas de las Especies Animales Examinadas

| | Grado de blancura (%) | Índice de amarillez |
|--|------------------------------|----------------------------|
| Lana tunecina “Negro de Thibar” | 58,5 ± 3,4 | 13,1 ± 4,9 |

Nota. Tomando de Effect of Mordant Bleaching on the Optical and Mechanical Properties of Black Tunisian Wool and Optimization of the Bleaching Process, por Bouagga et al., 2022

El proceso de blanqueo con mordiente de la lana de yak fue optimizado en este estudio, a través de la resistencia, elongación y blancura. Se descubrió que la fase

desnaturalizante era independiente de la temperatura dentro del rango de 50-95°C. Sin embargo, la fase de blanqueo resultó ser directamente proporcional a la temperatura. Por lo tanto, después de optimizar la temperatura de la fase de blanqueo, se podría elegir una temperatura relativamente baja para la fase de mordentado. Además, el pH de la solución utilizada en el blanqueo se puede ajustar con pirofosfato sin necesidad de amoníaco. La optimización de la temperatura aumentará la calidad del producto y mejorará la eficiencia industrial ahorrando energía (Arildii et al., 2022).

Tabla 4
Grado de blancura, índice de amarillez y solubilidad en álcali de fibras de lana tratadas y no tratadas

| | Grado de blancura | Índice de amarillez | Solubilidad en álcali (%) |
|------------------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| Lana sin tratar | 58,5 ± 3,4 | 13,1 ± 4,9 | 11,3 ± 3,2 |
| Lana tratada con CuSO ₄ | 75,1 ± 3,5 | 9,1 ± 3,6 | 25,0 ± 5,1 |
| Lana Tratada con FeSO ₄ | 79,7 ± 5,4 | 6,0 ± 5,3 | 21,5 ± 4,9 |

Nota. Tomando de “Optimization of Mordant Bleaching of Yak Wool with Hydrogen Peroxide at Low Temperature”, por Arildii et al., 2022.

Tabla 5
Efecto del blanqueo sobre las propiedades del hilo de yak.

| Propiedades | No tratada | Blanqueada |
|---------------------|-------------------|-------------------|
| Fuerza, cN | 274,8 | 259,05 |
| Elongación % | 10,6 | 10,36 |
| Blancura, % | 28,66 | 56,95 |

Nota. cN. Centinewton. Tomando de, “Optimization of Mordant Bleaching of Yak Wool with Hydrogen Peroxide at Low Temperature”, por Arildii et al., 2022.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Fibras naturales

Las fibras naturales representan un pilar fundamental en la industria textil, con un uso que se extiende a lo largo de la historia de la humanidad. Estas fibras, en contraste con las fibras sintéticas, destacan por su capacidad de regeneración anual y su contribución a la sostenibilidad (Fisher, 2008).

2.2.2 Oveja (*Ovis orientalis aries*)

Son animales dóciles y los primeros en ser domesticados. Satisfaciendo necesidades básicas de alimentación y vestimenta. Los agricultores se enfocan en la cría de ovejas por su carne, lana, piel, estiércol y, en cierta medida, incluso leche (Ngangkham et al., 2023).

2.2.3 Lana de oveja

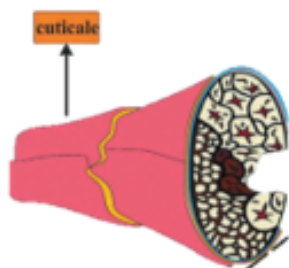
Históricamente, la lana se distingue como una de las primeras fibras animales empleadas en textiles Fisher (2008). Es una fibra respetuosa con el medio ambiente. Su estructura y composición química la diferencian de otros tipos de fibras; la lana no tiene similitud con ninguna otra fibra natural o artificial por su gran diversidad, heterogeneidad de características y ventajas, el rendimiento de lana varía de 350 g a 1800 g por oveja al año (Allafi et al., 2022).

2.2.4 Estructura de la lana

La fibra está cubierta por células externas llamada cutícula que forman un recubrimiento alrededor de la queratina. Las células de la cutícula o escamas se superponen como las tejas en un tejado una sobre otra, haciendo que la lana sea única entre las fibras textiles. Este tipo de células cumple la función de anclar las fibras de la lana en la piel de las ovejas (Allafi et al., 2022).

Figura 1

Estructura de fibra de lana



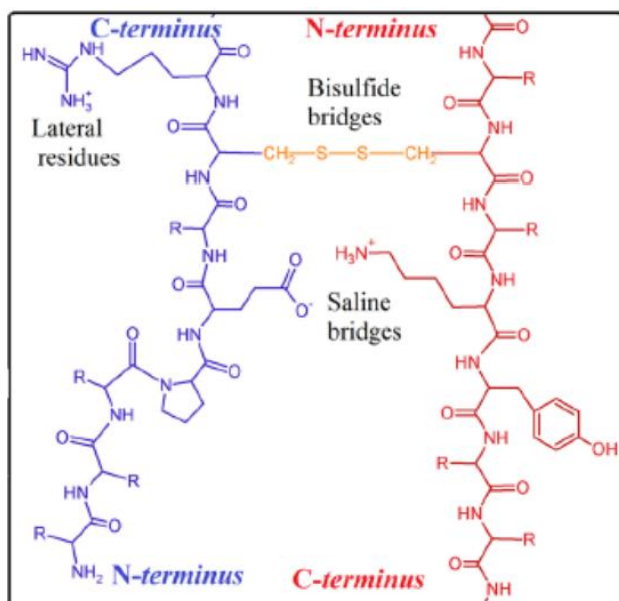
Nota. “Advancements in Applications of Natural Wool Fiber” por Allafi et al., 2022.

2.2.5 Composición química de la lana

La lana está compuesta por una proteína única conocida como queratina. Esta queratina contiene una alta concentración de aminoácidos, entre los que se incluyen: glicina, alanina, serina, prolina, valina, treonina, cistina, leucina isomérica, ácido aspártico, ácido glutámico, metionina, histidina, hidroxilisina, fenilalanina, arginina, tirosina y triptófano. La presencia de estos 18 aminoácidos distingue a la lana de las fibras sintéticas, que generalmente se componen de solo dos monómeros. En particular, el azufre presente en la cistina es crucial para la estructura de la fibra de lana (Allafi et al., 2022).

Figura 2

Estructura química de la queratina



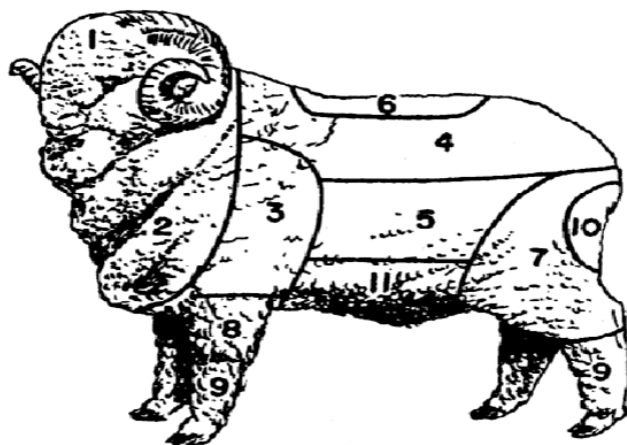
Nota. “Interacciones químicas entre las cadenas de queratina (proto fibrillas) que dan origen a la fibra” por Allafi et al., 2022.

2.2.6 Clasificación de la lana

De acuerdo con Ngangkham et al., (2023) la lana de oveja se clasifica según como se indica en la figura 3:

Figura 3

Clasificación de la lana



Nota. “Wool Quality and Parameter of Indian Sheep”, por Ngangkham et al., 2023

1. **Nudo superior:** Esta región contiene lana de baja calidad, que es ligera, corta y sucia.
2. **Lana del cuello:** Se caracteriza por fibras largas y ligeras, a menudo con grumos gruesos y enredados de lana de calidad inferior en los pliegues.
3. **Lana de los hombros:** La mejor lana producida por las ovejas proviene de los hombros. Los jueces suelen usarla como referencia para comparar con la lana de otras partes del animal.
4. **Lana de vellón:** Contiene lana de buena y mediana calidad, generalmente libre de materia vegetal.
5. **Lana del pecho:** Similar a la de los hombros, pero generalmente un poco más pesada.
6. **Lana de la espalda:** Tiende a ser abierta, desgastada y con un olor fuerte.
7. **Lana de la entrepierna:** Es más gruesa y arrugada que la de otras partes del vellón, y puede estar enmarañada y/o apelmazada con rebabas y semillas.
8. **Lana de los brazos:** Muy corta y con bordes abiertos, acumula muchas rebabas o semillas.
9. **Piernas peludas:** Contiene fibras peludas con poca lana, utilizadas para productos de baja calidad como alfombras.
10. **Lana teñida:** No se blanquea al lavarse y es muy pesada.
11. **Lana del vientre:** Voluminosa, pesada y generalmente muy enmarañada o con muchas semillas.

2.2.7 Propiedades de la lana de oveja

2.2.7.1 Color

La lana de oveja se caracteriza por una amplia gama de colores naturales que van desde el blanco al negro, refleja la interacción compleja entre la genética de la raza, el

entorno y la nutrición. A través de la selección cuidadosa, las ovejas han evolucionado de producir vellones toscos y oscuros a lanas finas y blancas. Sin embargo, la composición proteica de la lana puede provocar que amarillento bajo condiciones ambientales extremas y tratamientos químicos agresivos (Duffield et al., 2008).

2.2.7.1.1 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).

2.2.7.1.2 Blancura

La blancura en la lana de oveja es una característica distintiva que se refiere a la ausencia de pigmentación, manchas e impurezas en las fibras, resultando en una coloración homogéneamente clara. Este atributo es especialmente importante en la industria textil, no solo por su impacto en la estética del material sino también por su influencia en el proceso de teñido. Las lanas más claras ofrecen una mayor versatilidad para la aplicación de colorantes, mientras que las de tonos más oscuros o definidos, como el canario, pueden limitar las opciones de teñido (Duffield et al., 2008).

2.2.7.2 Propiedades físico-mecánicas

1. Tracción

Es la capacidad a la disposición específica de estructuras en espiral dentro de la fibra de lana, conocidas como hélices alfa. Estas hélices, cuando están orientadas de manera óptima, confieren a la fibra una mayor elasticidad y una menor tendencia a deformarse permanentemente bajo carga. Esto se traduce en una mayor resiliencia y durabilidad, que son características deseables en productos (Lakshmanan, 2022).

2. Tensión – deformación

La fibra de lana de oveja muestra tres fases distintas durante su estiramiento como: elástica, plástica y límite de fractura. En la primera fase, la lana exhibe una respuesta elástica proporcional a la carga aplicada, seguida por una etapa de fluencia donde la estructura de las proteínas se altera para permitir una mayor extensión sin daño. Finalmente, en la fase de límite a la fractura, la fibra se estira hasta un 35% antes de romperse debido a la ruptura de los enlaces de disulfuro (Lakshmanan, 2022).

2.2.7.3 Propiedad química

Los diversos grupos funcionales presentes en las fibras de lana son los principales impulsores de sus propiedades químicas. Las reacciones químicas comienzan principalmente en los grupos de cadenas laterales, que son las regiones más accesibles de la fibra. Posteriormente, estas reacciones pueden extenderse a los enlaces cruzados, como la cistina, y finalmente involucrar los enlaces polipeptídicos en la cadena principal de la fibra (Lakshmanan, 2022).

2.2.7.3.1 Efecto de los álcalis

Debido a su naturaleza proteica, la lana es particularmente susceptible a soluciones alcalinas en combinación con calor, lo que puede causar la ruptura de los enlaces polipeptídicos en los aminoácidos correspondientes (Lakshmanan, 2022).

2.2.8 Blanqueamiento de la lana de oveja

Se emplean diversas técnicas para los procesos de blanqueamiento, entre las que se incluyen agentes reductores, oxidantes, oxidantes-reductores y la combinación de agentes. Entre los que se encuentran el ácido peracético (CH_3COOOH , 30%), el borohidruro de sodio (NaBH_4), el peróxido de hidrógeno (H_2O_2 , 35%), el potasio mono persulfato (KHSO_5), el dicloroisocianurato de sodio ($\text{C}_3\text{Cl}_2\text{N}_3\text{NaO}_3$), el ácido oxálico ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$), el perborato de sodio (NaBO_3) y el hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$). Estos compuestos se han evaluado para al método de blanqueo convencional, ofreciendo potencial para mejorar la eficacia y la eficiencia del proceso (Erdoğan et al., 2021).

2.2.9 Blanqueamiento con peróxido de hidrógeno

El blanqueamiento, realizado a través de procesos oxidativos o reductores, induce una modificación química en la fibra. Uno de los agentes blanqueadores más significativos es el peróxido de hidrógeno, durante el proceso se forma el ion per-hidroxilo (HO_2^-), que transfiere oxígeno, atacando así los enlaces disulfuro en la lana. Este ataque resulta en la ruptura de los enlaces S-S lograr un color blanco completo mediante un tratamiento de peroxidación de hidrógeno (Cardamone et al., 2004).

2.2.10 Proceso eficiente para el blanqueamiento

El efecto del pirofosfato tetraborato de sodio ($\text{Na}_2\text{P}_4\text{O}_7$) en las propiedades del hilo de lana, juega un papel importante en estabilizar la especie per hidroxiló (HO_2^-) derivada del peróxido de hidrógeno durante el blanqueo. La temperatura es importante ya que a medida que aumenta, la energía cinética de las moléculas de peróxido de hidrógeno también incrementa, lo que mejora su tasa de difusión. Este fenómeno contribuye a una mayor blancura del hilo. La difusión efectiva del peróxido de hidrógeno se observa alrededor de los 60°C . Sin embargo, al aumentar la temperatura más allá de este punto no mejora la blancura, ya que la capa de la cutícula de la fibra se daña a temperaturas elevadas. A su vez el tiempo de blanqueo de 30 minutos es óptimo, ya que maximiza la blancura sin causar un daño significativo a las propiedades mecánicas del hilo de lana (Arildii et al., 2022).

2.2.11 Hila por rueda giratoria

La rueda giratoria apareció en Europa en el siglo XVIII y posiblemente se originó en la India un poco antes. Aunque la tecnología ha evolucionado, este dispositivo sigue siendo utilizado y fabricado en la actualidad debido a su eficacia en la producción textil. La invención de la rueda giratoria representó un avance crucial en la producción de hilo. Debido a que dicho dispositivo consiste en una rueda principal movida por un pedal a través de un sistema de varilla y manivela, formando un mecanismo de cuatro barras. La rueda, actuando como volante, transmite movimiento al flyer mediante una banda de transmisión. Las fibras tratadas son torcidas por la rotación del flyer y se enrollan en una bobina. Este mecanismo

permitió un aumento significativo en la producción de hilo al introducir una torsión mecánica eficiente (Rossi et al., 2017).

2.2.12 Saberes Ancestrales

Los conocimientos ancestrales, particularmente en lo que respecta a la historia familiar y el linaje, juega un papel esencial en fortalecer la conexión social y enriquecer el sentido de propósito en la vida de las personas. Estos conocimientos ancestrales no solo fomentan una mayor conciencia de la identidad y la pertenencia, sino que también motivan la adopción de comportamientos de autocuidado y la aspiración a dejar un legado positivo. Históricamente, tales saberes han sido pilares de continuidad y propósito, influenciando a las generaciones sucesivas y perpetuando un sentido de comunidad y tradición (Kim et al., 2024).

2.2.13 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).

2.2.14 Ortiga Blanca

La ortiga blanca, o (*Lamium álbum*), es una planta herbácea perenne que forma parte de la familia Lamiácea. Originaria de Europa y Asia, esta especie ha logrado expandirse a otras regiones del mundo, incluyendo América, Nueva Zelanda e Islandia, gracias a su notable capacidad de adaptación. La ortiga blanca se caracteriza por sus flores blancas distintivas y su preferencia por hábitats con sombra parcial. Desde un punto de vista etnobotánico, la ortiga blanca ha sido valorada por sus propiedades medicinales. Los extractos de *L. album* han sido estudiados por su potencial en el tratamiento de enfermedades como la hepatitis C y el cáncer. Sin embargo, aún queda mucho por descubrir sobre los mecanismos moleculares y celulares que subyacen a sus efectos terapéuticos, lo que representa un campo fértil para futuras investigaciones científicas. Este enfoque resalta la importancia de la ortiga blanca en términos de su origen, adaptabilidad y relevancia en diversas aplicaciones (Shah et al., 2019).

2.2.15 Caracterización de ortiga blanca

Lamium álbum, u ortiga blanca, es notable por su composición química que incluye fitoecdisteroides, terpenos, flavonoides, derivados de isoscutelareína, ácidos fenólicos e iridoides. Estos principios activos son responsables de sus propiedades terapéuticas, como efectos antiinflamatorios, antibacterianos, anticancerígenos y antioxidantes. Los flavonoides y compuestos fenólicos, presentes en las partes aéreas de la planta, contribuyen a su capacidad antioxidante y a la protección contra el estrés oxidativo. Los ecdisteroides, por otro lado, son conocidos por su papel en la estimulación de la síntesis de proteínas y la respuesta inmune. Esta rica mezcla de componentes activos posiciona a la ortiga blanca como un sujeto de interés en la investigación farmacológica y terapéutica (Shah et al., 2019).

2.2.16 Tendencias en la industria textil por prendas ecológica

La moda refleja las tendencias de consumo de la sociedad y ha evolucionado desde un símbolo de estatus en la Edad Media hasta una producción masiva postrevolución industrial. A pesar de democratizar el estilo, este crecimiento ha intensificado la contaminación, con la industria de la moda consumiendo enormes cantidades de recursos, como 70 millones de barriles de petróleo anuales para poliéster. Las prácticas laborales también han sido cuestionadas. Ante estos problemas, surge la moda sostenible, enfocada en minimizar impactos ambientales y promover la responsabilidad social, convirtiéndose en una necesidad para el futuro del sector y la salud del planeta (Solino et al., 2020).

2.2.17 Certificaciones eco o bio para hilos naturales

En el ámbito de la normativa actual sobre el etiquetado textil, se identifican certificaciones que los consumidores pueden reconocer en los productos textiles:

Certificaciones conforme al Reglamento UE 1007/2011: Estas certificaciones corroboran la autenticidad de las materias primas de origen animal o vegetal, tales como la lana y el algodón, que se emplean en la manufactura textil. Dentro de esta clasificación se encuentra:

OEKO-TEX® Standard: Desarrollado por la asociación del mismo nombre, que incluye equipos de investigación de Europa y Japón, este estándar tiene alcance mundial. Su finalidad es limitar la presencia de sustancias nocivas en la producción textil y garantizar la adhesión a las regulaciones aplicables. Bajo este estándar, se ofrecen tres certificaciones específicas:

- **OEKO-TEX® Standard 100:** Orientado a textiles químicamente seguros y fabricados bajo prácticas responsables.
- **STeP by OEKO-TEX®:** Centrado en la producción textil sostenible.
- **Made in Green by OEKO-TEX®:** Destinado a productos confeccionados sin sustancias perjudiciales y mediante procesos de producción ecológicos y socialmente responsables. (Martínez et al., 2022)

CAPÍTULO III. METODOLOGIA.

3.1 Tipo de investigación

Es una investigación cuantitativa debido a que se manipularon variables numéricas lo que permitió efectuar los análisis estadísticos.

3.2 Diseño de Investigación

La presente investigación fue de tipo experimental, porque se evaluó las propiedades de la lana de oveja como, propiedades físico-mecánicas (Resistencia a la tracción, elongación, y elasticidad), ópticas (índice de blancura y amarillez) y resistencia álcalis, posterior a la aplicación de un agente blanqueador con diferentes concentraciones de peróxido de hidrógeno y extracto de ortiga blanca. Cuyos resultados fueron evaluados en laboratorio de Control de Calidad de la carrera de Agroindustria en la Universidad Nacional de Chimborazo y en el Laboratorio del Instituto Chino de Biodiversidad y Biotecnología Agropecuario y Forestal (ICEBBAF) en la ESPOCH.

Al mismo tiempo se utilizó una investigación descriptiva ya que se detalló las características físicas de la fibra posterior al proceso de blanqueo, en base a las variables dependiente (Lana de oveja) e independientes (agente blanqueador con diferentes concentraciones de peróxido de hidrógeno y extractos de ortiga blanca) y finalmente, la investigación fue de tipo bibliográfica ya que se utilizaron artículos científicos, libros, tesis, etc., publicados en diferentes revistas científicas como: Journal Natural Fibers, Journal Veterinary and animal Sciences, etc. con la finalidad de sustentar los valores obtenidos en el trabajo de investigación

3.2.1 Equipos, materiales, reactivos y materia prima

Tabla 6
Equipos, materiales, reactivos y materias primas

| Equipos | Materiales | Reactivos | Materias primas |
|---|--|--|---|
| Balanza Analítica Marca: MKLAB Origen: Japón | Vaso de precipitados varias capacidades Marca: GLASSCO | Peróxido de hidrógeno Código: 7722-84-1 | Vellón de lana de oveja |
| Colorímetro cr-410 Marca: Konica Minolta Origen: Japón | Probeta de vidrio varias capacidades Marca: Marienfeld | Carbonato de Sodio Marca: J.T. Baker Código: 3604-01 | Ortiga Blanca (Lamium álbum) nacional |
| Mufla Marca: Memmert Origen: alemán | Vidrio reloj con borde fundido | Piro Fosfato de sodio Marca: Scharlau | |
| pH metro Marca: Senion 3 | Espátula mediana de acero inoxidable | Hidróxido de sodio Código: S318-1 | |

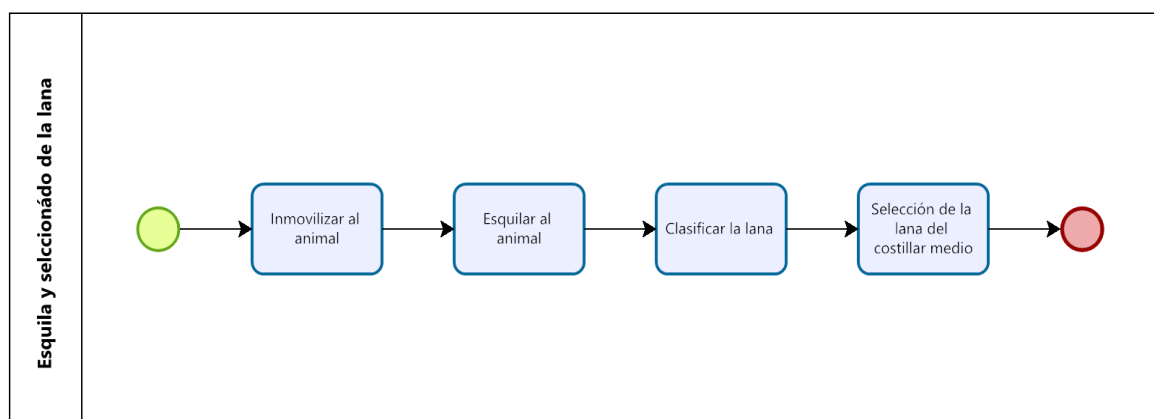
| Equipos | Materiales | Reactivos | Materias primas |
|--|--------------------------------------|------------------------|-----------------|
| Origen: Estados Unidos | | Marca: Fisher Chemical | |
| Máquina de hilado adecuada por la ESPOCH | Balones de vidrio varias capacidades | | |
| Maquina Universal | Marca: OBEROI TM | | |
| Marca: EZ-S SHIMADZU | Kitasato de vidrio (500 mL) | | |
| Origen: Japón | Marca: Glassco | | |
| Microscopio de Barrido electrónico | | | |
| Marca: Tescan; Vega 3LMU | Embudo buchner | | |
| Origen: República Checa | | | |
| Bomba de extracción | | | |
| Origen: Alemán | | | |
| S-FIBER EC | | | |
| Horno deshidratador | | | |
| Origen: Perú | | | |

3.2.2 Obtención y clasificación de la lana

La esquila y selección de la lana de oveja se basó en el trabajo realizado por Ngangkham et al., (2023) donde se seleccionó la lana de acuerdo con su calidad, en donde se siguió el proceso descrito en la **Figura 4**.

Figura 4

Esquila y selección de la lana



Procedimiento de la esquila y selección de la lana

- **Inmovilización del animal:** Amarrar patas del animal procurando que no tenga movilidad.

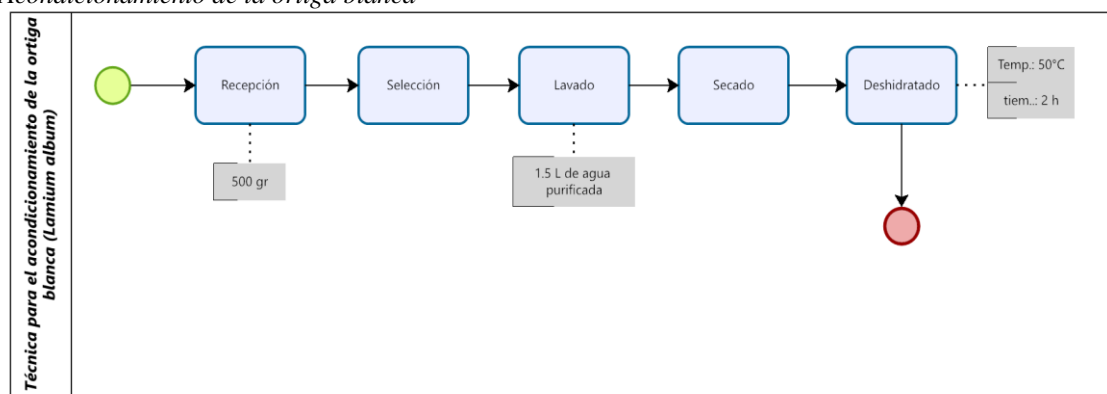
- **Esquila al animal:** Con ayuda de tijeras retirar la lana de la piel sin causar ningún daño.
- **Clasificación de la lana:** Extender la fibra en una mesa clasificador
- **Selección:** Seleccionar la fibra del costillar medio

3.2.3 Acondicionamiento de la ortiga blanca (*Lamium album*)

El método de acondicionamiento de la ortiga blanca (*Lamium album*) se basó en el trabajo de investigación desarrollado por Rodríguez et al., (2012) en el documento titulado “PROCEDIMIENTO PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES EN PLANTAS AROMÁTICAS” en donde se siguió el proceso descrito en la **Figura 5**.

Figura 5

Acondicionamiento de la ortiga blanca



Procedimiento del acondicionamiento de la ortiga blanca

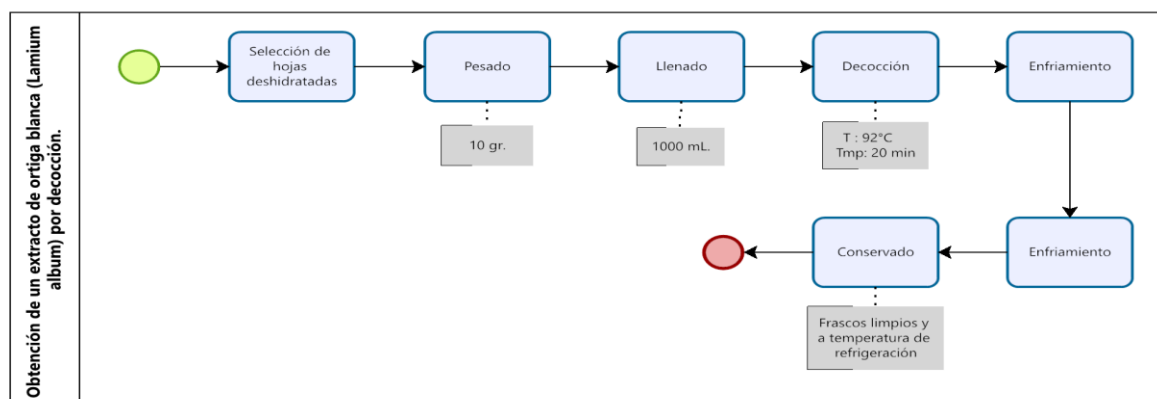
- **Recepción:** se receptó 500gr de ortiga blanca (*Lamium album*) fresca, el mismo que fue obtenido del mercado Mayorista.
- **Selección:** se separaron las hojas del tallo.
- **Lavado:** se enjuago las hojas de la ortiga blanca (*Lamium album*) en 1.5 litros de agua purificada 3 veces con la finalidad de eliminar tierra presente en las hojas y en los tallos.
- **Secado:** las hojas de la ortiga blanca se colocaron sobre hojas de papel absorbente para la absorción de agua.
- **Deshidratado:** Se coloca las hojas de la planta en el deshidratador por dos horas a 50°C

3.2.4 Obtención de un extracto de ortiga blanca (*Lamium album*) por decocción.

El método obtención de extractos de ortiga blanca (*Lamium album*) por decocción se basó en el trabajo de investigación desarrollado por Belščak-Cvitanović et al., (2015) en el artículo titulado “NETTLE (*URTICA DIOICA* L.) EXTRACTS AS FUNCTIONAL INGREDIENTS FOR PRODUCTION OF CHOCOLATES WITH IMPROVED BIOACTIVE COMPOSITION AND SENSORY PROPERTIES” proceso descrito en la **Figura 6**

Figura 6

Diagrama de obtención del extracto de ortiga blanca por decocción



Procedimiento para la obtención del extracto de ortiga blanca por decocción

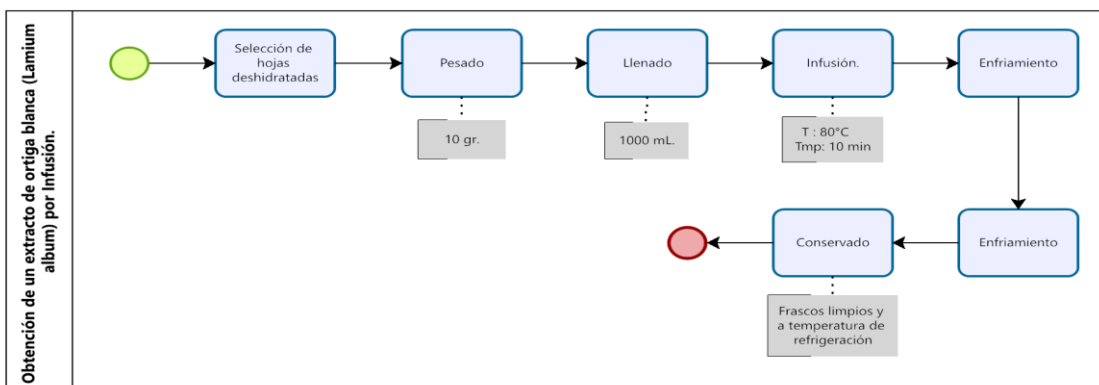
- **Selección** se seleccionó hojas secas en buen estado.
- **Pesado** se pesó 10gr de hojas secas de ortiga blanca (*Lamium album*)
- **Llenado** se midió 1000 ml de agua destilada con la ayuda de una probeta
- **Decocción** se llevó a calentar los 1000 ml de agua destilada mediante un vaso de precipitados con la ayuda de una estufa, se esperó que el agua entre a una temperatura de ebullición (92°C la temperatura de ebullición del agua en Riobamba) con la ayuda de un termómetro, posterior se colocó los 10 gr de hojas secas durante un tiempo de 20 minutos.
- **Conservación** Se dejó enfriar el extracto para posterior guardarlos en frascos limpio a temperatura de ambiente.

3.2.5 Obtención de un extracto de ortiga blanca (*Lamium album*) por Infusión

El método obtención de extractos de ortiga blanca (*Lamium album*) por infusión se basó en el trabajo de investigación desarrollado por Belščak-Cvitanović et al., (2015) en el artículo titulado “Nettle (*Urtica Dioica* L.) Extracts As Functional Ingredients For Production Of Chocolates With Improved Bioactive Composition And Sensory Properties” en donde se siguió el proceso descrito en la **Figura 7**.

Figura 7

Diagrama de obtención del extracto de ortiga blanca por infusión



Procedimiento para la obtención del extracto de ortiga blanca por infusión

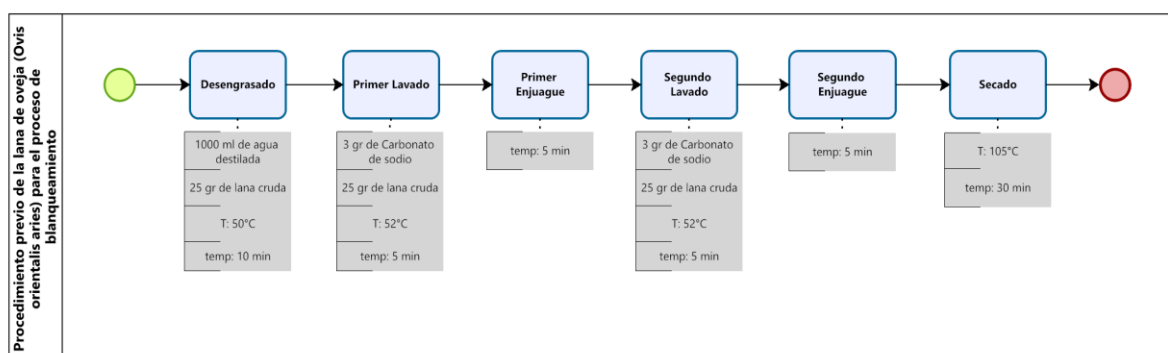
- **Selección** se seleccionó hojas secas.
- **Pesado** se pesó 10gr de hojas secas de ortiga blanca (*Lamium album*)
- **Llenado** se midió 1000 ml de agua destilada con la ayuda de una probeta esto se realizó mediante una relación (1:100)
- **Decocción** se llevó a calentar los 1000 ml de agua destilada mediante un vaso de precipitados con la ayuda de una estufa, se esperó que el agua entre a una temperatura de 80°C con la ayuda de un termómetro, posterior se colocó los 10 gr de hojas secas durante un tiempo de 10 minutos.

3.2.6 Desengrasado de la lana de oveja para el proceso de blanqueamiento

El método de tratamiento de lana de oveja se basó en el trabajo de investigación desarrollado por Bouagga et al., (2022) en el documento titulado “Effect Of Mordant Bleaching On The Optical And Mechanical Properties Of Black Tunisian Wool And Optimization Of The Bleaching Process” en donde se siguió el proceso descrito en la Figura 8.

Figura 8

Diagrama del Procedimiento de desengrasado de la lana



Procedimiento para el desengrasado de la lana

- **Desengrasado:** se colocó 1000 ml agua destilada en un vaso de precipitados en relación 1:40 y se calentó hasta los 50°C, para posteriormente se colocó 25 gr de lana cruda de oveja y se lo dejó por 10 minutos.
- **Primer Lavado:** Se preparó una solución con 3gr de Carbonato de sodio y llevando a la solución a una temperatura 52°C donde se colocó 25gr de lana de oveja y se lavó por 5 minutos
- **Primer Enjuague (Solo agua):** Se llevó las muestras de lana a un enjuague por 5 minutos en agua destilada
- **Segundo Lavado:** Se preparó una solución con 3 gr de Carbonato de sodio y 1 gr de jabón en 1000 ml de agua destilada, llevando a la solución a una temperatura 52°C donde se colocó 25gr de lana de oveja y se lavó por 5 minutos
- **Segundo Enjuague (Solo agua):** Se llevó las muestras de lana a un enjuague por 5 minutos en agua destilada
- **Secado:** Las muestras se llevaron al horno a 105°C por 30 minutos

3.2.7 Tratamientos a partir de diferentes concentraciones de peróxido de hidrógeno y extractos de ortiga blanca

Para el desarrollo del proceso de blanqueamiento se elaboraron 9 formulaciones como se puede observar en la **tabla 7**.

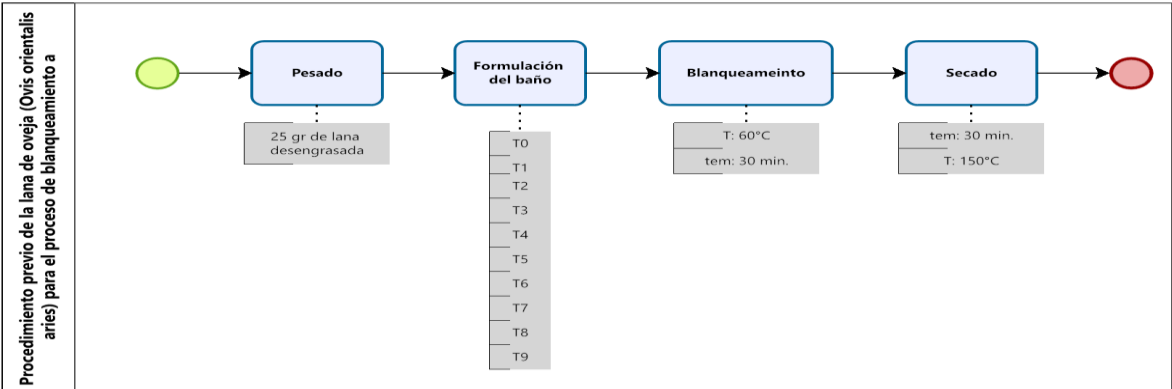
Tabla 7
Tratamientos del agente blanqueador

| Tra. | Tratamientos evaluados | Formulaciones agentes blanqueador |
|------|--|---|
| T0 | Peróxido de hidrógeno al 35% | 700 ml H ₂ O ₂ + 300 ml agua destilada |
| T1 | Peróxido de hidrógeno al 30% más el concentrado de ortiga blanca por decocción | 600 ml H ₂ O ₂ + 400 ml de concentrado de ortiga blanca por decocción |
| T2 | Peróxido de hidrógeno al 25% más el concentrado de ortiga blanca por decocción | 500 ml H ₂ O ₂ + 500 ml de concentrado de ortiga blanca por decocción |
| T3 | Peróxido de hidrógeno al 20% más el concentrado de ortiga blanca por decocción | 400 ml H ₂ O ₂ + 600 ml de concentrado de ortiga blanca por decocción |
| T4 | Concentrado de ortiga blanca por decocción | 1000 ml de concentrado de ortiga blanca por decocción |
| T5 | Peróxido de hidrógeno al 30% más el concentrado de ortiga blanca por infusión | 600 ml H ₂ O ₂ + 400 ml de concentrado de ortiga blanca por infusión |
| T6 | Peróxido de hidrógeno al 25% más el concentrado de ortiga blanca por infusión | 500 ml H ₂ O ₂ + 500 ml de concentrado de ortiga blanca por infusión |
| T7 | Peróxido de hidrógeno al 20% más el concentrado de ortiga blanca por infusión | 400 ml H ₂ O ₂ + 600 ml de concentrado de ortiga blanca por infusión |
| T8 | Concentrado de ortiga blanca por infusión | 1000 ml de concentrado de ortiga blanca por infusión |

3.2.8 Proceso de blanqueamiento a partir de diferentes concentraciones de peróxido de hidrógeno y extractos de ortiga blanca

El método de formulación de baños de blanqueamiento se basó en el artículo desarrollado por Arildii et al., (2022) en el artículo titulado “**OPTIMIZATION OF MORDANT BLEACHING OF YAK WOOL WITH HYDROGEN PEROXIDE AT LOW TEMPERATURE**” en donde se siguió el proceso descrito en la **figura 9**.

Figura 9
Diagrama del procedimiento previo para el proceso de blanqueamiento.



Procedimiento previo para el proceso de blanqueamiento

- **Pesado:** se pesó 25 gr de lana ya lavada con la ayuda de una balanza analítica.
- **Formulación del baño:** Se colocó diferentes volúmenes de H₂O₂ para obtener diferentes concentraciones (35%, 30%, 25%, 20%) en diferentes volúmenes de agua destilada, concentrado de ortiga por decocción e infusión posteriormente se añadió 5g de Na₄P₂O₇
- **Blanqueamiento:** se añadió 25 gr de lana lavada y se dejó en el baño por 30 minutos a una temperatura de 60°C
- **Enjuague:** se enjuagó la lana con agua destilada durante 5 minutos
- **Secado:** La lana enjuagada se secó en un horno a una temperatura de 105°C por 30 minutos.

3.2.9 Obtención de hilos a partir de lana blanqueada

El método de elaboración de hilos de lana previamente blanqueada según Jankowska et al., (2021) en el documento titulado “**Comparison of physico-mechanical properties of fibre and yarn made of alpaca, sheep, and goat wool**” obteniendo mediante un hilado tradicional con una rueda giratoria.

Por ende, se realizó el hilado en los laboratorios de fibras agroindustriales de la ESPOCH, donde contaba con estos equipos, dando como resultado fibras con un diámetro de 2 mm de grosor, ya preestablecidas por los equipos

Figura 10

Proceso de hilado por torsión en máquina giratoria



3.3 Población y Tamaño de la muestra

Vellón de una oveja, de la estación experimental Tunshi-ESPOCH, las características de la oveja son las que se indican en la **tabla 8**:

Tabla 8*Proceso de hilado por torsión en máquina giratoria*

| | |
|--------------------------|-------------------------------|
| Sexo | Macho |
| Edad | 5 años |
| Raza | <i>Rabolliet x Corraidale</i> |
| Numero de esquila | 5ta esquila |

Para la aplicación del agente blanqueador se trabajó con la lana extraída del costillar medio del animal.

3.4 Métodos de Análisis

Los parámetros analizados con su respectiva descripción y valores de especificación se indican en la **tabla 9**.

Tabla 9*Parámetros analizados*

| Parámetro | Descripción | Categoría |
|---|--|----------------------|
| Color | Capacidad para reflejar, absorber o transmitir diferentes longitudes de onda de luz visible | 0-100 |
| Resistencia a álcali | Medida de solubilidad en medios alcalinos | 0 – 100 % |
| Fuerza de ruptura | La máxima carga o tensión que un material puede soportar antes de fracturarse. | 0-100 N |
| Máximo desplazamiento | La distancia máxima que un material o estructura puede deformarse antes de que se considere una falla | 0 – 100 mm |
| Esfuerzo máximo | la máxima intensidad de la fuerza interna que experimenta un material bajo una carga aplicada | 0 – 100 cN/tex |
| Máxima deformación | Nivel máximo de cambio en la forma de un material cuando se somete a una carga aplicada. | 0 – 100 % |
| Energía | la capacidad de un material para almacenar energía mecánica cuando se deforma bajo carga | 0 – 1 J |
| Módulo de elasticidad | la capacidad del material para deformarse elásticamente en respuesta a una carga aplicada y luego volver a su forma original una vez que se retira la carga. | 0 – 10.000 |
| Imágenes por microscopia de barrido electrónico | muestran detalles muy pequeños de muestras, como superficies de materiales o células, usando un haz de electrones para explorar la muestra. | Descriptiva |
| Diámetro | tamaño transversal de la muestra | 0 – 10 μm |

3.4.1 Índice de Blancura, Amarillez y Tintura

Para calcular los índices de blancura y amarillez se aplicó el procedimiento descrito por la norma **ASMT E313-20 “Standard Practice for Calculating Yellowness and Whiteness Indices from Instrumentally Measured Color Coordinates”**.

Para lo cual se utilizó el equipo Colorímetro Konica Mitola cr-400 en donde se obtuvieron las coordenadas de la escala CIE X, Y, Z e Y, x, y con las cuales se aplicaron las siguientes ecuaciones para la determinación de los diferentes índices:

Ecuación para calcular el índice de amarillez:

$$YI = 100 * \frac{C_X X - C_Y Z}{Y}$$

Tabla 10

Coefficientes para el índice de amarillez, para el iluminante D65.

| Coefficientes | Valor |
|---------------|--------|
| C_X | 1,3013 |
| C_Y | 1,1498 |

Ecuación para calcular el índice de blancura:

$$WI = Y + (WI, x)(x_n - x) + (WI, y)(y_n - y)$$

Tabla 11

Coefficientes para el índice de blancura, para el iluminante D65.

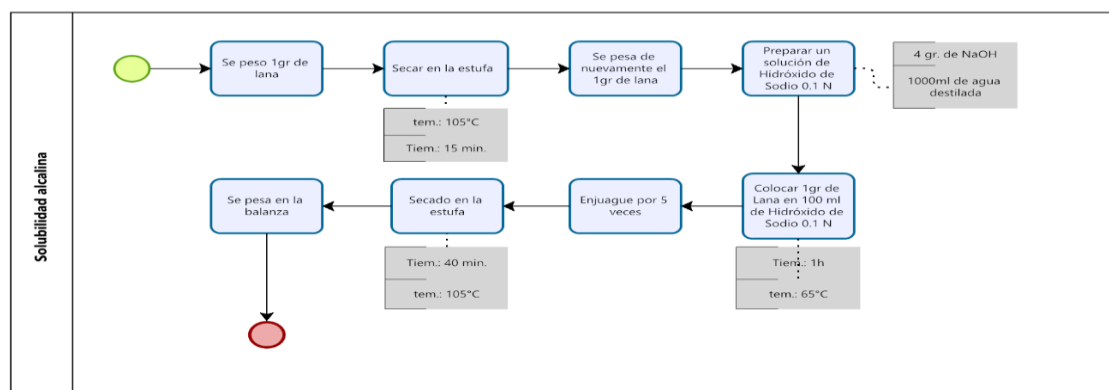
| Coefficientes | Valor |
|---------------|--------|
| x_n | 0,3138 |
| Y_n | 0,3310 |
| $WI_{,X}$ | 800 |
| $WI_{,Y}$ | 1700 |

3.4.2 Prueba de solubilidad alcalina

El método de solubilidad en álcali se basó en el artículo desarrollado por Harris et al., (1936) en el artículo titulado **“Oxidation of wool: alkali solubility test for determining the extent of oxidation.”** en donde se siguió el proceso descrito en la **figura 11**.

Figura 11

Diagrama de proceso de solubilidad en álcali



Procedimiento de solubilidad en álcali

- **Pesado:** se puso 1 g de la muestra de lana
- **Secado:** se llevó la muestra a una estufa por 15 minutos a 105°C
- **Pesado:** se pesa nuevamente la muestra de lana
- **Preparación de solución:** se agrega 4 gramos de Na(OH) y se afora en 1.000 ml obteniendo una solución de NaOH 0,1N
- **Solubilidad:** en un vaso que contenía 100 ml de hidróxido de sodio 0,1 N a 65 °C se coloca el 1 gr de lana. Después de 1 hora, se filtró el contenido.
- **Enjuague:** se enjuaga 5 veces con agua destilada
- **Secado:** se secaron a 115°C por 40 minutos. Una vez que se enfrió en el desecador, se pesó y calculó la reducción de peso.

3.4.3 Determinación de propiedades físico-mecánicas de hilos blanqueados

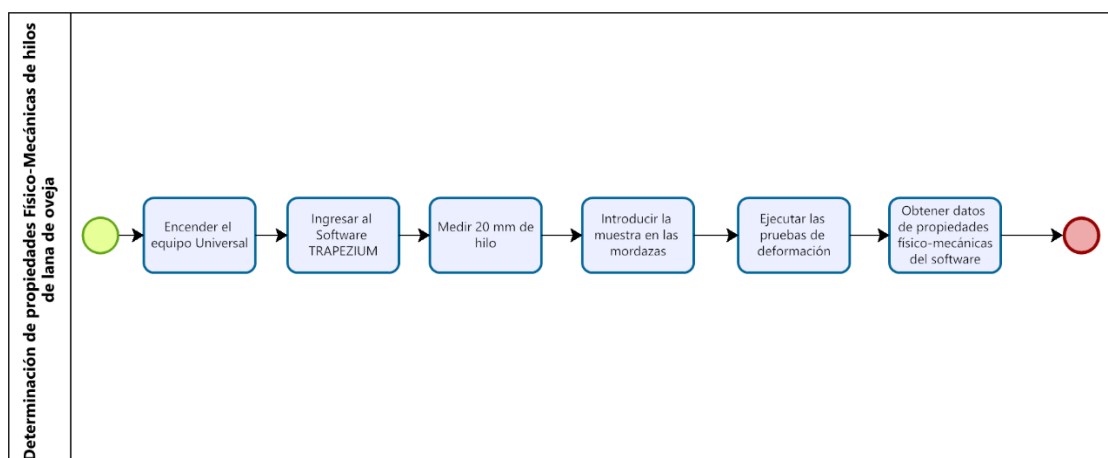
El método para calcular las propiedades físico- mecánicas en hilos de lana según Jankowska et al., (2021) en el documento titulado “**COMPARISON OF PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF FIBRE AND YARN MADE OF ALPACA, SHEEP, AND GOAT WOOL**” se obtuvo mediante el uso de la máquina de ensayo universal utilizando mordazas tipo mandíbula.

La determinación de las propiedades físico-mecánicas se realizó en los laboratorios del Instituto Chino Ecuatoriano de Biodiversidad y Biotecnológico, Agropecuario y Forestal (ICEBBAF), ubicado en las ESPOCH.

Se utilizó una maquina universal marca (SHIMADZU) con el software (TRAPEZIUM la cual determino las propiedades físico-mecánicas de la fibra de lana de oveja, en donde se siguió el proceso descrito en la **figura 12**.

Figura 12

Diagrama de determinación de propiedades físico-mecánicas de hilos



Procedimiento para la determinación de propiedades físico-mecánicas de hilos

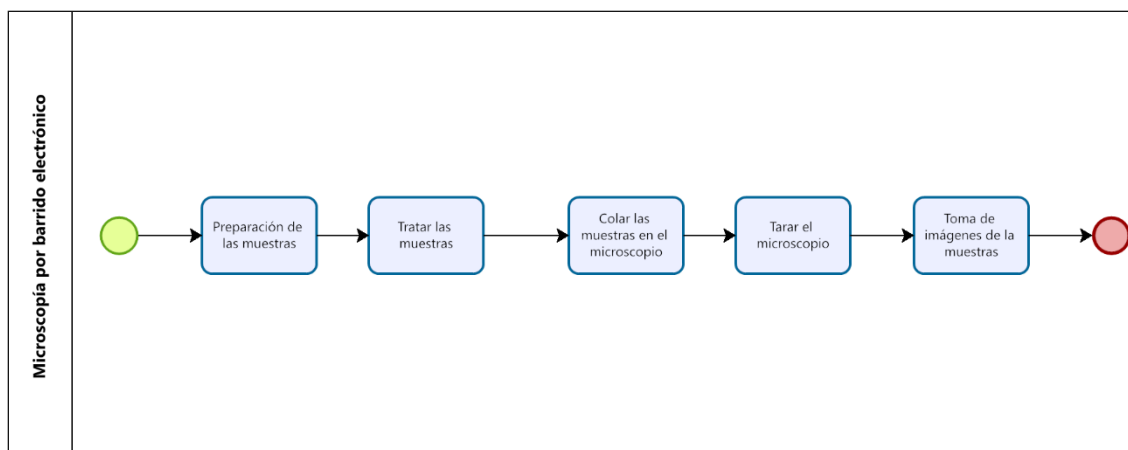
- **Encendido:** se enciende el equipo Universal y se tara
- **Programación:** se ingresa al software TRAPEZIUM
- **Preparación de muestras:** se mide hilos de 20 mm y todos los tratamientos
- **Ajuste:** se ajustan las muestras con las mordazas de la maquina universal
- **Ensayos:** se genera pruebas de tensión para determinar mediante el software las propiedades físico-mecánicas
- **Obtención de datos:** Se recopilan los datos obtenidos a partir del software TRAPEZIUM

3.4.4 Microscopia por barrido electrónico Metodología

El método de determinación de Microscopia por barrido electrónico se basó según Hurren et al., (2008), en el artículo titulado “**THE EFFECTS OF ULTRASONIC AGITATION IN LAUNDERING ON THE PROPERTIES OF WOOL FABRICS**” en donde se siguió el proceso descrito en la **figura13**.

Figura 13

Microscopia por barrido



Procedimiento para la Microscopia por barrido electrónico

- **Preparación de muestras:** Se extrae una cantidad mínima de lana para adherir al portaobjetos
- **Tratar las muestras:** Las muestras son sometidas a baños de oro
- **Colocación de muestras:** Las muestras se insertan en los lugares asignados
- **Tarar el microscopio:** se elimina la humedad y la presión de la cabina del microscopio
- **Toma de imágenes:** Seleccionar el tipo de muestra y tomar la foto de las fibras

3.5 Técnicas de análisis.

Medidas repetidas

ANOVA

El ANOVA (Analysis of Variance). de medidas repetidas reduce la variabilidad debida a diferencias entre sujetos y es ideal para analizar cambios a lo largo del tiempo o bajo diferentes condiciones experimentales. Este análisis es capaz de manejar diseños más complejos, que incluyen componentes intra sujetos y multifactoriales entre sujetos, permitiendo una evaluación detallada de los efectos de diferentes tratamientos o condiciones en la misma cohorte de sujetos (Glonck et al., 2004).

Tukey

Emplea el estadístico del rango estudiado para efectuar todas las comparaciones emparejadas entre los grupos. Define la tasa de error por experimento como la tasa de error correspondiente al conjunto de todas las comparaciones pareadas (IBM, 2021).

Software estadístico

Para el presente trabajo de investigación se empleó el paquete estadístico Statgraphics Centurion 18.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados de índice de amarillez y blancura

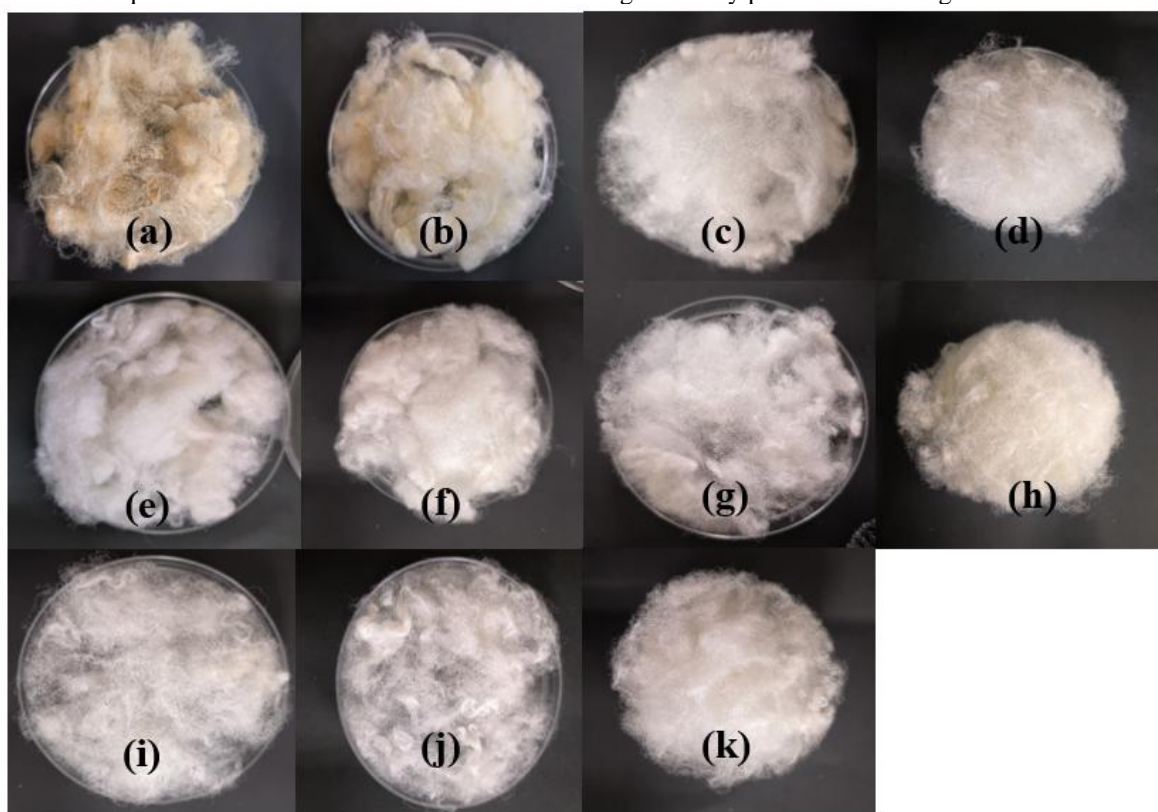
Se llevaron a cabo pruebas de blanqueo de lana de oveja utilizando nueve formulaciones distintas, que incluían variadas concentraciones de peróxido de hidrógeno y extractos de ortiga blanca. Como referencia, se aplicó un tratamiento inicial con peróxido de hidrógeno al 35% v/v, una concentración comúnmente empleada en la industria textil por empresas como Pro-Chemical & Dye Inc. Este tratamiento sirvió como estándar para comparar los efectos de los métodos naturales. Posteriormente, se ajustaron las concentraciones de los agentes blanqueadores para analizar su impacto específico sobre la lana.

Investigaciones anteriores, han experimentado métodos de blanqueamiento con peróxido de hidrógeno, con el fin de obtener una lana más blanca para su posterior manufactura. De acuerdo con Arildii et al., (2022) se midió el color previo al proceso de blanqueamiento obteniendo un valor de blancura de 28,66, posterior al proceso con peróxido de hidrógeno en soluciones de 30% (p/p) se obtuvo valores de 56,95 en índice de blancura dando como resultado una lana más blanca que la inicial, así también existen otros tipos de investigaciones en donde se utiliza mordientes con el fin de optimizar el proceso. Bouagga et al, (2022) en su investigación utilizó (CuSO₄) sulfato de cobre y (FeSO₄) sulfato de hierro para el proceso de Mordentado para posteriormente se blanqueó con peróxido de hidrógeno al 30% obteniendo índices de amarillez previo al tratamiento de 13,1 en lana no tratada, 9,10 en muestras tratadas con CuSO₄ y 6,0 en muestras tratadas con FeSO₄, obtiene valores de índice de blancura posterior al blanquimiento las que fueron 58,5 en lana no tratada, 75.1 en muestras tratadas con CuSO₄ y 79,70 en muestras tratadas con FeSO₄, estas dos investigaciones ven el efecto del peróxido de hidrógeno sobre la lana reduciendo el índice de amarillez y elevando el índice de blancura posterior a los procesos.

Según los datos obtenidos en las variables índice de amarillez y blancura en el proceso de blanqueamiento con la incorporación de extractos vegetales en el agente blanqueador se obtuvo los datos que se describe en la **tabla 13**.

Figura 14

Fibras Blanqueadas con diferentes concentraciones de ortiga blanca y peróxido de hidrógeno



Nota. (a) Cruda, (b) Desengrasada, (c) T35, (d) Deco, (e) D30, (f) D25, (g) D20, (h) Infu, (i) I30, (j) I25, (k) I20

Tabla 12

Índice de amarillez e índice de blancura Comparaciones en parejas por Tukey \pm media y desviación estándar

| TRATAMIENTO | IA | IB |
|-------------|-------------------------------|-------------------------------|
| CRUDA | 26,41 \pm 0,64 ⁱ | 30,48 \pm 0,70 ^a |
| DESEN | 16,67 \pm 1,28 ^h | 40,15 \pm 0,48 ^b |
| LAN35 | 5,43 \pm 0,41 ^f | 72,83 \pm 0,18 ^d |
| LAND | 11,91 \pm 0,92 ^g | 57,65 \pm 0,76 ^c |
| LAND30 | 4,16 \pm 1,01 ^{ef} | 73,76 \pm 0,46 ^e |
| LAND25 | 1,11 \pm 0,63 ^{bc} | 76,02 \pm 0,34 ^f |
| LAND20 | 2,46 \pm 1,47 ^{cd} | 74,43 \pm 0,75 ^e |
| LANI | 11,99 \pm 1,36 ^g | 56,87 \pm 0,98 ^c |
| LANI30 | 3,85 \pm 0,38 ^{de} | 74,24 \pm 0,32 ^e |
| LANI25 | 0,94 \pm 0,40 ^b | 74,62 \pm 0,31 ^e |
| LANI20 | -0,51 \pm 0,27 ^a | 76,37 \pm 0,26 ^f |

Nota. IA. Índice de amarillez, IB Índice de blancura Valores referentes a la media \pm desviación estándar; ^{a-b-c-d-e-f}: grupos estadísticos, ($P < 0,05$), \pm . Desviación estándar.

Al analizar estadísticamente los datos a través de un diseño de medidas repetidas, se observó que la muestra cruda presentaba el valor significativamente más alto en el índice de

amarillez y el más bajo en el índice de blancura en comparación con las demás muestras. Esto se debe a que la fibra cruda está altamente contaminada por grandes cantidades de impurezas, como cebo, grasa y suciedad Allafi et al., (2022) Millington et al., (2017). Estos resultados se corroboran con las imágenes de microscopía, que muestran la cutícula de la fibra en forma de escamas recubierta por impurezas, en forma de pequeñas circunferencias, afectando el color blanco de la lana (Allafi et al., 2022).

El tratamiento **LAN35**, blanqueado con peróxido de hidrógeno al 35% v/v, disminuyó significativamente el índice de amarillez y aumentó el índice de blancura. Esto se debe a las propiedades blanqueantes del peróxido de hidrógeno, que actúa eliminando la grasa y el color amarillento, causado por la descomposición y solubilización de los gránulos pigmentados (Lakshmanan, 2022; Montazer et al, 2012). De este modo, la lana adquiere un color blanco mientras que su superficie sufre un daño moderado. Este proceso genera modificaciones y provoca la eliminación parcial o total de las escamas en la superficie cuticular, lo que facilita la eliminación de impurezas (Cardamone et al., 2004).

Las muestras tratadas con soluciones de peróxido de hidrógeno y extractos obtenidos mediante infusión y decocción presentaron valores significativamente similares en los índices de amarillez y blancura **Tabla 13**. Ambos tratamientos lograron reducir el índice de amarillez y, a su vez, aumentar el índice de blancura en comparación con la muestra cruda. Esto se atribuye a la eliminación de pigmentos, como la melanina, y de impurezas, como grasa y cebo. Sin embargo, los tratamientos que emplearon peróxido de hidrógeno mostraron un índice de blancura significativamente más alto en comparación con los extractos. Este fenómeno se debe a que, durante el proceso de blanqueo, el peróxido de hidrógeno genera el ion perhidroxilo (HO_2^-), que transfiere oxígeno y ataca los enlaces disulfuro en la lana. Este ataque resulta en la ruptura de los enlaces S-S, permitiendo así lograr un color blanco completo mediante un tratamiento de peroxidación de hidrógeno (Cardamone et al., 2004). De esta manera, se eliminan las impurezas y pigmentos presentes en la lana de oveja.

Posiblemente, la combinación de los compuestos del peróxido de hidrógeno y de los principios activos como los: (fitoecdisteroides de aceites esenciales, terpenos, flavonoides, derivados de isoscutellareína, ácidos fenólicos e iridoides) presentes en la ortiga blanca potenciaron el efecto en la disminución del índice amarillento y potenciaron el índice de blancura.

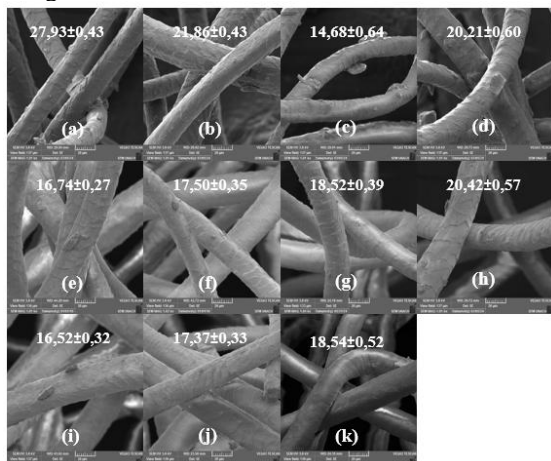
Las muestras blanqueadas exclusivamente con extractos naturales presentaron valores más bajos en los índices de amarillez y blancura en comparación con las muestras tratadas con peróxido de hidrógeno. Esto se debe a que no se produjo una eliminación parcial o total de pigmentos e impurezas (grasa y sebo) debido a la ausencia de peróxido de hidrógeno, que es el agente responsable de remover dichas impurezas Lakshmanan (2022). A pesar de esto, los extractos naturales lograron blanquear la lana de manera efectiva en comparación con la lana cruda, mejorando el color blanco en un 52% y reduciendo la amarillez en un 45%. Este efecto blanqueador puede atribuirse a la acción de los principios activos presentes en los extractos sobre la lana de oveja.

4.2 Análisis de microscopía por barrido electrónico SEM y resistencia a álcali

A través de las imágenes obtenidas por Microscopía electrónica de barrido se cuantifico el diámetro, observando el efecto del agente blanqueador en cada una de las muestras, por eliminación de impurezas y modificación parcial o total de las escamas de la superficie cuticular de la lana (Cardamone et al., 2004).

Figura 15

Imágenes SEM de cada tratamiento



Nota. (a) Cruda, (b) Desengrasada, (c) T35, (d) Deco, (e) D30, (f) D25, (g) D20, (h) Infu, (i) I30, (j) I25, (k) I20

Tabla 13

Comparaciones en parejas por Tukey \pm media y desviación estándar de la alcalinidad

PROPIEDAD QUÍMICA

| Tratamientos | Alcalinidad (%) |
|---------------|-------------------------------|
| CRUDA | 23,21 \pm 0,65 ^a |
| DESEN. | 28,17 \pm 0,54 ^b |
| LAN35 | 55,00 \pm 0,42 ^g |
| LAND | 29,01 \pm 0,55 ^b |
| LAND30 | 47,95 \pm 0,39 ^f |
| LAND25 | 44,22 \pm 0,61 ^e |
| LAND20 | 37,10 \pm 0,53 ^d |
| LANI | 30,67 \pm 0,72 ^c |
| LANI30 | 48,49 \pm 0,44 ^f |
| LANI25 | 44,6 \pm 0,45 ^e |
| LANI20 | 37,53 \pm 1,17 ^d |

Nota. Valores referentes a la media \pm desviación estándar; ^{a-b-c-d-e-f-g} grupos estadísticos. (P<0,05), \pm , desviación estándar

Análisis

Al analizar estadísticamente los datos mediante un diseño de medidas repetidas, la resistencia a álcali tiene como objetivo observar la resistencia de la fibra frente a agentes químicos donde los aminoácidos de la proteína se descomponen generando residuos de cisteína y deshidroalanina, este último reacciona con otro grupo amino de la lisina o la cistina, formando así otro tipo de compuestos como la lisinoalanina o lantionina Asquith et al., (1973). La muestra cruda mostro un valor significativamente más alto en el diámetro y una mayor resistencia a álcali, debido a que la muestra no se sometió a ningún proceso por lo cual no existe daño en la fibra. En la **figura (a)**, observada a una magnificación de 1000x, presenta una superficie rugosa debido a la cutícula, con diámetros que varían entre $27,93 \mu\text{m} \pm 0,43$, y a la vez se observan presencia de circunferencias que está relacionado a la grasa y cebo.

La eliminación de impurezas es esencial para obtener lana de alta calidad Allafi et al, (2022). El proceso de desengrasado elimina impurezas (cebo y grasa) este paso es fundamental para procesos posteriores. Al someterse a dicho proceso se presentaron valores menores en resistencia en álcali y diámetro respecto a la muestra cruda debido a que dicho proceso se centra en eliminar impurezas presentes, este paso es esencial ya que, la grasa representa un 28% y las impurezas un 26% en la composición del vellón como lo menciona Parlato et al., (2020). De acuerdo con Soun et al., (2020) el proceso de desengrase influye en el diámetro en la lana ya que antes y después del proceso de lavado la fibra presenta valores de $22,6 \mu\text{m}$ de diámetro en la lana cruda y $21,5 \mu\text{m}$ en la lana lavada, el uso del carbonato de sodio que es utilizado comúnmente en este proceso facilita la eliminación de la grasa en la fibra, mediante la saponificación de estas partículas. En la **figura (b)**, observada a una magnificación de 1000x, presenta una superficie parcialmente lisa debido a la eliminación de impurezas, con diámetros que varían entre $21,86 \mu\text{m} \pm 0,43$, y a la vez se observan una mínima presencia de contaminantes.

La muestra **T35** presentó valores menores en el diámetro y una menor resistencia al álcali, debido a que el peróxido de hidrógeno desgasta la fibra mediante la oxidación de los puentes disulfuro de la queratina Liu et al., (2004). Esto debilita la fibra, como se observa en la **figura (c)**, donde, a una magnificación de 1000x, se evidencia una superficie desgastada y el desprendimiento de las células cuticulares. Este proceso afecta el diámetro de la fibra, que varía entre $14,68 \mu\text{m} \pm 0,64$, por lo tanto, no se observan impurezas. De acuerdo con Liu et al, (2004), al utilizar soluciones de peróxido de hidrógeno sin agentes adicionales, la capa cuticular superficial de la lana queda gravemente dañada.

La **tabla 14** muestra valores significativamente similares en los tratamientos con soluciones de peróxido de hidrógeno y extractos obtenidos mediante ambos procedimientos en cuanto a la resistencia a álcali. Los tratamientos con concentraciones menores de peróxido de hidrógeno favorecieron un mayor diámetro y una mayor resistencia a álcali, evidenciando un efecto positivo. En contraste, las fibras tratadas con una alta concentración de peróxido de hidrógeno al 35% v/v experimentan efectos adversos. Es posible que la combinación de los compuestos del peróxido y los principios activos de los extractos haya mitigado estos efectos, como lo muestra la **tabla 14**. Además, las **figuras (e, f, g, i, j, k)**, observadas a una

magnificación de 1000x, evidencian una morfología más intacta, con escamas menos dañadas, lo que se debe a la baja concentración de peróxido de hidrógeno utilizada en cada tratamiento. Estos resultados coinciden con los diámetros observados, que varían entre $18,54 \mu\text{m} \pm 0,52$ y $16,52 \mu\text{m} \pm 0,32$. Siendo más delgadas que otras fibras de origen animal, como las de alpaca, cuyo diámetro promedio es de $21,12 \mu\text{m}$ Jankowska et al., (2021). Esto sugiere que el peróxido de hidrógeno afecta negativamente la estructura de la fibra, haciéndola más delgada y menos resistente a álcali.

Finalmente, las muestras blanqueadas con extractos naturales presentaron valores significativamente similares en cuanto al diámetro y la resistencia a álcali en comparación con la lana desengrasada, ya que no fueron sometidas a procesos con peróxido de hidrógeno. Las muestras exhibieron una mayor resistencia a álcali y un diámetro superior. Las figuras (d, h), observadas a una magnificación de 1000x, muestran una estructura preservada, comparable a la de las muestras tratadas con bajas concentraciones de peróxido de hidrógeno. Estas fibras presentan una superficie relativamente lisa, con escamas bien definidas, lo que sugiere que los agentes naturales pueden ser efectivos en el blanqueo sin comprometer la integridad estructural de las fibras. Los diámetros de las fibras blanqueadas con extractos varían entre $20,21 \mu\text{m} \pm 0,60$ y $20,42 \mu\text{m} \pm 0,57$, superando a las fibras tratadas con peróxido de hidrógeno. Esto es comparable al diámetro de la fibra en estado crudo, que, según Bouagga et al., (2022), es de $29 \mu\text{m} \pm 2,2$. Es importante señalar que las fibras en estado crudo están influenciadas por las impurezas, lo que puede alterar los valores de diámetro y resistencia a álcali.

4.3 Análisis de las propiedades físico-mecánicas de los hilos de la fibra de oveja

La fibra de lana de oveja tiene propiedades únicas como térmica, acústico y absorción de humedad Patnaik et al, (2015). A comparación de otras fibras de origen sintético debido a su naturaleza Allafi et al, (2022). Además, las fibras de origen natural, como las fibras de alpaca que tiene valores de fuerza de ruptura de 23,14 N y 33% de elongación a su vez las fibras de cabra con valores de 27,14 N y 27% de elongación, ratificando que las fibras de cabra fueron las más fuertes, pero menos elásticas Jankowska et al, (2021). En particular, las fibras blanqueadas con extractos naturales presentan valores superiores de fuerza de ruptura, que varían entre 29,42 N y 30,28 N. Estas fibras muestran una mayor elongación, alcanzando valores entre 39,29% y 39,44%, lo que indica una elasticidad superior en comparación con las fibras de otros orígenes animales. y se presentan en la **tabla 15**

Tabla 14

Propiedades físicas de lana de oveja comparaciones en parejas por Tukey \pm media y desviación estándar

| PROPIEDADES FÍSICO - MECANICAS | | | | | | |
|--------------------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|
| TRAT. | Fuerza de ruptura | Máximo Desplazamiento | Máximo Esfuerzo | Máxima Deformación | Energía | Módulo de elasticidad |
| | N | mm | Cn/tex | % | J | |
| CRUDA | $47,59 \pm 1,26^i$ | $7,45 \pm 0,46^e$ | $4.758,6 \pm 126,45^g$ | $37,24 \pm 2,32^e$ | $0,393 \pm 0,16^c$ | $327,39 \pm 36,79^a$ |
| DESEN | $39,19 \pm 1,73^h$ | $10,2 \pm 0,06^f$ | $3.800,9 \pm 393,48^f$ | $51,14 \pm 0,28^f$ | $0,389 \pm 0,07^c$ | $205,44 \pm 24,51^d$ |
| LAN35 | $5,88 \pm 0,87^a$ | $3,39 \pm 0,54^a$ | $587,55 \pm 87,15^a$ | $16,99 \pm 2,73^a$ | $0,026 \pm 0,01^a$ | $67,89 \pm 11,86^a$ |

| | | | | | | |
|--------|---------------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------------|
| LAND | 30,28 ±0,89 ^g | 7,83 ±0,25 ^e | 3.027,85 ±88,84 ^f | 39,29 ±1,14 ^e | 0,2744 ±0,05 _{bc} | 167,58 ±19,74 ^{cd} |
| LAND30 | 12,17 ±0,95 ^{bc} | 3,99 ±0,07 ^b | 1.216,9 ±94,90 ^b | 19,99 ±0,34 ^b | 0,0774 ±0,02 ^a | 111,67 ±12,65 ^{ab} |
| LAND25 | 14,15 ±0,91 ^{cd} | 4,75 ±0,06 ^c | 1.415,1 ±90,77 ^{bc} | 23,77 ±0,33 ^c | 0,067 ±0,01 ^a | 105,13 ±17,34 ^{ab} |
| LAND20 | 16,38 ±0,85 ^{ef} | 5,98 ±0,27 ^d | 1.637,55 ±85,22 _{cd} | 29,93 ±1,39 ^d | 0,1148 ±0,03 ^a | 128,63 ±35,32 ^{bc} |
| LANI | 29,42 ±0,94 ^g | 7,88 ±0,20 ^e | 2.941,5 ±94,36 ^e | 39,44 ±1,02 ^e | 0,2464 ±0,04 ^b | 152,77 ±15,03 _{bcd} |
| LANI30 | 11,69 ±0,58 ^b | 4,09 ±0,22 ^b | 1.168,95 ±57,53 ^b | 20,53 ±1,07 ^b | 0,0748 ±0,04 ^a | 105,14 ±4,42 ^{ab} |
| LANI25 | 14,41 ±1,13 ^{de} | 4,07 ±0,27 ^b | 1.440,65 ±112,51 _{bc} | 20,37 ±1,38 ^b | 0,076 ±0,03 ^a | 123,91 ±15,28 ^{bc} |
| LANI20 | 17,9 ±0,85 ^f | 5,57 ±0,11 ^d | 1.789,9 ±84,97 ^d | 27,85 ±0,58 ^d | 0,0858 ±0,05 ^a | 133,02 ±44,63 ^{bc} |

Nota. Valores referentes a la media ± desviación estándar; ^{a_b_c_d_e_f_g} grupos estadísticos, (P<0,05), ±. Desviación estándar

La fuerza de ruptura se refiere a la máxima capacidad que una fibra puede soportar antes de romperse Lakshmanan (2022). Las muestras en su estado crudo presentan una mayor resistencia, ya que no han sido sometidas a procesos que puedan degradarlas. La temperatura utilizada en los procesos de desengrasado y blanqueado afecta el desgaste de las fibras Aksakal et al., (2009) demostraron que el aumento de la temperatura reduce significativamente las propiedades de tracción de la lana, observándose la desnaturalización de la α -queratina. Para minimizar este daño, Bouagga et al., (2022) aplicó un tratamiento de 30 minutos a 60°C, considerado óptimo para proteger las fibras. Después del desengrasado, la lana mostró una fuerza de ruptura inferior debido a la eliminación de impurezas y la exposición a la temperatura, comparada con las muestras en estado crudo.

El tratamiento LAN35, que utilizó una mayor concentración de peróxido de hidrógeno (35% v/v), afecta las propiedades de la lana debido a la formación del ion perhidroxilo (HO_2^-). Este ion transfiere oxígeno y ataca los enlaces disulfuro en la lana, lo que provoca la ruptura de los enlaces S-S Cardamone et al., (2004). Estos enlaces son fundamentales para las propiedades físico-mecánicas de la lana, ya que la α -queratina que la compone forma dos hélices α , las cuales se entrelazan mediante enlaces disulfuro para crear una estructura en espiral Banasaz et al., (2024) . La ruptura de estos puentes disulfuro reduce la resistencia a la tracción de las fibras, afectando negativamente sus propiedades físico-mecánicas. Por consiguiente, a mayor concentración de peróxido de hidrógeno, menor será la fuerza de ruptura de las fibras. Según Arildii et al., (2022), las fibras blanqueadas con peróxido de hidrógeno presentan una fuerza de ruptura menor en comparación con las fibras blanqueadas con otros métodos, ya sea en presencia o ausencia del peróxido. Sin embargo, al variar la concentración de peróxido de hidrógeno y los extractos de ortiga blanca obtenidos por diferentes métodos de extracción, no se observaron diferencias significativas en la resistencia, lo que sugiere que ambos procesos son sinérgicos.

Las fibras tratadas con los extractos mostraron una mayor fuerza de ruptura en comparación con aquellas sometidas a tratamientos con peróxido de hidrógeno. Esto puede deberse a la posible ausencia de una presencia significativa del ion perhidroxilo (HO_2^-) en los extractos, lo que evita la ruptura de los enlaces disulfuro en las fibras Cardamone et al.,

(2004). De esta manera, las fibras mantienen sus propiedades físicas sin sufrir el daño que típicamente causa el peróxido de hidrógeno en los enlaces S-S.

El desplazamiento máximo aumentó de $7,45 \pm 0,46$ mm en la lana cruda a $10,2 \pm 0,06$ mm en la lana desengrasada ya que la lana desengrasada confiere una mayor capacidad de estiramiento a la fibra Lipson et al., (2008). Indicando una mayor ductilidad tras la eliminación de grasas. Sin embargo, el blanqueo redujo el desplazamiento máximo a $3,39 \pm 0,54$ mm, mostrando una pérdida significativa de elasticidad y flexibilidad. Esto se debe a las modificaciones de la α -queratina a los enlaces disulfuro en la lana responsables de las propiedades físico-mecánicas Banasaz et al, (2024). Mientras que LAND30 presenta el menor desplazamiento ($3,99 \pm 0,07$ mm) a comparación de las lanas tratadas por la combinación de los agentes blanqueadores, indicando menor ductilidad en comparación con LAND20, que tiene un desplazamiento máximo de $5,98 \pm 0,27$ mm. Las muestras LAND y LANI aumento su desplazamiento.

El máximo esfuerzo mostró una disminución significativa con cada tratamiento: de $4.758,6 \pm 126,45$ Cn/tex en la lana cruda, a $3.800,9 \pm 393,48$ Cn/tex en la lana desengrasada, y a $587,55 \pm 87,15$ Cn/tex en la lana blanqueada con peróxido de hidrógeno al 35% v/v. Esta reducción sugiere que los tratamientos, particularmente el blanqueo con peróxido de hidrógeno, comprometen la capacidad de la fibra para soportar cargas debido a la alteración de su matriz proteica. Las muestras tratadas con agentes blanqueadores mostraron un esfuerzo máximo más elevado en el tratamiento LAND20 ($1.637,55 \pm 85,22$ Cn/tex) en comparación con otras muestras, lo que sugiere que esta concentración de peróxido de hidrógeno es más eficaz para preservar la integridad estructural de la fibra bajo carga. No obstante, el esfuerzo máximo de las fibras LAND y LANI disminuyó a medida que aumentaba la concentración de ortiga blanca. Esta disminución no se puede atribuir directamente a la ortiga, sino a la interacción de factores, como la temperatura del blanqueo, que es un elemento crítico en la aparición de daños en la fibra, ya que puede desnaturalizar las proteínas. Para minimizar este daño, Bouagga et al., (2022) Bouagga et al. recomendó un tratamiento de 30 minutos a 60°C , considerado óptimo para minimizar el daño en las fibras.

La máxima deformación aumentó tras el desengrase ($51,14 \pm 0,28$ %) en comparación con la lana cruda ($37,24 \pm 2,32$ %), ya que las fibras de lana confieren una menor tendencia a deformarse permanentemente bajo carga Lakshmanan (2022) . Sin embargo, después del blanqueo, la deformación máxima se redujo drásticamente a $16,99 \pm 2,73$ %, indicando una pérdida de elasticidad y un aumento de la fragilidad, debido al efecto del peróxido de hidrógeno sobre la fibra. En las muestras donde se combinaron los diferentes agentes la máxima deformación es más alta en LAND20 ($29,93 \pm 1,39$ %), lo que implica una mayor elasticidad en comparación con otras muestras. Por otro lado, LAND30 muestra la menor deformación ($19,99 \pm 0,34$ %), indicando una mayor rigidez y menor flexibilidad. Las muestras LAND y LANI aumentaron debido a la ausencia del peróxido de hidrógeno.

La energía absorbida durante el ensayo de tensión mostró una ligera disminución tras el desengrase ($0,389 \pm 0,07$ J) en comparación con la lana cruda ($0,393 \pm 0,16$ J), pero

disminuyó significativamente tras el blanqueo ($0,026 \pm 0,01$ J). La tenacidad, se ve gravemente afectada por el blanqueo. La energía absorbida durante el ensayo en las muestras donde se aplicaron los dos agentes es mayor en LAND20 ($0,1148 \pm 0,03$ J), lo señala que esta muestra tiene una mayor tenacidad, siendo capaz de absorber más energía antes de la fractura. LAND30 tiene la energía absorbida más baja ($0,0774 \pm 0,02$ J), lo que indica una menor capacidad de absorción de energía y, por ende, menor tenacidad. Las muestras LAND y LANI aumentó con la ausencia de peróxido de hidrógeno. Este aumento se puede atribuir al efecto de no utilizar peróxido de hidrógeno influyendo en la tenacidad de las fibras.

La fibra de lana de oveja presenta tres fases distintas durante su estiramiento: elástica, plástica y límite de fractura. En la fase elástica, la lana muestra una respuesta proporcional a la carga aplicada Lakshmanan (2022). La elasticidad en la lana cruda es superior al de otros tratamientos debido a la ausencia de modificaciones estructurales, durante el proceso de desengrase, el desgastan la fibra es afectado por la temperatura Aksakal et al., (2009). Después del blanqueo, la elasticidad disminuye, indicando que la lana se vuelve menos elástica. Las fibras tratadas con una combinación de agentes blanqueadores presentan diferente elasticidad: LAND20 muestra un módulo mayor ($128,63 \pm 35,32$ N), indicando una estructura medianamente desgastada, mientras que LAND30 tiene un módulo significativamente menor ($111,67 \pm 12,65$ N), corroborando que las fibras tratadas con menor concentración de peróxido de hidrógeno son menos elásticas y más frágiles. Las muestras LAND y LANI son más elásticas debido a la ausencia de peróxido de hidrógeno, que no reaccionan con los puentes disulfuros presentes en la estructura de la lana.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Los saberes ancestrales jugaron un papel importante en el proceso de blanqueamiento mediante el uso de extractos de ortiga blanca. Los diferentes métodos de obtención de estos extractos produjeron resultados significativamente similares, lo que sugiere que cualquier método empleado puede cumplir eficazmente con el objetivo de blanqueamiento. Sin embargo, la combinación de estos extractos con peróxido de hidrógeno mostró un efecto sinérgico, logrando un índice de blancura superior y un índice de amarillez menor en comparación con el uso del peróxido de hidrógeno al 35%, comúnmente utilizado en la industria textil. En particular, los tratamientos LAND 25 y LANI 20 demostraron ser más efectivos en la obtención de una lana más blanca. Estos hallazgos destacan la importancia de la combinación de agentes blanqueadores en el proceso, subrayando que la ortiga blanca puede actuar como un complemento valioso al peróxido de hidrógeno, pero no como un sustituto completo.

Además, el uso de estos extractos representa un proceso alternativo. Aunque el uso exclusivo de estos extractos no produjo valores de blancura superiores en comparación con otros métodos, demostraron ser un enfoque alternativo e interesante para la generación de fibras, alineándose con las nuevas tendencias en la industria textil.

La obtención de hilos mediante torsión se vio afectada por el uso de peróxido de hidrógeno, que daña la fibra de lana tanto externamente, al provocar la descamación de la cutícula, como internamente, al romper los enlaces disulfuro. A concentraciones más altas de peróxido de hidrógeno, el daño es mayor, lo que resulta en una mayor descamación y un proceso de hilado más complicado. En cambio, al reducir la concentración de peróxido de hidrógeno, el daño disminuye, lo que mejora la resistencia de la fibra y facilita un hilado más adecuado. Por otro lado, las fibras tratadas con extractos no mostraron daños significativos. Estas fibras mantuvieron una cutícula uniforme y presentaron una mayor resistencia durante el hilado, contribuyendo a un proceso de hilado más efectivo.

Las propiedades físico-mecánicas de la fibra se ven afectadas por el peróxido de hidrógeno, que rompe los enlaces disulfuro responsables de estas propiedades. Esto resulta en hilos más frágiles y menos elásticos debidos. Sin embargo, el uso de la combinación de los agentes blanqueadores contribuye a mantener una fibra resistente, permitiendo que soporten mayores fuerzas y mantenga una mayor elasticidad en comparación con las fibras tratadas con el peróxido de hidrógeno. Finalmente, las fibras tratadas con extractos exhiben propiedades únicas, soportando mayores fuerzas y mostrando una mayor elasticidad, lo que las convierte en un material único para las nuevas tendencias textiles.

5.2 Recomendaciones

- Realizar una limpieza manual de la lana para retirar impurezas sólidas.
- Escarmenar la lana de oveja, para facilitar la difusión de del baño.
- Tener un buen control de tiempos y temperaturas durante el proceso de blanqueamiento ya que al pueden afectar en la desnaturalización de fibra afectando así en la formación de hilos
- Ejecutar procesos de blanqueamiento con otro tipo de agentes químico, y fusionar con los extractos de ortiga blanca para observar su potencial
- Realizar una caracterización de los extractos, para ver cuáles son los compuestos activos que actúan sobre la fibra para tener una más fibra blanca
- Tomar en cuenta el potencial de estudio y continuar con el proceso de teñido y el lavado para observar la adherencia del color en dichas fibras

BIBLIOGRAFIA

- Abrar, M., Sibtain, M. M., & Shabbir, R. (2021). Understanding purchase intention towards eco-friendly clothing for generation Y & Z. *Cogent Business & Management*, 8(1). <https://doi.org/10.1080/23311975.2021.1997247>
- Aksakal, B., & Alekberov, V. (2009). The effect of temperature and water on the mechanical properties of wool fibres investigated with different experimental methods. *Fibers and Polymers*, 10(5), 673–680. <https://doi.org/10.1007/S12221-010-0673-9/METRICS>
- Allafi, F. A., Hossain, M. S., Shaah, M., Lalung, J., Ab Kadir, M. O., & Ahmad, M. I. (2022a). A Review on Characterization of Sheep Wool Impurities and Existing Techniques of Cleaning: Industrial and Environmental Challenges. *Journal of Natural Fibers*, 19(14), 8669–8687. <https://doi.org/10.1080/15440478.2021.1966569>
- Allafi, F. A., Hossain, M. S., Shaah, M., Lalung, J., Ab Kadir, M. O., & Ahmad, M. I. (2022b). A Review on Characterization of Sheep Wool Impurities and Existing Techniques of Cleaning: Industrial and Environmental Challenges. *Journal of Natural Fibers*, 19(14), 8669–8687. <https://doi.org/10.1080/15440478.2021.1966569>
- Allafi, F., Hossain, M. S., Lalung, J., Shaah, M., Salehabadi, A., Ahmad, M. I., & Shadi, A. (2022). Advancements in Applications of Natural Wool Fiber: Review. *Journal of Natural Fibers*, 19(2), 497–512. <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1745128>
- 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>
- Asquith, R. S., & Carthew, P. (1973). THE COMPETITIVE ADDITION REACTION OF DEHYDROALANINE RESIDUES FORMED DURING THE ALKALINE DEGRADATION OF WOOL CYSTINE. *The Journal of The Textile Institute*, 64(1), 10–20. <https://doi.org/10.1080/00405007308630415>
- Banasaz, S., & Ferraro, V. (2024). Keratin from Animal By-Products: Structure, Characterization, Extraction and Application—A Review. *Polymers*, 16(14), 1999. <https://doi.org/10.3390/polym16141999>
- Belščak-Cvitanović, A., Komes, D., Durgo, K., Vojvodić, A., & Bušić, A. (2015). Nettle (*Urtica dioica* L.) extracts as functional ingredients for production of chocolates with improved bioactive composition and sensory properties. *Journal of Food Science and Technology*, 52(12), 7723–7734. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1916-y>
- 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>

- 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>
- Duffield, P. A., & Lewis, D. M. (2008a). The Yellowing and Bleaching of Wool. *Review of Progress in Coloration and Related Topics*, 15(1), 38–51. <https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.1985.tb03735.x>
- Duffield, P. A., & Lewis, D. M. (2008b). The Yellowing and Bleaching of Wool. *Coloration Technology*, 15(1), 38–51. <https://doi.org/10.1111/J.1478-4408.1985.TB03735.X>
- Eberle, H. (2008). *Clothing Technology: From Fibre to Fashion*. 304. https://books.google.com/books/about/Clothing_Technology.html?hl=es&id=4N6qSgAACAAJ
- Erdoğan, M. Ü., & Karaboyacı, M. (2021a). Investigation of Alternative Ecologic Bleaching Methods for the Wool Fibers. *Journal of Natural Fibers*, 18(9), 1229–1246. <https://doi.org/10.1080/15440478.2019.1689883>
- Erdoğan, M. Ü., & Karaboyacı, M. (2021b). Investigation of Alternative Ecologic Bleaching Methods for the Wool Fibers. *Journal of Natural Fibers*, 18(9), 1229–1246. <https://doi.org/10.1080/15440478.2019.1689883>
- Fisher, C. H. (2008). History of Natural Fibers. *Journal of Macromolecular Science: Part A - Chemistry*, 15(7), 1345–1375. <https://doi.org/10.1080/00222338108056788>
- Glonek, G. F. V., & Solomon, P. J. (2004). Factorial and time course designs for cDNA microarray experiments. *Biostatistics*, 5(1), 89–111. <https://doi.org/10.1093/biostatistics/5.1.89>
- Harris, M., & Smith, A. L. (1936). Oxidation of wool: Alkali-solubility test for determining the extent of oxidation. *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, 17(4), 577. <https://doi.org/10.6028/jres.017.027>
- 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>
- IBM. (2021, December 7). *ANOVA de un factor: Pruebas post hoc*.
- Jankowska, D., Wyrostek, A., Patkowska-Sokoła, B., & Czyż, K. (2021a). 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>
- Jankowska, D., Wyrostek, A., Patkowska-Sokoła, B., & Czyż, K. (2021b). 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>
- Kim, T., Austin, M., Cian, L., & Adams, G. (2024). Effects of ancestral information on social connectedness and life meaning. *Journal of Experimental Social Psychology*, 111, 104563. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2023.104563>

- Kılınç, A. Ç., Durmuşkahya, C., & Seydibeyoğlu, M. Ö. (2017). Natural fibers. In *Fiber Technology for Fiber-Reinforced Composites* (pp. 209–235). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101871-2.00010-2>
- Kowalczewski, P. Ł., & Zembrzuska, J. (2023). Advances in Biological Activities and Application of Plant Extracts. *Applied Sciences*, 13(16), 9324. <https://doi.org/10.3390/app13169324>
- Lakshmanan, A. (2022). Physical and chemical properties of wool fibers. In *Wool Fiber Reinforced Polymer Composites* (pp. 49–71). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824056-4.00011-X>
- Lipson, M., & Walls, G. W. (2008). PROCESSING SOLVENT-DEGREASED WOOL. *Journal of the Textile Institute Transactions*, 51(12), T953–T967. <https://doi.org/10.1080/19447026008662534>
- Liu, X., Hurren, C. J., Wang, L., & Wang, X. (2004). Effects of bleaching and dyeing on the quality of alpaca tops and yarns. *Fibers and Polymers*, 5(2), 128–133. <https://doi.org/10.1007/BF02902926>
- Martínez Espinosa, R., Vázquez Burguete, J., & Lanero Carrizo, A. (2022). La sostenibilidad como factor clave en el sector textil y de la moda bajo la perspectiva del consumidor. *Responsibility and Sustainability*, 38–54.
- Millington, K. R., & Rippon, J. A. (2017). Wool as a high-performance fiber. *Structure and Properties of High-Performance Fibers*, 367–408. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100550-7.00014-0>
- Montazer, M., Pajootan, E., & Lessan, F. (2012). Microbial trans-glutaminase enhances the physical and mechanical properties of depigmented wool. *Engineering in Life Sciences*, 12(2), 216–222. <https://doi.org/10.1002/elsc.201100088>
- Ngangkham, J., & Gaurav, J. (2023a). Wool Quality and Parameter of Indian Sheep. *Indian Journal of Livestock, Veterinary and Animal Sciences*.
- Ngangkham, J., & Gaurav, J. (2023b). Wool Quality and Parameter of Indian Sheep. *Indian Journal of Livestock, Veterinary and Animal Sciences*, 1(1), 20.
- Parlato, M. C. M., & Porto, S. M. C. (2020). Organized Framework of Main Possible Applications of Sheep Wool Fibers in Building Components. *Sustainability*, 12(3), 761. <https://doi.org/10.3390/su12030761>
- Patnaik, A., Mvubu, M., Muniyasamy, S., Botha, A., & Anandjiwala, R. D. (2015). Thermal and sound insulation materials from waste wool and recycled polyester fibers and their biodegradation studies. *Energy and Buildings*, 92, 161–169. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.01.056>
- Rodríguez, M., Alcaraz, L., & Real, S. (2012). Procedimeinto para la extracción de aceites esenciales en plantas aromáticas . *PROYECTO SAGARPA - CONACYT*, 23–26.
- Rossi, C., & Russo, F. (2017). *Spinning and Weaving* (pp. 319–332). https://doi.org/10.1007/978-3-319-44476-5_19
- Shah, T., Khan, F., Bule, M., & Niaz, K. (2019). White Dead-Nettle (*Lamium album*). In *Nonvitamin and Nonmineral Nutritional Supplements* (pp. 455–459). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812491-8.00060-6>

- Solino, L. J. S., Teixeira, B. M. de L., & Dantas, Í. J. de M. (2020). sustainability in fashion. *International Journal for Innovation Education and Research*, 8(10), 164–202. <https://doi.org/10.31686/ijer.vol8.iss10.2670>
- Soun, B., Kaur, D., & Jose, S. (2020). Effect of Transglutaminase Enzyme on Physico-mechanical Properties of Rambouillet Wool Fiber. *Journal of Natural Fibers*, 17(6), 793–801. <https://doi.org/10.1080/15440478.2018.1534187>
- Strand, E. A., Frei, K. M., Gleba, M., Mannering, U., Nosch, M. L., & Skals, I. (2010). Old Textiles – New Possibilities. *European Journal of Archaeology*, 13(2), 149–173. <https://doi.org/10.1177/1461957110365513>

ANEXOS

Anexo 1: Lana de oveja (*Ovis orientalis aries*)

Figura 16 Oveja (*Ovis orientalis aries*)



Figura 17 Esquilado a la oveja



Anexo 2: Vellón de la oveja (*Ovis orientalis aries*)

Figura 18 Vellón de la Oveja (*Ovis orientalis aries*)



Figura 19 Clasificación del vellón



Anexo 3: Escarmenado de la lana de oveja

Figura 20 Escarmenado de la lana de oveja



Figura 21 Pesado de las muestras de lana de oveja



Anexo 4: *Desengrasado de la lana de oveja*

Figura 22 *Pesado del Carbonato de sodio*

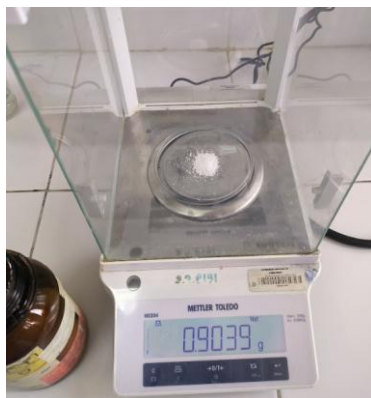


Figura 23 *Desengrasado de la lana de oveja*



Anexo 5: *Manejo de la ortiga blanca*

Figura 24 *Selección de hojas*



Figura 25 *Deshidratado de las hojas*



Anexo 6: *Elaboración de extractos*

Figura 26 *Pesado de las hojas*



Figura 27 *Elaboración de extractos*



Anexo 7: *Formulación del agente blanqueador*

Figura 28 *Elaboración de tratamientos*



Figura 29 *Manejo del peróxido de hidrógeno*



Anexo 8: *Proceso de blanqueamiento*

Figura 30 *Pesado del piro fosfato de sodio (Estabilizante)*

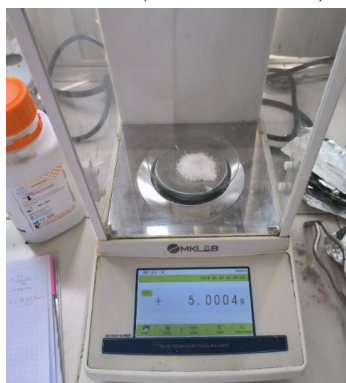
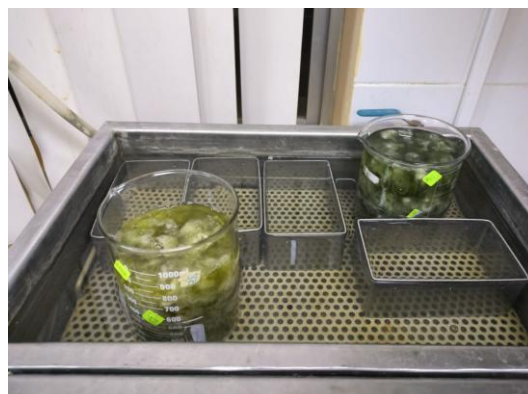


Figura 31 *Blanqueamiento de las muestras*



Anexo 9: *Manejo de lana de oveja blanqueada*

Figura 32 Secado de lana de oveja



Figura 33 Toma de color de la lana de oveja

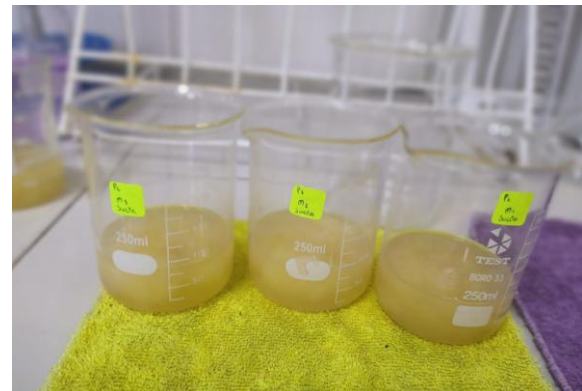


Anexo 10: Resistencia álcali

Figura 34 Eliminación de la humedad de la muestra



Figura 35 Resistencia en álcali



Anexo 11: Medición del diámetro de la fibra

Figura 36 Preparación de las muestras



Figura 37 Lectura del diámetro



Anexo 12: Elaboración de hilos

Figura 38 Hilado por maquinas giratorias



Figura 39 Obtención de madejas de hilos

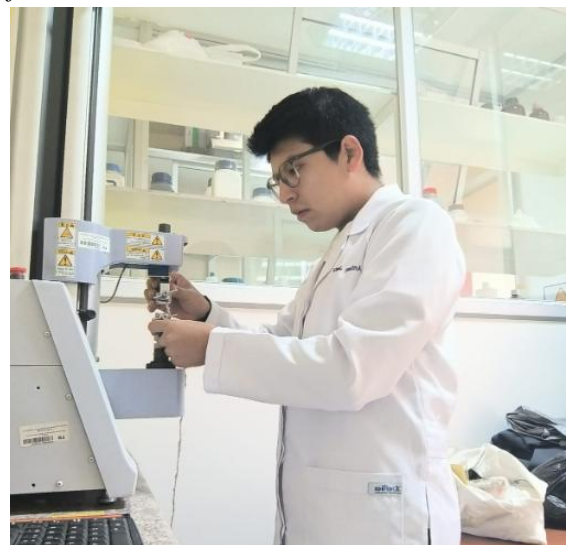


Anexo 13: Evaluar las propiedades físico-mecánicas de los hilos

Figura 40 Calibración de equipo



Figura 41 Evaluación de propiedades físico-mecánicas



Anexo 14: Microscopia de barrido electrónico

Figura 42 *Preparación de muestras*



Figura 43 *Toma de imagen SEM*

