



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD INGENIERÍA
CARRERA DE AGROINDUSTRIA

Evaluación del efecto del uso de ortiga blanca (*Lamium album*) en los procesos de desengrase y despigmentación asistido por ultrasonido en las propiedades físico-mecánicas de la fibra de alpaca

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Agroindustrial

Autor:

Naranjo Pilco, Vanneza Paoleth

Tutor:

MgSc. Sebastián Alberto Guerrero Luzuriaga

Riobamba, Ecuador. 2025

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, Vanneza Paoleth Naranjo Pilco, con cédula de ciudadanía 0604521286, autora del trabajo de investigación titulado: Evaluación del efecto del uso de ortiga blanca (*Lamium album*) en los procesos de desengrase y despigmentación asistido por ultrasonido en las propiedades fisico-mecánicas de la fibra de alpaca, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mi 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 18 días del mes de diciembre de 2025.



Vanneza Paoleth Naranjo Pilco
C.I: 0604521286

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 del efecto del uso de ortiga blanca (*Lamium album*) en los procesos de desengrase y despigmentación asistido por ultrasonido en la propiedades fisico-mecánicas de la fibra de alpaca, bajo la autoría de Vanneza Paoleth Naranjo Pilco; 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 18 días del mes de diciembre de 2025.



MgSc. Sebastián Alberto Guerrero Luzuriaga
C.I: 0603950577

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Evaluación del efecto del uso de ortiga blanca (*Lamium album*) en los procesos de desengrase y despigmentación asistido por ultrasonido en la propiedades fisico-mecánicas de la fibra de alpaca, presentado Vanneza Paoleth Naranjo Pilco, con cédula de identidad número 0604521286, bajo la tutoría de MgSc. Sebastián Alberto Guerrero Luzuriaga; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a los 18 días del mes de diciembre del 2025.

Ph.D. Diana Yáñez Sevilla
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



MgS. Daniel Luna Velasco.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ph.D. José Miranda Yuquilema
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





CERTIFICACIÓN

Que, **VANNEZA PAOLETH NARANJO PILCO** con CC: **0604521286**, estudiante de la Carrera de **AGRINDUSTRIA**, Facultad de Ingeniería; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **"EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL USO DE ORTIGA BLANCA (LAMIMUM ALBUM) EN LOS PROCESOS DE DESENGRASE Y DESPIGMENTACIÓN ASISTIDO POR ULTRASONIDO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA FIBRA DE ALPACA."**, cumple con el 8%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **COMPILATIO MAGISTER+**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 10 de diciembre de 2025



SEBASTIAN ALBERTO
GUERRERO LUZURIAGA

Mgs. Sebastián Guerrero L.
TUTOR TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación quiero dedicar a mi madre Miryam que me ha enseñado a ser valiente y nunca flaquear y sé que desde el cielo me guía y me protege para salir adelante, a mi padre Manuel por el apoyo incondicional que me ha brindado, mi hermana Nicole por ser el pilar fundamental de mi vida y mi más grande inspiración, mi hermana Areli por su cariño y apoyo, a mis abuelos Olivo y Georgina por ser el motor de mi vida, a mi abuelita Graciela por brindarme su apoyo en cada momento.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios y la Virgen de Agua Santa por la salud, la protección y las bendiciones que me ha concedido, a mi familia que de una u otra manera me brindaron su apoyo y cariño.

Agradezco a la Poderosa Unach por abrir las puertas de su institución y darme la oportunidad de ejercer mis estudios, a los docentes por brindarme sus conocimientos para ser un buen profesional.

Mi más sincero agradecimiento a mi tutor Ing. Sebastián Guerrero por su asesoría académica, sus conocimientos, dedicación y guía para realizar este trabajo de investigación.

Mi agradecimiento a la Ing. María Fernanda Rojas por su amistad, consejos y apoyo en la realización del trabajo de investigación.

Extiendo mi agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por su apoyo técnico para la elaboración del trabajo de investigación.

Finalmente agradezco a mis amigos por formar parte de esta vida universitaria y que con su amistad y sus palabras de aliento han sido una motivación para culminar mis estudios académicos.

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1 Antecedentes.....	14
1.2 Problema	15
1.3 Justificación.....	16
1.4 Objetivos	17
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1 MARCO REFERENCIAL	18
2.2 MARCO TEÓRICO.....	20
2.2.1 Ortiga blanca (<i>Lamium album</i>)	20
2.2.2 Extracción de la ortiga blanca (<i>Lamium album</i>)	21
2.2.3 Alpaca	21
2.2.4 Propiedades físico-mecánicas	23
2.2.5 Propiedades químicas de la fibra.....	24
2.2.6 Desengrase de la fibra.....	25
2.2.7 Blanqueamiento de la fibra	25
2.2.8 Utilización de ultrasonido	26
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	28
3.1 Tipo de Investigación.....	28
3.2 Diseño Experimental.....	28
3.2.1 Materiales y Equipos	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	Extracto de ortiga blanca (<i>Lamim album</i>) por infusión.....	31
3.2.5	Extracto de ortiga blanca (<i>Lamium album</i>) por decocción.....	32
3.2.6	Desengrase convencional de la fibra.....	32
3.2.7	Desengrasado por ultrasonido de la fibra.....	33
3.2.8	Tratamiento de diferentes concentraciones de peróxido con extracto de ortiga blanca para el blanqueamiento.....	34
3.2.9	Blanqueamiento convencional de la fibra de alpaca con peróxido de hidrogeno.....	34
3.2.10	Blanqueamiento por ultrasonido de la fibra de alpaca con peróxido de hidrogeno.....	35
3.2.11	Índice de blancura y amarillez en la fibra.....	36
3.2.12	Prueba de solubilidad alcalina.....	37
3.2.13	Determinación de las propiedades Físico-mecánicas de la fibra.....	38
3.3	Técnicas de recolección de datos.....	38
3.4	Población de Estudio y tamaño de la muestra.....	39
3.5	Procesamiento de Datos.....	40
3.6	Métodos de Análisis.....	40
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		41
4.1	Resultados de índice de amarillez y blancura de la fibra.....	41
4.2	Resultados de la prueba de resistencia alcalina.....	46
4.3	Resultados de las propiedades físico-mecánicas de la fibra de alpaca.....	49
5. CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		59
5.1	CONCLUSIONES.....	59
5.2	RECOMENDACIONES.....	60
BIBLIOGRAFÍA.....		61
ANEXOS.....		66

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1</i>	<i>Propiedades ópticas y mecánicas de la fibra animal</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 2</i>	<i>Grado de blancura, índice de amarillez de la fibra tratada y sin tratar</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 3</i>	<i>Propiedades físico-mecánicas de la fibra animal</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 4</i>	<i>Equipos, materiales, reactivos y materia prima</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 5</i>	<i>Formulaciones para el blanqueamiento</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 6</i>	<i>Coeficientes para el índice de amarillez, para el iluminante D65</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 7</i>	<i>Coeficientes para el índice de blancura, para el iluminante D65</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 8</i>	<i>Parámetros a analizar</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 9</i>	<i>Característica de la alpaca</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 10</i>	<i>Índice de Amarillez (IA) e Índice de blancura (IB)</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 11</i>	<i>Prueba de resistencia alcalina</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 12</i>	<i>Propiedades físico-mecánicas</i>	<i>50</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i>	<i>Partes de la ortiga blanca (Lamium album)</i>	20
<i>Figura 2</i>	<i>Localización corporal de la fibra de alpaca</i>	22
<i>Figura 3</i>	<i>Fibra de alpaca</i>	22
<i>Figura 4</i>	<i>Obtención y clasificación de la lana</i>	30
<i>Figura 5</i>	<i>Acondicionamiento de la ortiga blanca (Lamium album)</i>	30
<i>Figura 6</i>	<i>Extracto de ortiga blanca por infusión</i>	31
<i>Figura 7</i>	<i>Extracto de ortiga blanca por decocción</i>	32
<i>Figura 8</i>	<i>Desengrase convencional de la fibra</i>	33
<i>Figura 9</i>	<i>Desengrase por ultrasonido de la fibra</i>	33
<i>Figura 10</i>	<i>Proceso de blanqueamiento convencional</i>	35
<i>Figura 11</i>	<i>Proceso de blanqueamiento por ultrasonido</i>	36
<i>Figura 12</i>	<i>Prueba de solubilidad alcalina</i>	37
<i>Figura 13</i>	<i>Determinación de las propiedades físico-mecánicas</i>	38
<i>Figura 14</i>	<i>Comparación visual de la fibra</i>	42
<i>Figura 15</i>	<i>Índice de amarillez (IA)</i>	44
<i>Figura 16</i>	<i>Índice de blancura (IB)</i>	44
<i>Figura 17</i>	<i>Solubilidad alcalina</i>	48
<i>Figura 18</i>	<i>Fuerza de ruptura (N)</i>	51
<i>Figura 19</i>	<i>Máximo desplazamiento (mm)</i>	52
<i>Figura 20</i>	<i>Máximo esfuerzo (Mpa)</i>	54
<i>Figura 21</i>	<i>Máxima deformación (%)</i>	55
<i>Figura 22</i>	<i>Módulo de elasticidad</i>	57

RESUMEN

La fibra de alpaca constituye un recurso fundamental para la industria textil andina; sin embargo, su aprovechamiento industrial se ve limitado por los efectos adversos de los procesos convencionales de desengrase y blanqueamiento, los cuales provocan degradación estructural, aumento de la solubilidad alcalina y disminución de sus propiedades físico-mecánicas. Frente a esta problemática surge la necesidad de desarrollar alternativas más eficientes y sostenibles que permitan mejorar el grado de blancura sin comprometer la calidad de la fibra. En la investigación, se planteó investigar el efecto del uso de extracto de ortiga blanca (*Lamium album*) en combinación con ultrasonido sobre los procesos de desengrase y despigmentación de la fibra de alpaca. El objetivo principal del estudio fue evaluar si la ortiga blanca y la aplicación de ultrasonido pueden mejorar el desempeño óptico y físico-mecánico de la fibra en comparación con los tratamientos químicos tradicionales. Para ello, se aplicaron tratamientos convencionales y asistidos por ultrasonido utilizando extractos obtenidos por infusión y decocción, combinados con diferentes concentraciones de peróxido de hidrógeno. Se midieron parámetros como el índice de amarillez, el índice de blancura, la solubilidad alcalina y propiedades físico-mecánicas. Por lo cual se incluyó un diseño experimental con once formulaciones de blanqueamiento, mediciones con colorímetro para determinar los índices ópticos, la prueba clásica de solubilidad en álcali y la determinación de propiedades físico-mecánicas con una máquina universal Shimadzu, aplicando análisis estadístico ANOVA y prueba de Tukey al 95 % de confianza. La fibra provino de alpaca Huacaya y cada tratamiento se trabajó con tres repeticiones. Los resultados demostraron que el ultrasonido mejoró significativamente la eficiencia de desengrase y blanqueamiento, logrando mayor blancura y menor amarillez respecto a los métodos tradicionales. No obstante, la concentración más alta de peróxido (25 %) produjo la mayor degradación mecánica. La incorporación de extractos de ortiga mitigó este efecto, reduciendo la pérdida de resistencia y mejorando la integridad de la fibra gracias a sus compuestos antioxidantes. Las formulaciones mixtas (ortiga + H₂O₂) mostraron un equilibrio favorable entre aclaramiento y preservación estructural. En conclusión, la combinación de ultrasonido y extracto de ortiga blanca representa una alternativa viable para optimizar el desengrase y blanqueamiento de fibra de alpaca, ya que mejora los índices ópticos y reduce la degradación química asociada al uso exclusivo de oxidantes. Esta metodología constituye una opción más sostenible y eficiente para la industria textil andina, permitiendo obtener fibras de mayor calidad con menor impacto ambiental.

Palabras claves: Fibra, Alpaca, Blanqueamiento, Ultrasonido

ABSTRACT

Alpaca fiber is a fundamental resource for the Andean textile industry; however, its industrial use is limited by the adverse effects of conventional degreasing and bleaching processes, which cause structural degradation, increased alkaline solubility, and reduced physical and mechanical properties. Faced with this problem, there is a need to develop more efficient and sustainable alternatives that improve whiteness without compromising fiber quality. This research aimed to investigate the effect of using white nettle (*Lamium album*) extract in combination with ultrasound on the degreasing and depigmentation processes of alpaca fiber. The main objective of the study was to evaluate whether white nettle and the application of ultrasound can improve the optical and physical-mechanical performance of the fiber compared to traditional chemical treatments. To this end, conventional and ultrasound-assisted treatments were applied using extracts obtained by infusion and decoction, combined with different concentrations of hydrogen peroxide. Parameters such as yellowness index, whiteness index, alkali solubility, and physical-mechanical properties were measured. An experimental design was used, employing one bleaching formulation, colorimeter measurements to determine optical indices, the classic alkali solubility test, and the determination of physical-mechanical properties with a Shimadzu universal testing machine. Statistical analysis was performed using ANOVA and Tukey's test at a 95% confidence level. The fiber was sourced from Huacaya alpaca, and each treatment was replicated three times. The results demonstrated that ultrasound significantly improved degreasing and bleaching efficiency, resulting in greater whiteness and less yellowness than traditional methods. However, the highest peroxide concentration (25%) resulted in the greatest mechanical degradation. The incorporation of nettle extract mitigated this effect, reducing the loss of strength and improving fiber integrity thanks to its antioxidant compounds. The mixed formulations (nettle + H₂O₂) showed a favorable balance between clarification and structural preservation. In conclusion, the combination of ultrasound and white nettle extract represents a viable alternative for optimizing the degreasing and bleaching of alpaca fiber, as it improves optical indices and reduces the chemical degradation associated with the exclusive use of oxidants. This methodology constitutes a more sustainable and efficient option for the Andean textile industry, enabling the production of higher-quality fibers with a lower environmental impact.

Keywords: Fiber, Alpaca, Bleaching, Ultrasound



Reviewed by:
Ms.C. Ana Maldonado León
ENGLISH PROFESSOR
C.I.0601975980

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.

1.1 Antecedentes

La alpaca es una especie de camélido que se encuentra en América del Sur. Actualmente no se considera un animal de rebaño ni de trabajo. La crianza de este animal tiene como principal actividad económica la producción de fibras para la obtención de diversos artículos textiles.

Quispe et al. (2009) mencionan que cerca de 1 millón de pequeños productores de Sudamérica tiene alpacas (*Vicugna pacos*) y llamas (*Lama glama*) que es el principal medio de sustentación. Alrededor del 30% de su producción de fibra es destinada a la transformación, el 80% de la alpaca es comercializada de color blanco que tiene 12% de diámetro de fibra menores de 23 micrones.

La fibra de alpaca es apreciada por su suavidad, calidez y durabilidad. En Ecuador la producción de alpaca no es tan popular como en países como Perú o Bolivia, donde es más tradicional. Sin embargo, existen varias empresas que se especializan en la transformación de fibra de alpaca en nuestro país presentando así una opción atractiva para el sector rural con nuevas actividades de crianza conforme a estas especies. La fibra de alpaca ecuatoriana es generalmente de alta calidad, aunque las cantidades de producción pueden ser limitadas en comparación con otros países de la región andina. Según la ficha técnica de la cadena de valor de la alpaca se estima que en Ecuador existen 6000 y 7000 alpacas de las cuales el 80% pertenecen a comunidades rurales y asociaciones y el 20% a criadores privados o instituciones. Guañuna et al. (2024) indica que las provincias de Cotopaxi existen 291 alpacas distribuidas en 10 comunidades.

El interés por desarrollar y aplicar métodos no convencionales que ofrecen alternativas más sostenibles y eficientes para la lana ha incrementado en los últimos años, como la utilización de agentes naturales, tecnologías de ultrasonido y tratamientos enzimáticos, los cuales buscan reducir el impacto ambiental, mejorar la calidad de la fibra después de ser tratada manteniendo las propiedades de la lana.

La utilización de agentes naturales con por ultrasonido en los procesos de desengrase y blanqueamiento de la fibra puede llegar a ser una técnica nueva e innovadora donde combina métodos tradicionales con tecnología para obtener resultados eficientes.

El uso de agentes naturales asistido por ultrasonido puede generar un efecto positivo en la propiedades físico-mecánicas de la fibra, la cavitación ultrasónica facilita la penetración de compuestos naturales lo que logra una limpieza más profunda y uniforme, reduciendo así las impurezas superficiales permitiendo mejorar la distribución de la tensión, aumentando la resistencia y elongación. Este método puede afectar la suavidad, resistencia, durabilidad y color de la fibra.

1.2 Problema

La fibra de alpaca es un recurso estratégico para las comunidades alto andinas debido a su elevado valor comercial, su suavidad, resistencia térmica y variabilidad cromática, características que la posicionan como una de las fibras naturales más apreciadas en la industria textil internacional (Quispe et al., 2009). No obstante, para su aprovechamiento industrial es necesario someterla a procesos de desengrase y blanqueamiento que permitan mejorar su limpieza, coloración y calidad final. Estos procesos, realizados tradicionalmente con agentes químicos como detergentes alcalinos y peróxido de hidrógeno, presentan limitaciones importantes, entre ellas la degradación estructural de la fibra, el incremento del índice de amarillez y la afectación de sus propiedades físico-mecánicas (Hasdiana, 2018). El uso continuo de productos químicos y sintéticos genera residuos y un impacto negativo en el ambiente, por lo que se busca alternativas sostenibles.

Se han planteado métodos no convencionales que reduzcan daños que ocasionen los tratamientos convencionales. Una de las alternativas es el emplear ultrasonido, que hace referencia a una tecnología basada en ondas acústicas de frecuencias altas para una mejor penetración de agentes limpiadores mediante fenómenos de cavitación, lo que incrementa la transferencia de masa facilitando la limpieza (Czaplicki et al., 2014). En estudios anteriores muestran la aplicación de ultrasonido durante el lavado o blanqueamiento de fibras proteicas eficientemente en el proceso, disminuyendo tiempo y degradación térmica y mejorando el índice de blancura (Li et al., 2022). El efecto del ultrasonido aplicado a la fibra de alpaca en el proceso de blanqueamiento en combinación con agentes naturales aún no se ha evidenciado suficientemente (Hurren et al., 2008).

Ligor et al. (2021) mencionan que la industria textil muestra un interés por el uso de extractos vegetales como una alternativa de blanqueamiento. La ortiga blanca (*Lamium album*) contiene compuestos bioactivos, propiedades antioxidantes, antimicrobianas y tensioactivas que favorecen la limpieza y aclaramiento de las fibras. Sin embargo, el uso como agente blanqueador combinado con ultrasonido es una línea de investigación poco explorada para que el proceso de blanqueamiento llegue a ser más eficiente.

Los métodos tradicionales presentan problemas de desengrase y blanqueamiento pueden disminuir la resistencia mecánica de la fibra debido a la acción de los agentes oxidantes, los cuales afectan los enlaces disulfuro presentes en la queratina, aumentando la solubilidad alcalina y reduciendo la integridad estructural de la fibra. En consecuencia, cualquier alternativa que se proponga debe no solo mejorar el índice de blancura y disminuir el índice de amarillez, sino también preservar las propiedades físico-mecánicas. (Lakshmanan, 2022).

No existe evidencia suficiente que determine si el uso combinado de extracto de ortiga blanca y ultrasonido puede sustituir parcial o totalmente los métodos convencionales, o si este tratamiento resulta más eficiente o menos agresivo para la fibra de alpaca. Tampoco se cuenta con estudios detallados que comparen, bajo condiciones controladas, los cambios

en las propiedades ópticas y mecánicas producidos por tratamientos tradicionales versus tratamientos con ultrasonido y extractos vegetales.

La poca información científica abre una brecha para el desarrollo de tecnologías sostenibles aplicadas a la fibra. Además, limita la incorporación de procesos eficaces de limpieza en la industria textil de Ecuador, la cual se beneficia de otras alternativas que reducen el uso químico y mejoran la competitividad de la fibra en el mercado. Por lo cual es necesario evaluar de manera consecuente el uso y efecto del ultrasonido con la extracción de extractos de ortiga blanca sobre el desempeño químico y físico-mecánico de la fibra.

Ante la problemática, surge la necesidad de investigar como la ortiga blanca influye en los procesos de desengrase y blanqueamiento asistidos por ultrasonido, y evaluando las propiedades físico-mecánicas y en los índices ópticos de la fibra de alpaca, en comparación con los métodos tradicionales.

1.3 Justificación

La fibra de alpaca constituye uno de los insumos más valiosos de la industria textil andina, alcanzando valores comerciales superiores a los 35 USD/kg en lotes de alta clasificación, lo que la posiciona entre las fibras naturales de mayor demanda mundial (Quispe et al., 2009). No obstante, su uso industrial depende de etapas previas de desengrase y blanqueamiento destinadas a eliminar entre el 15 % y el 25 % de lípidos, ceras y pigmentos inherentes a la fibra en estado bruto. Los procedimientos tradicionales, basados en detergentes alcalinos y soluciones de peróxido de hidrógeno, aunque eficaces para la remoción de impurezas, generan efectos colaterales como el incremento de la solubilidad alcalina, la degradación de puentes disulfuro de la queratina y una disminución de la resistencia mecánica que puede situarse entre el 10 % y el 30 %, dependiendo de la concentración del oxidante empleado (Hasdiana, 2018). Estos deterioros comprometen la estabilidad estructural de la fibra y reducen su valor comercial.

Por otro lado, el uso de agentes antioxidantes y sintéticos generan salidas altamente alcalinas con valores de DQO mayores a 2500mg/l lo cual presenta un desafío ambiental significativo. La problemática ha impulsado la investigación de alternativas más sostenibles que disminuyan la contaminación sin afectar la calidad de la fibra.

Czaplicki et al. (2014) mencionan que el ultrasonido se ha propuesto como una tecnología emergente capaz de optimizar los procesos de limpieza y blanqueamiento. La cavitación acústica produce microburbujas cuya implosión genera fuerzas mecánicas que incrementan la transferencia de masa y favorecen la penetración de agentes químicos, permitiendo mejorar la remoción de impurezas hasta en un 40 %, reducir los tiempos de tratamiento entre un 30 % y 50 %, y aumentar el índice de blancura en fibras proteicas entre 5 y 12 unidades CIE (Li et al., 2022).

La utilización de extractos vegetales como una alternativa para el blanqueamiento ha demostrado ser prometedor frente a agentes químicos y sintéticos. La ortiga blanca contiene entre 3% y 7% de flavonoides, polifenoles y taninos que son compuestos antioxidantes que interactúan con moléculas responsables del color amarillo (Ligor et al., 2021). Por otro lado, las saponinas actúan como tensioactivos naturales, facilitando la eliminación de grasas. Su potencial como sustituto parcial o total de los agentes químicos aun no son del todo evaluados.

La integración del ultrasonido y la adición de extractos naturales constituyen una línea de investigación prometedora, puesto que esta tecnología presenta sinergia, donde el ultrasonido favorece la difusión del extracto en la fibra, mientras que los compuestos bioactivos de la ortiga disminuye la necesidad de utilizar H₂O₂ que contribuye a un proceso más limpio y eficiente.

En conclusión, la presente investigación pretende determinar si la combinación de extractos de ortiga y ultrasonido pretende ser eficaz en los procesos de desengrase y blanqueamiento de la fibra de alpaca, mejorar sus propiedades, preservando su integridad mecánica disminuyendo el impacto ambiental que genera el uso de agentes químicos tradicionales. Los resultados generarán evidencia científica relevante para la innovación tecnológica en la industria textil y para el desarrollo de procesos con mayor sostenibilidad.

1.4 Objetivos

General

- Evaluar del uso de ortiga blanca (*Lamium album*) en los procesos de desengrasado y despigmentación asistidos por ultrasonido en las propiedades físico-mecánicas de la fibra de alpaca.

Específicos

- Aplicar ultrasonido a los procesos de desengrase y despigmentación de la fibra de alpaca.
- Comparar los procesos convencionales de desengrase y despigmentación de la fibra de alpaca con el proceso asistido por ultrasonido y uso de ortiga blanca (*Lamium album*) como agente blanqueador.
- Evaluar el efecto de la utilización de ultrasonido en los procesos de desengrase y despigmentación en las propiedades físico-mecánicas de la fibra de alpaca.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1 MARCO REFERENCIAL

Para el presente trabajo se realizó una investigación y recopilación de información de artículos científicos, proyectos de investigación y repositorios que tengan relación al tema del trabajo de investigación:

Las plantas vegetales tienen compuestos bioactivos como polifenoles, terpenos, saponinas, ciclitoles entre otros, tienen la capacidad de curar o matar organismos vivos, porque tienen alto contenido de compuestos biológicamente activos. La ortiga blanca (*lamium album*) tiene propiedades antioxidantes, presencia de polifenoles, taninos esteroides, ácidos grasos y polisacáridos, también tiene propiedades antibacterianas y anticancerígenas. (Ligor et al., 2021).

La infusión y la decocción son métodos tradicionales que se utilizan para extraer compuestos bioactivos de plantas. La extracción por infusión consiste en colocar agua caliente o fría sobre el material vegetal y dejarlo reposar por un tiempo estimado lo que hace que los compuestos fácilmente solubles para extraer extractos frescos, la extracción por decocción consiste en hervir agua con el material vegetal seco durante aproximadamente 15 minutos siendo ideal para compuestos solubles en agua y resistentes al calor. Por otra parte, el método de infusión es más suave y rápida, mientras que la decocción permite una extracción más completa mediante el calor continuo. (Poojar et al., 2017).

Bouagga et al. (2020) mencionan sobre la temperatura óptima para el proceso de blanqueamiento con peróxido de hidrogeno de 60°C y el tiempo de 90 minutos a un volumen de 87.5 ml/L.

Tabla 1

Propiedades ópticas y mecánicas de la fibra animal

	Grado de blancura (%)	Índice de amarillez
Lana tunecina “Negro de Thibar”	58.5 ± 3.4	13.1 ± 4.9

Nota. 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)

En la etapa de blanqueo con peróxido de hidrogeno con un volumen de 55ml/L, el estabilizador que es pirofosfato de sodio con una masa de 5 g/L, el tiempo adecuado de 90 minutos a una temperatura de 60°C. bajo estas condiciones la fibra alcanza una blancura de 56.95% teniendo una pérdida de 5.72% en la resistencia (Arildii et al., 2022).

Tabla 2

Grado de blancura, índice de amarillez de la fibra tratada y sin tratar

	Grado de blancura	Índice de amarillez
Lana sin tratar	58.5 ± 3.4	13.1 ± 4.9
Lana tratada con CuSO₄	75.1 ± 3.5	9.1 ± 3.6
Lana tratada con FeSO₄	79.7 ± 5.4	6.0 ± 5.3

Nota. De Optimization of Mordant Bleaching of Yak Wool with Hydrogen Peroxide at Low Temperature por Arildii et al. (2022)

Las propiedades físico-mecánicas de la fibra e hilos provenientes de alpacas, ovejas y cabras tiene como objetivo evaluar la calidad de la fibra para el uso textil, donde se analiza varios parámetros como el diámetro, fuerza de ruptura, tenacidad, elongación, módulo de Young y la energía de deformación. La fibra de alpaca es más fina y con buena elasticidad, pero tiene menor resistencia, las fibras de la oveja es más elástica y resistente a la deformación y son menos fuerte, cabra es más gruesa, rígida y resistente y es menos elástica. (Jankowska et al., 2021)

Tabla 3

Propiedades físico-mecánicas de la fibra animal

Tipo de fibra	Fuerza de ruptura (cN)	Tipo de fibra ε (%)	Fuerza de ruptura E(MPa)
Alpaca	3036	50.03	340.82
Oveja	2314	42	416.14
Cabra	2714	27	527.35

Nota. cN=centinewton, MPa=megapascascales, ε=elongación.

De Comparison of Physico-mechanical Properties of Fibre and Yarn Made of Alpaca, Sheep, and Goat Wool por Jankowska et al. (2021)

Lakshmanan, (2022) menciona que la lana es una fibra proteica es muy sensible a soluciones alcalinas especialmente en presencia de calor ya que rompe fácilmente enlaces peptídicos degradando la fibra en aminoácidos. Cuando se aplican soluciones alcalinas suaves y controladas los enlaces de cistina pueden romperse parcialmente, dando lugar a la formación de enlaces de lantionina, los cuales son más estables y mejoran la resistencia química de la fibra. Asimismo, pueden generarse enlaces cruzados como los de lisinoalanina, que fortalecen la estructura del polímero. Sin embargo, si el tratamiento alcalino es intenso, puede deteriorar las propiedades mecánicas de la fibra, afectar su suavidad y provocar un cambio de color hacia el amarillo. El comportamiento de la lana al álcali varía según factores como la concentración del agente, el tiempo y la temperatura del tratamiento, así como la estructura interna de la fibra.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Ortiga blanca (*Lamium album*)

La ortiga blanca (*Lamium album*) o conocida como ortiga muerta blanca es una planta herbácea con flores originaria de Europa, Asia Occidental y el norte de África. Esta planta se utiliza principalmente para usos medicinales tradicionales como antiinflamatoria y antiséptica (Yordanova et al., 2014).

La hierba perenne es de 50 a 100 cm de altura, su tallo es rectangular en sección transversal, sus hojas son opuestas, pecioladas, cordadas u ovaladas con márgenes dentados, sus flores bilabiadas con una corola de 19 a 21 mm de largo de color blanco y los verticilos de 5 a 22 flores crecen de las axilas de las hojas en la parte superior del tallo (Sulborska et al., 2020).

Figura 1

Partes de la ortiga blanca (*Lamium album*)



Nota. (a) Planta completa, (b) flor, (c) Hoja, (d) Tricomas, (e) Raíz.

De Phenolic Constituents of *Lamium album* L. subsp. *album* Flowers: Anatomical, istochemical, and Phytochemical Study por Ligor et al. (2021)

Composición química de la ortiga

Oehkur et al. (2015) indican que las principales sustancias biológicamente activas (BAS) de la ortiga muerta blanca son:

Los Irinoides, es un amplio grupo de monoterpenos naturales que se presentan principalmente como glucolísis. El 2% corresponde a iridoides C-10, que incluyen loganina, asperulósido y secoiridoides y glucósidos albósidos A y B.

Los Flavonoides tienen componente químico es de 0.52%, predominan en forma de glucósidos como isoquercitrina y tilirósido, junto con la queratina.

Los Fitoecdisteroides, compuestos esteroideos vegetales similares a las hormonas de insectos, se sintetizan como mecanismo de defensa frente a insectos.

Compuestos fenólicos, se han detectado glucósidos feniletanoides como el verbascósido, el isoverbascósido y el lamalbósido, especialmente en las partes aéreas de *L. album*.

El aceite esencial se encuentra concentrado en un alrededor de 0,46%, donde predominan componentes como lipofílicos y fenólicos.

2.2.2 Extracción de la ortiga blanca (*Lamium album*)

La extracción de plantas medicinales consiste en separar los compuestos activos o metabolitos como alcaloides, flavonoides, terpenos, saponinas, esteroides y glucósidos de los componentes inertes o no activos, utilizando un disolvente apropiado y un método de extracción estandarizado. Poojar et al. (2017) mencionan que para este proceso se han empleado diversas técnicas, entre ellas la maceración, infusión, decocción, percolación, digestión, extracción Soxhlet, extracción superficial, así como métodos más modernos como la extracción asistida por ultrasonido y por microondas.

Infusión: consiste en colocar el material vegetal dentro de un recipiente y verter sobre él disolvente caliente o frío, dejándolo reposar por un breve periodo de tiempo. Este proceso es apropiado para obtener compuestos bioactivos ya que tiene la capacidad de extraer fácilmente los principios activos solubles.

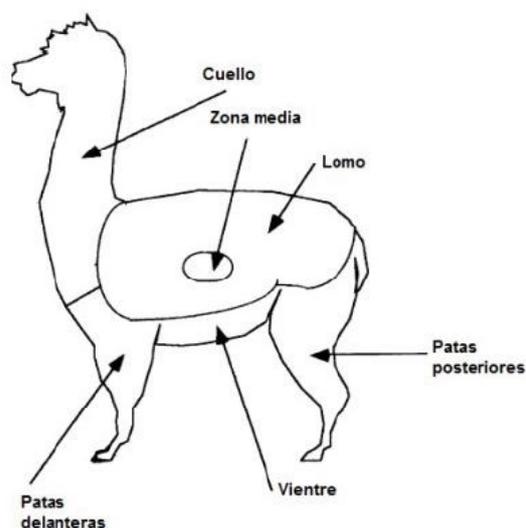
Decocción: se basa en la extracción continua de los componentes utilizando agua como disolvente. Para ello, el material vegetal seco pulverizado se coloca en un recipiente limpio, se añade el agua y se agita, aplicando calor durante el proceso con el fin de acelerar la liberación de los compuestos activos.

2.2.3 Alpaca

Lógico et al. (2019) mencionan que la alpaca es un mamífero doméstico que forma parte de la familia de los camélidos, se clasifica como un “Artiodáctilo”, lo que significa que tiene un número par de dedos en cada pie, y como un “Tilópodo” que se caracteriza por tener una planta del pie insensible en forma de almohadilla, tiene dientes inferiores y una almohadilla dental superior, lo que les impide morder. Su cuerpo es cuadrado con cuatro patas fuertes; el cuello mide dos tercios de la longitud de su espalda, las piernas son del mismo tamaño que el cuello, además todo su cuerpo está cubierto de fibras desde la cabeza hasta las rodillas y corvejones.

Figura 2

Localización corporal de la fibra de alpaca



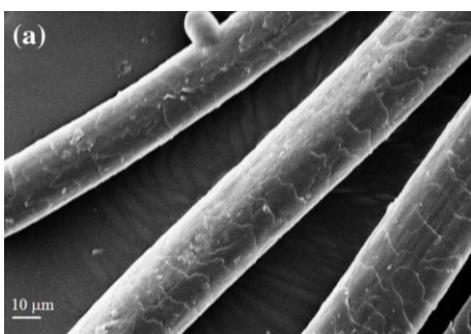
Nota. De Características de la fibra de alpacas en la zona agroecológica seca en el altiplano peruano por Apaza et al. (2022)

Fibra de alpaca

Gürkan Ünal et al. (2019) mencionan que las fibras de alpacas son pertenecientes a la familia de las llamas. Esta contiene una estructura organizada compuesta por queratina y una proteína que cubre el cuerpo de la alpaca. Esta fibra posee de las razas diferentes del animal (Huacaya y Suri), donde se evidencia diferencia en su apariencia. Además, la fibra tiene una gama de colores como blanco, beige, marrón y negro, con múltiples matices y combinaciones (Pariona et al., 2017).

Figura 3

Fibra de alpaca



Nota. De Keratins extracted from Merino wool and Brown Alpaca por Aluigi et al., 2014

Las fibras naturales tienen son ventajosas y tiene propiedades que permiten su amplio uso en la industria. La fibra natural es utilizada en la industria textil, la construcción, la medicina y el deporte (Jankowska et al., 2021).

El uso de fibras lujosas, como de la alpaca y la seda, aumentan el valor del producto en la producción del tejido, un tejido elaborado únicamente con alpaca o seda es bastante costoso en el mercado. (Gürkan Ünal et al., 2019).

Clasificación

Pariona, (2017) menciona que la clasificación de la fibra de alpaca, como por ejemplo la raza del animal, la finura de la fibra, su color, longitud, suavidad y nivel de limpieza. Al no realizar la clasificación de las fibras se mezclan en longitud y grosor lo que afecta la calidad del producto final. Clasificar según la longitud permite elaborar más fácil el proceso, por ejemplo, las fibras largas se destinan al peinado, mientras que las cortas se utilizan en el cardado.

Propiedades de la fibra de alpaca

La alpaca es el animal productor de fibra ofrece mayor variedad de colores naturales. Por el momento se han identificado hasta 22 tonalidades distintas, desde el blanco puro hasta el negro intenso, incluyendo una amplia gama de color marrón y color gris en diferentes matices y combinaciones (Cruz et al., 2021).

Cruz et al. (2021) muestran que la fibra tiene una amplia gama de colores donde destaca el blanco y amarillo por tener características únicas. El color blanco es considerado el color indicado para la producción textil debido a su finura, mientras que los colores amarillos se clasifican por su intensidad (LFX, LFY, LFZ). La producción de alpacas con estos colores es sostenible y no requiere tintes químicos, lo que demanda al consumidor se mas consiente con el medio ambiente.

2.2.4 Propiedades físico-mecánicas

En el análisis de la fibra, se consideran diversos parámetros, principalmente de tipo físico y mecánico. Entre los más relevantes se encuentran el diámetro, la resistencia, la fuerza de rotura, la tenacidad, el alargamiento a la rotura, el módulo de Young y la energía de deformación. (Jankowska et al., 2021).

Diámetro

El diámetro (μm) de la fibra animal varia significativamente, principalmente en animales de especie criados únicamente para la producción de la fibra.

Resistencia

Suele ser el parámetro más representativo en las mediciones, indica la fuerza necesaria para romper la fibra cuando se analiza de forma aislada.

Tenacidad

La tenacidad es conocida por ser una propiedad que influye en la calidad de la fibra, donde se expresa la resistencia a la rotura en relación con el área de su sección transversal.

Por otro lado, la energía de deformación, el módulo de Young y el alargamiento a la rotura permiten evaluar la fuerza, elasticidad y resistencia del material, siendo esencial para determinar las propiedades mecánicas. Estos valores son utilizados en la industria textil de fibras.

Fuerza de rotura

Se conoce como la tensión máxima que soporta el material durante un ensayo de tracción, en relación con su sección transversal, y se expresa como una unidad de fuerza por área.

Energía de deformación

Es el trabajo necesario para deformar o romper una fibra o hilo, cuanto mayor sea este valor, mayor será la resistencia del material al daño.

Módulo de Young

Se conoce como la medida de la elasticidad del material, por otro lado, el alargamiento a la rotura (ϵ) indica el grado de deformación que soportar antes de que su estructura de la fibra se rompa.

2.2.5 Propiedades químicas de la fibra

Lakshmanan, 2022 indica las propiedades químicas son:

Efecto de los ácidos

Las fibras de lana presentan buena resistencia en condiciones ácidas normales. En medios ligeramente ácidos, los cationes del ácido pueden unirse a los grupos funcionales básicos ($-\text{NH}_2$) de la lana, formando grupos protonados ($-\text{NH}_3^+$), lo que facilita la unión con colorantes y productos de acabado. Sin embargo, en presencia de calor, los ácidos pueden hidrolizar la lana, descomponiéndola en aminoácidos. Además, los iones hidronio de ácidos fuertes pueden reaccionar con los grupos amida de la cadena polipeptídica, generando grupos carboxilo y amino libres.

Efecto de los álcalis

La lana es una fibra proteica, la cual la hace sensible a soluciones alcalinas y más si esta en presencia de calor ya que estas pueden romper los enlaces polipepticos. Sin embargo, bajo condiciones controladas los enlaces de cistina pueden transformar en lantionina que hace a la fibra más estable. Además, se forman enlaces de lisinoalanina que refuerzan la estructura de la fibra. Este proceso reduce la solubilidad de la lana y mejora la estabilidad,

pero puede afectar sus propiedades mecánicas y provocar un color amarillo. La sensibilidad de la fibra a los álcalis depende de la concentración, temperatura, duración de tratamiento y la estructura material, porque requiere precaución durante el procesamiento en medios alcalinos.

Efecto de los agentes oxidantes

La fibra es muy sensible ante agentes oxidantes, así como en medios alcalinos. Estos rompen enlaces covalentes y salinos del puente de cistina transformándolo en ácido cisteico. La cistina oxidada forma nuevos enlaces con grupos amino protonados. Las oxidaciones con peróxidos generan óxidos de cistina, la cual reduce el contenido de azufre y aumenta la solubilidad alcalina de la fibra.

Efecto de los agentes reductores

Los tratamientos con agentes reductores permiten modificar la estructura de la fibra la cual actúa sobre los enlaces de azufre de la cistina sin afectar los enlaces de amida. Las sustancias como el fosfito, sulfito, mercaptoetanol y ácido tioglicólico se usan para este propósito. La eficiencia del proceso siempre depende del equilibrio de iones reductores en función del pH.

Durante la reducción los enlaces de disulfuro se transforman en grupos tiol que luego pueden reorganizarse para formar nuevos enlaces de disulfuro. Finalmente, mediante una oxidación controlada, se estabiliza la nueva estructura de la fibra, este proceso facilita la enjertación de polímeros sobre la superficie de la fibra que permite transformar regiones desordenadas en zonas estructurales, lo que contribuye a la formación de pliegues permanentes en las prendas.

2.2.6 Desengrase de la fibra

Czaplicki et al. (2014) mencionan sobre el proceso de desgrasado de la lana que tiene el propósito de eliminar las impurezas de la fibra y preparar la misma para su procesamiento posterior. En la industria, este proceso se realiza en un dispositivo compuesto por cinco tanques o bañeras conectados en una línea de procesamiento tecnológico, con un transportador o para mover la lana a través de las distintas etapas del proceso.

El proceso se enfoca en eliminar las impurezas de la fibra mediante el uso de detergentes biodegradables, los cuales son menos perjudiciales para el ambiente. Al mezclar detergentes y bicarbonato mejoran la eficiencia en la limpieza, blanqueamiento y la suavidad de la fibra (Joselyn, 2024).

2.2.7 Blanqueamiento de la fibra

Erdoğan et al. (2021) mencionan que el blanqueamiento de textiles es la eliminación del color natural de la fibra. Estos procesos pueden implicar la modificación de grupos

cromóforos en el sustrato, así como la degradación de cuerpos de color en unidades más pequeñas y más solubles las cuales se eliminan en el proceso de blanqueo. Las técnicas del proceso es el blanqueamiento con agentes reductores, agentes oxidantes y la combinación de los mismos.

2.2.8 Utilización de ultrasonido

Timothy, (2007) describe al ultrasonido como una onda mecánica de alta frecuencia cuya propagación implica fenómenos más complejos que la simple vibración de partículas, ya que intervienen procesos como no linealidad, absorción y cavitación, los cuales influyen en su comportamiento en medios como líquidos, sólidos o aire. Esta tecnología se utiliza en ecografías, pruebas no destructivas y sistema sonar, en procesos como limpieza ultrasónica, aplicaciones médicas terapéuticas, manipulación de materiales y reacciones químicas intensificadas por cavitación. El ultrasonido es una herramienta versátil cuyo funcionamiento depende fuertemente del medio y de los fenómenos físicos que emergen a altas intensidades.

Czaplicki et al. (2014) mencionan los principales fenómenos físicos que ocurren durante la limpieza por ultrasonidos son la cavitación, el viento acústico y la presión de radiación. La cavitación consiste en la formación de pequeñas burbujas de vacío en los fluidos, que luego pulsan e implosionan. Este fenómeno se produce cuando el líquido experimenta una presión variable. Las ondas ultrasónicas, si tienen la frecuencia e intensidad correctas, pueden generar cavitación. Al propagarse las ondas ultrasónicas a través del líquido, se crean secuencialmente áreas de alta y baja presión. En las áreas de baja presión, con una intensidad de ultrasonidos y una vibración de alta amplitud adecuadas, las fuerzas externas que actúan sobre las partículas del líquido superan las fuerzas de cohesión intermolecular.

Aplicación de ultrasonido en la industria textil

Ealias et al. (2019) evalúan la aplicación del ultrasonido como una alternativa eficaz y sostenible para tiramientos de aguas residuales textiles, en el proceso de adsorción asistida por ultrasonido destinada a la eliminación de colorantes. Se fundamenta en la cavitación acústica, es un fenómeno en el cual las burbujas generadas en el medio líquido colapsan liberando una gran cantidad de energía, originando microturbulencias, microchorros y un incremento de presión y temperatura. Esto favorece a la transferencia de masa y disminuye la resistencia interna del sistema optimizando la eficiencia de la adsorción de los colorantes sobre distintos materiales como nano partículas o biopolímeros.

Blanqueamiento de fibra por ultrasonido

Ibrahim et al.(2013) mencionan el uso del ultrasonido como una alternativa eficiente al blanqueamiento convencional de fibras de algodón, que tradicionalmente requiere altas temperaturas y grandes cantidades de productos químicos como el peróxido de hidrógeno.

la energía ultrasónica produce cavitación acústica, que es un fenómeno que forma burbujas que en el baño de blanqueo colapsan liberando microchorros y ondas de choque que incrementan la turbulencia y la difusión del agente oxidante dentro de la fibra, provocando la eficiencia del proceso al lograr un mayor índice de blancura en menos tiempo y a temperaturas más bajas sin causar daño estructural en la fibra. Además, el ultrasonido favorece la eliminación de impurezas como ceras, pectinas y pigmentos, obteniendo una superficie más limpia y uniforme. Por otro lado, los autores concluyen que el blanqueamiento asistido por ultrasonido es una técnica eficaz y ambientalmente sostenible, ya que reduce el uso de productos químicos agresivos y el consumo energético, manteniendo la calidad de las fibras textiles.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.

3.1 Tipo de Investigación

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo y experimental ya que se ya que existen variable numérica para realizar análisis estadísticos. El estudio es fundamental para comparar métodos convencionales y métodos aplicando ultrasonido en el proceso de desengrase y despigmentación de la fibra de alpaca.

3.2 Diseño Experimental

Para la investigación se aplicó un diseño experimental para comparar la efectividad del uso de ortiga y ultrasonido en el proceso de desengrase y blanqueamiento de la fibra de alpaca mediante ultrasonido. Para evaluar el efecto de los tratamientos aplicados se utilizaron concentraciones de agentes blanqueador (H_2O_2) más extracto de ortiga blanca (*Lamium album*) aplicado en la fibra de alpaca.

Por otro lado, se utilizaron métodos experimentales para evaluar las propiedades físico-mecánicas y resistencia a la solubilidad alcalina de la fibra de alpaca, para lo cual se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) a los parámetros de amarillez, blancura, resistencia a la solubilidad alcalina y las propiedades físico-mecánicas (fuerza de ruptura, máximo desplazamiento, máximo esfuerzo, máxima deformación y módulo de elasticidad). El objetivo fue identificar diferencias significativas entre los tratamientos aplicados que se muestran la tabla 5, para conocer cuál de los tratamientos aplicados es el mejor.

El análisis se desarrolló considerando como variable dependiente de la fibra de oveja y los tratamientos con agente blanqueador se consideró como variable independiente. Para respaldar los resultados obtenidos llevo a cabo una investigación bibliográfica. El ensayo se llevó a cabo en el laboratorio de productos no alimentarios de la carrera de Agroindustria en la Universidad Nacional de Chimborazo y en el Instituto Chino de Biodiversidad y Biotecnología Agropecuaria y Forestal (ICEBBAF) en Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

3.2.1 Materiales y Equipos

Tabla 4

Equipos, materiales, reactivos y materia prima

Equipos	Materiales	Reactivos	Materia Prima
Balanza analítica Marca: MKLAB Origen: Japón	Vaso de precipitado de diferentes volúmenes	Carbonato de sodio	Vellón de fibra de alpaca (<i>Vicugna pacos</i>)
Colorímetro DS-200 series Origen: China	Balón de aforo de distinto volumen	Peróxido de hidrogeno	Ortiga Blanca (<i>lamium album</i>)
Mufla Marca: Memmert Origen: Alemania	Vidrio reloj	Pirofosfato de sodio Marca: Scharlau	
Maquina universal Marca: EZ-S SHIMADZU Origen: Japón	Termómetro	Hidróxido de sodio Marca: Fisher Chemical Código: S318-1	
Ultrasonido (Elma) ELECTRONIC EASY E+ Origen: Alemania	Espátula de acero inoxidable		
Horno deshidratador Origen: Perú	Probeta de diferente volumen Marca: Pinza de acero		

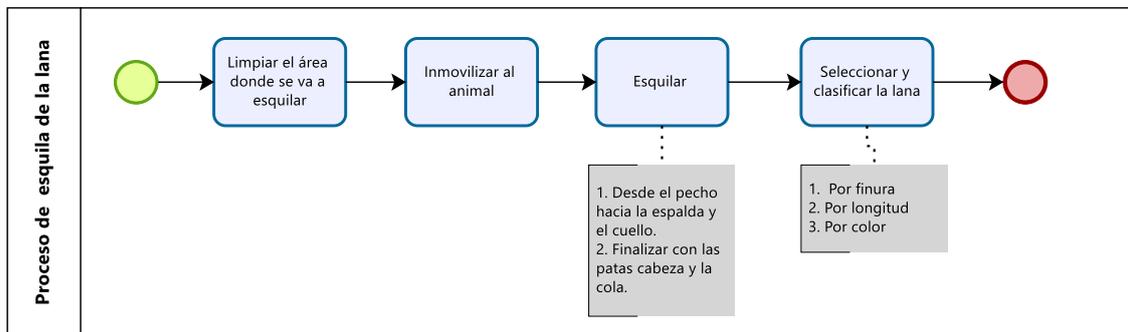
3.2.2 Obtención y clasificación de la lana

El proceso de clasificación del vellón de la fibra de alpaca se basa en su contenido de calidades superiores, calidades inferiores, longitud de mecha y color. Se efectúa manualmente mediante inspección visual y tacto, por el personal calificado (INDECOPI, 2014).

Aguilar et al. (2012) habla sobre la esquila que se detalla en la figura 4

Figura 4

Obtención y clasificación de la lana



Proceso de obtención y clasificación de la lana

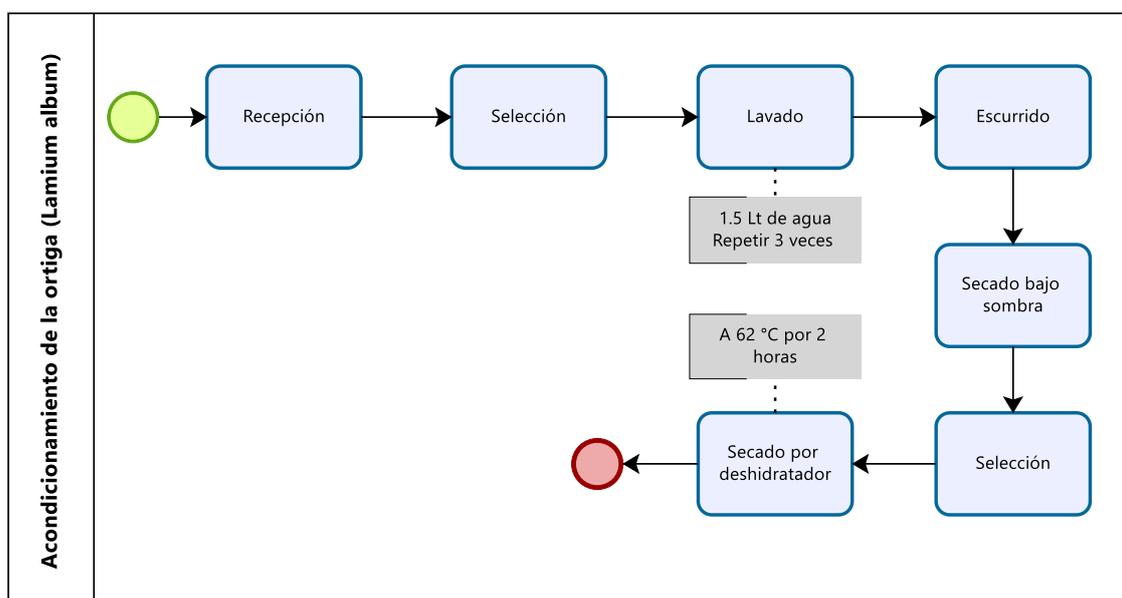
1. Limpia el área donde se va a esquilar
2. Inmovilizar al animal
3. Esquilar (primero desde el pecho hasta la espalda y cuello, se finaliza con laas patas cabeza)
4. Selección y clasificación de la lana

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

El método de acondicionamiento de la ortiga blanca se realizó bajo los parámetros efectuados en la investigación realizada por Rodriguez et.al (2012) 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 (Lamium album)



Procedimiento del acondicionamiento de la ortiga blanca

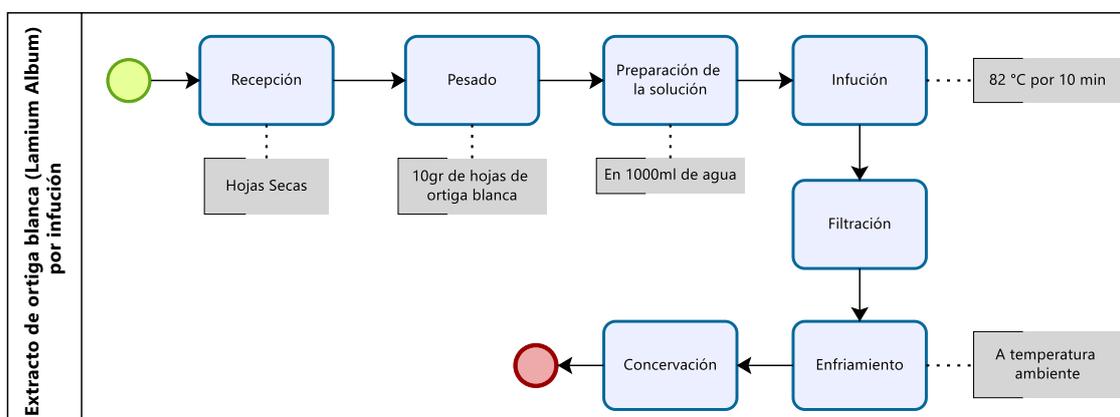
1. Recepción: se recibieron 800gr de ortiga blanca (*Lamium album*), el mismo que se obtuvo del mercado La Condamine.
2. Selección: Se realizó una selección manual para eliminar impurezas adherentes a la ortiga blanca.
3. Lavado: la ortiga se lavó 3 veces con 1.5 Lt de agua.
4. Escurrido: la ortiga se escurrió sobre papel absorbente para eliminar el exceso de agua, después se dejó secar bajo la sombra.
5. Separación: Se separó manualmente las hojas de los tallos.
6. Deshidratación: Se colocó las hojas de ortiga blanca a 62 °C durante 2 horas.

3.2.4 Extracto de ortiga blanca (*Lamim album*) por infusión

El método obtención de extractos de ortiga blanca por infusión se basó en el trabajo de investigación realizado por Belščak-Cvitanović et al. (2015) titulado “**NETTLE (URTICA DIOICA L.) EXTRACTS AS FUNCTIONAL INGREDIENTS FOR PRODUCTION OF CHOCOLATES WITH IMPROVED BIOACTIVE COMPOSITION AND SENSORY PROPERTIES**” el cual se describe en la figura 6.

Figura 6

Extracto de ortiga blanca por infusión



Procedimiento de la obtención del extracto de ortiga blanca por infusión

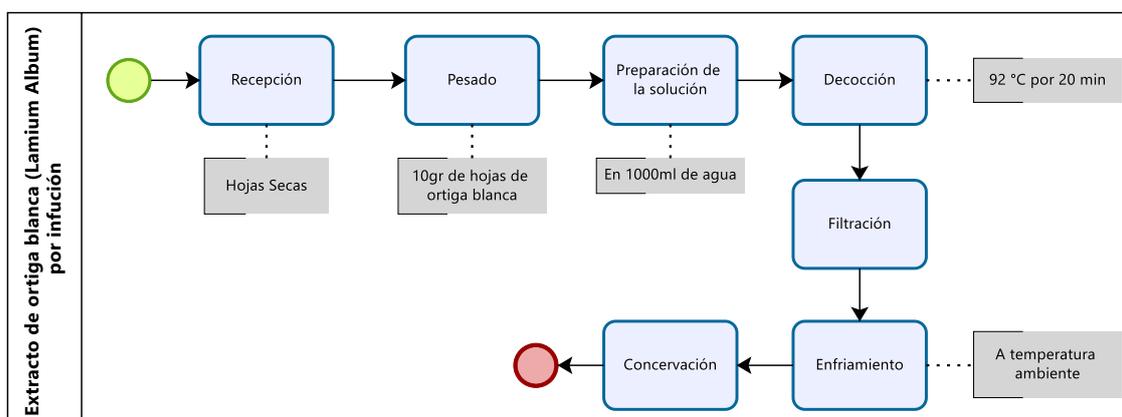
1. Pesar 10 gr de hojas de ortiga blanca.
2. La relación de la solución es 1:100 donde se midieron 1000 ml de agua utilizando una probeta.
3. Se calentaron 1000 ml de agua en un vaso de precipitado sobre la estufa hasta alcanzar los 82 °C, la cual fue controlado por un termómetro y posterior mente se colocó los 10 gr de hoja de ortiga blanca durante 10 min.
4. Se procedió a filtrar la infusión utilizando una tela de malla fina para separar el extracto liquido de los restos de hojas.
5. El extracto de infusión de ortiga blanca se colocó en un frasco de vidrio y se almaceno a temperatura ambiente.

3.2.5 Extracto de ortiga blanca (*Lamium album*) por decocción

El método de obtención de extractos de ortiga blanca por decocción se basó en el trabajo de investigación realizado por Belščak-Cvitanović et al. (2015) titulado “**NETTLE (URTICA DIOICA L.) EXTRACTS AS FUNCTIONAL INGREDIENTS FOR PRODUCTION OF CHOCOLATES WITH IMPROVED BIOACTIVE COMPOSITION AND SENSORY PROPERTIES**” el cual se describe en la figura 7.

Figura 7

Extracto de ortiga blanca por decocción



Procedimiento de la obtención del extracto de ortiga blanca por decocción

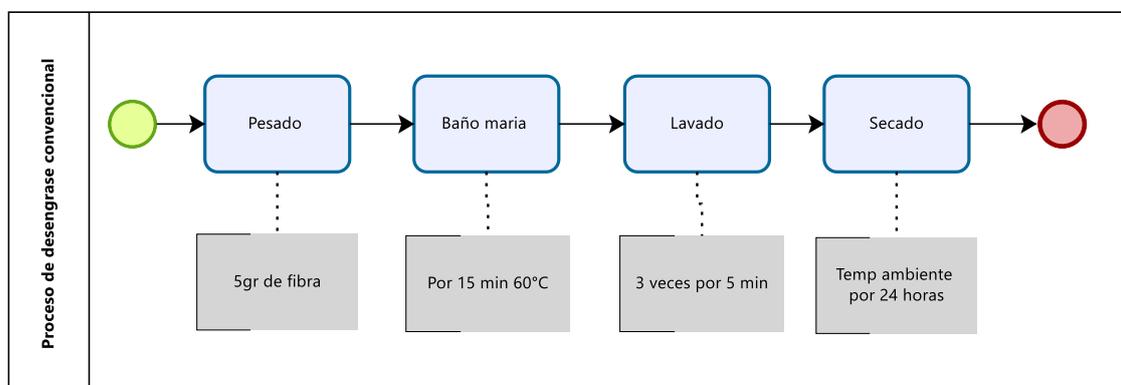
1. Pesar 10 gr de hojas de ortiga blanca.
2. La relación de la solución es 1:100 donde se midieron 1000 ml de agua utilizando una probeta.
3. Se calentaron 1000 ml de agua en un vaso de precipitado sobre la estufa hasta alcanzar los 92 °C, la cual fue controlado por un termómetro y posteriormente se colocó los 10 gr de hoja de ortiga blanca durante 20 min.
4. Se procedió a filtrar la infusión utilizando una tela de malla fina para separar el extracto líquido de los restos de hojas.
5. El extracto por decocción de ortiga blanca se colocó en un frasco de vidrio y se almaceno a temperatura ambiente.

3.2.6 Desengrase convencional de la fibra

El método de desengrase se basó en el artículo realizado por Bouagga et al. (2022) titulado “**EFFECT OF MORDANT BLEACHING ON THE OPTICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF BLACK TUNISIAN WOOL AND OPTIMIZATION OF THE BLEACHING PROCESS**” en donde se describe el proceso en la figura 8.

Figura 8

Desengrase convencional de la fibra



Proceso de desengrase convencional de la fibra

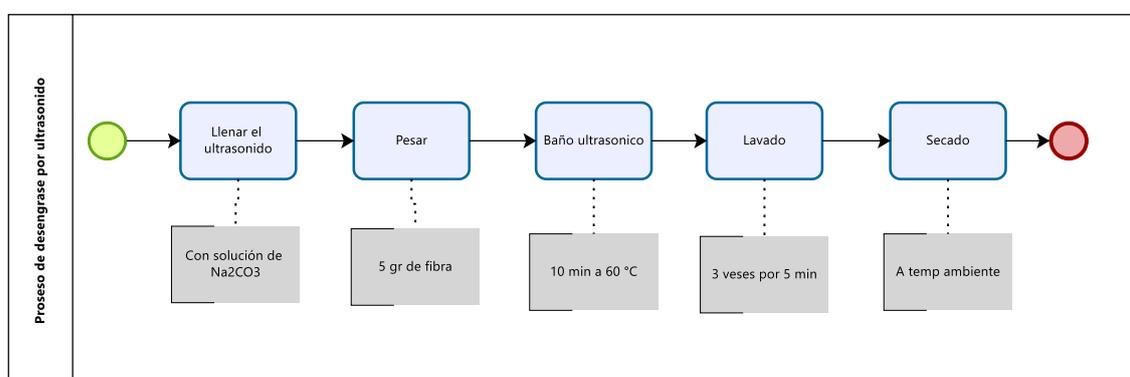
1. Colocar 5gr de fibra de alpaca en una solución de 0.25gr de Na_2CO_3 con 500ml de agua destilada.
2. Colocar en el baño maría por 15 min a 60 °C.
3. Lavar con agua destilada 3 veces por 5 min.
4. Secar la lana a temperatura ambiente

3.2.7 Desengrasado por ultrasonido de la fibra

El método de desengrase se basó en el artículo realizado por Bouagga et al. (2022) titulado “EFFECT OF MORDANT BLEACHING ON THE OPTICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF BLACK TUNISIAN WOOL AND OPTIMIZATION OF THE BLEACHING PROCESS” aplicando ultrasonido donde se describe el proceso en la figura 9.

Figura 9

Desengrase por ultrasonido de la fibra



Proceso de desengrase por ultrasonido de la fibra

1. Llenar el equipo de ultrasonido ELECTRONIC EASY E+ con la solución de Na_2CO_3
2. Colocar 5 gr de fibra de alpaca
3. Se coloca en el baño por 10 min a 60°C a una frecuencia de 37 Hz
4. Después del desengrase, la fibra se retira del baño de ultrasonidos y se enjuaga con agua destilada 3 veces por 5 min.
5. Secar la fibra a temperatura ambiente

3.2.8 Tratamiento de diferentes concentraciones de peróxido con extracto de ortiga blanca para el blanqueamiento

Para el desarrollo del proceso de blanqueamiento de la fibra se elaboró 11 formulaciones que se observan en la tabla número 5.

Tabla 5

Formulaciones para el blanqueamiento

	Tratamiento evaluado	Formulaciones
PEROX	Peróxido de hidrogeno 25%	500 ml de H_2O_2
INFU	Extracto de ortiga blanca por infusión	500 ml de extracto por infusión
INFU3	Peróxido de hidrogeno 3% más Extracto de ortiga blanca por infusión	30 ml de H_2O_2 más 470 ml de extracto de ortiga blanca (infusión y decocción)
INFU6	Peróxido de hidrogeno 6% más Extracto de ortiga blanca por infusión	60 ml de H_2O_2 más 440 ml de extracto de ortiga blanca (infusión y decocción)
INFU9	Peróxido de hidrogeno 9% más Extracto de ortiga blanca por infusión	90 ml de H_2O_2 más 410 ml de extracto de ortiga blanca (infusión y decocción)
INFU12	Peróxido de hidrogeno 12% más Extracto de ortiga blanca por infusión	120 ml de H_2O_2 más 380 ml de extracto de ortiga blanca (infusión y decocción)
DECO	Extracto de ortiga blanca por decocción	500 ml de extracto por decocción
DECO3	Peróxido de hidrogeno 3% más Extracto de ortiga blanca por decocción	30 ml de H_2O_2 más 470 ml de extracto de ortiga blanca (infusión y decocción)
DECO6	Peróxido de hidrogeno 6% más Extracto de ortiga blanca por decocción	60 ml de H_2O_2 más 440 ml de extracto de ortiga blanca (infusión y decocción)
DECO9	Peróxido de hidrogeno 9% más Extracto de ortiga blanca por decocción	90 ml de H_2O_2 más 410 ml de extracto de ortiga blanca (infusión y decocción)
DECO12	Peróxido de hidrogeno 12% más Extracto de ortiga blanca por decocción	120 ml de H_2O_2 más 380 ml de extracto de ortiga blanca (infusión y decocción)

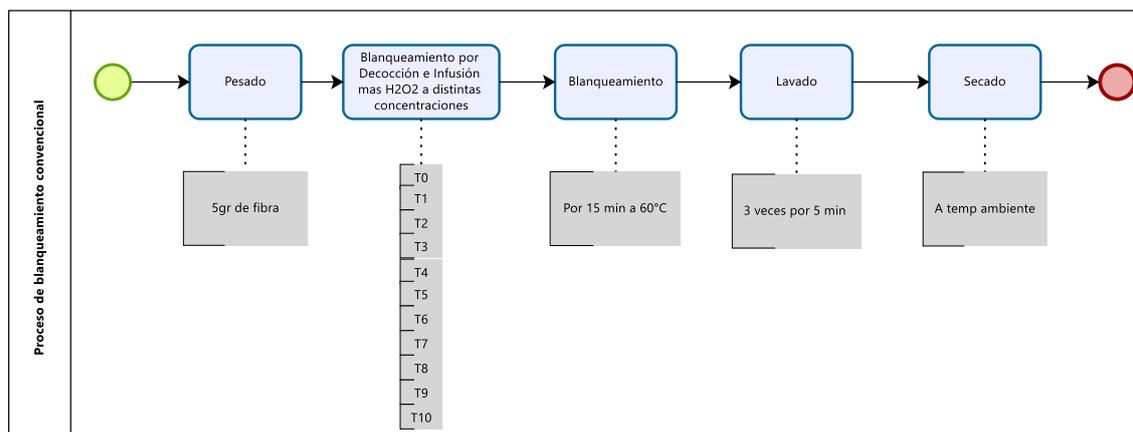
3.2.9 Blanqueamiento convencional de la fibra de alpaca con peróxido de hidrogeno

El método de formulación de baños de blanqueamiento se basó en el artículo realizado por Arildii et al. (2022) titulado “**OPTIMIZATION OF MORDANT**

BLEACHING OF YAK WOOL WITH HYDROGEN PEROXIDE AT LOW TEMPERATURE” en donde se siguió el proceso descrito en la figura 10.

Figura 10

Proceso de blanqueamiento convencional



Proceso de blanqueamiento convencional de la fibra

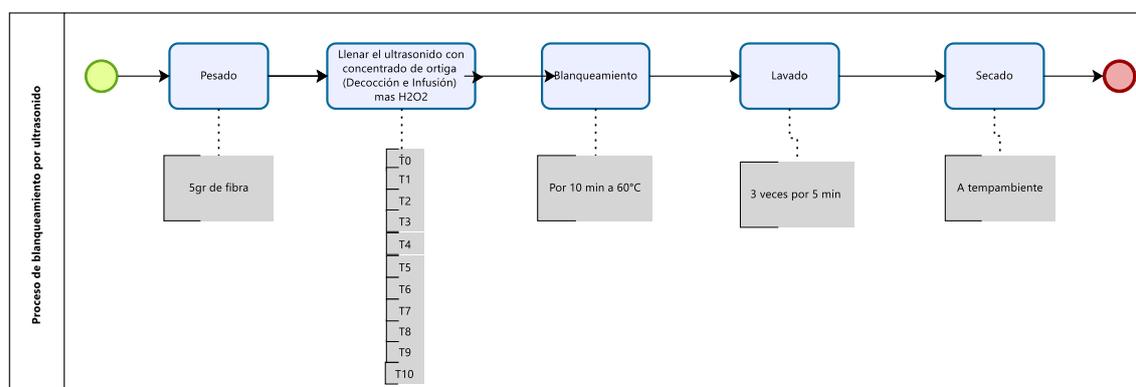
1. Pesar 5 gr de fibra de alpaca
2. Se colocó 500ml de solución de extracto de ortiga (infusión y decocción) y H₂O₂ a diferentes concentraciones (3%, 6%, 9%, 12%).
3. Se deja en el baño por 15 minutos a una temperatura de 60°C
4. Se enjuaga la fibra 3 veces con agua destilada durante 5 minutos
5. Secar la fibra a temperatura ambiente

3.2.10 Blanqueamiento por ultrasonido de la fibra de alpaca con peróxido de hidrogeno

El método de formulación de baños de blanqueamiento aplicando ultrasonido se basó en el artículo realizado por Arildii et al. (2022) titulado “**OPTIMIZATION OF MORDANT BLEACHING OF YAK WOOL WITH HYDROGEN PEROXIDE AT LOW TEMPERATURE**” donde se siguió el proceso descrito en la figura 11.

Figura 11

Proceso de blanqueamiento por ultrasonido



Proceso de blanqueamiento por ultrasonido de la fibra

1. Pesar 5 gr de fibra de alpaca
2. Se llena el ultrasonido con 700ml de solución de extracto de ortiga (infusión y decocción) y H₂O₂ a diferentes concentraciones (3%, 6%, 9%, 12%).
3. Se deja en el baño por 10 minutos a una temperatura de 60°C
4. Se enjuaga la fibra 3 veces con agua destilada durante 5 minutos
5. Secar la lana a temperatura ambiente

3.2.11 Índice de blancura y amarillez en la fibra

Para calcular el índices de blancura y el índice amarillez se aplicó el procedimiento descrito por la norma American Society for Testing and Materials, (2005) titulado “STANDARD PRACTICE FOR CALCULATING YELLOWNESS AND WHITENESS INDICES FROM INSTRUMENTALLY MEASURED COLOR COORDINATES”.

Para lo cual se utilizó el equipo Colorímetro DS-200 series donde se obtuvieron coordenadas de la escala CIE X, Y, Z e Y, x, y en donde se aplicaron las siguientes ecuaciones para la determinación de los diferentes índices:

Ecuación para calcular el índice de amarillez:

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

YI: Índice de amarillez

CX, CY: Coeficientes para el índice de amarillez

X, Y, Z: Valores triestímulos medidos de la muestra

Tabla 6

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

Coeficientes	Valor
C_X	1,3013
C_Y	1,1498

Ecuación para calcular el índice de blancura:

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

WI: Índice de blancura**WI,x y WI,y:** coeficientes numéricos**Y, x, z:** factor de luminancia**xn, yn:** coordenadas cromáticas del iluminante**Tabla 7**

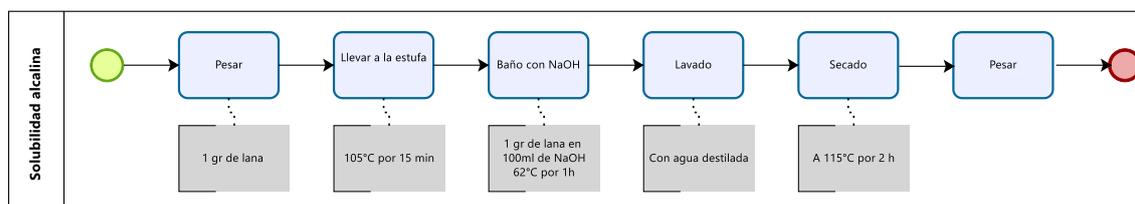
Coeficientes para el índice de blancura, para el iluminante D65.

Coeficientes	Valor
x_n	0,3138
Y_n	0,3310
$WI_{,x}$	800
$WI_{,y}$	1700

3.2.12 Prueba de solubilidad alcalina

El método de solubilidad en álcali se basó en el artículo realizado por Harris et al. (1936) titulado “**OXIDATION OF WOOL: ALKALI SOLUBILITY TEST FOR DETERMINING THE EXTENT OF OXIDATION.**” donde el proceso se describe en la figura 12.

Figura 12

Prueba de solubilidad alcalina

Proceso de la prueba de solubilidad alcalina

1. Se pesa 1 gr de fibra
2. Se lleva a la estufa por 15 min a 105°C
3. Pesar de nuevo la muestra
4. Se prepara 1000 ml de NaOH 0.1 N
5. Colocar 1gr de fibra en 100ml de NaOH al 0.1 N y se deja en baño maría por 1 h a temperatura de 62°C
6. Se enjuaga con agua destilada
7. La fibra se seca en la estufa por 2 horas a 115°C
8. Pesar y calcular la reducción de peso

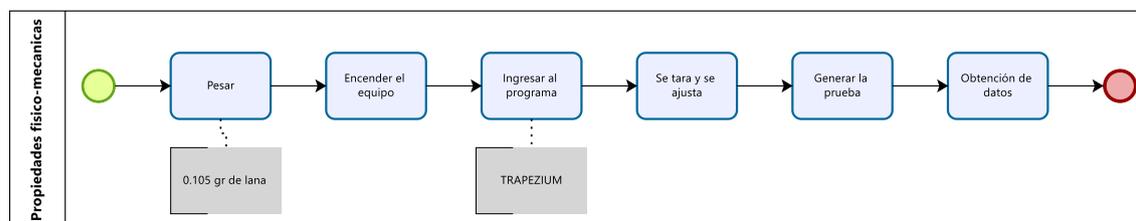
3.2.13 Determinación de las propiedades Físico-mecánicas de la fibra

Para la medición de las propiedades físico-mecánicas en la fibra se tomó en cuenta la investigación elaborado por Jankowska et al. (2021) titulado “**COMPARISON OF PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF FIBRE AND YARN MADE OF ALPACA, SHEEP, AND GOAT WOOL**”.

La determinación de las propiedades se realizó en los laboratorios de del instituto chino ecuatoriano de biodiversidad y biotecnología, Agropecuario y forestal (ICEBBAF) ubicado en la ESPOCH, donde se utilizó la maquina universal marca SHIMADZU con el software TTRAPEZIUM, el proceso de describe en la figura 13.

Figura 13

Determinación de las propiedades físico-mecánicas



Proceso de la determinación de las propiedades físico-mecánicas

1. Se pesa 0.105 gr de lana de alpaca
2. Se enciende el equipo Universal
3. Ingresar al programa TRAPEZIUM
4. Se tara y se ajusta el equipo
5. Se genera la prueba tensión, mediante el software para determinar las propiedades físico mecánicas.
6. Se obtienen los datos y se guardan

3.3 Técnicas de recolección de datos

Los datos se obtuvieron a partir de las mediciones de los diferentes parámetros indicados a continuación en la tabla 8.

Tabla 8
Parámetros a analizar

Parámetro	Categoría
Índice de amarillez	0-100
Índice de blancura	0-100
Resistencia al álcali	0-100%
Fuerza de ruptura (N)	0-100
Máximo desplazamiento (mm)	0-100
Máximo esfuerzo (Mpa)	0-100
Máxima deformación (%)	0-100
Módulo de elasticidad	0-1000

3.4 Población de Estudio y tamaño de la muestra

El vellón de lana de alpaca, de la estación experimental Tunshi-ESPOCH, las características se describen en la tabla 9.

Tabla 9
Característica de la alpaca

Sexo	Hembra
Raza	Huacaya
Numero de esquila	3

Para el desarrollo de la investigación se utilizó la lana extraída del costillar medio del animal. En cada proceso se realizó tres repeticiones tanto para el método convencional y el método aplicando ultrasonido. El tamaño de la muestra para cada tratamiento será de 10gr de fibra de alpaca, basada en estudios previos sobre tratamientos textiles.

3.5 Procesamiento de Datos

Para la evaluación de los diferentes parámetros de la investigación los datos fueron registrados en una hoja de Excel, de acuerdo a cada tratamiento y parámetro a medir. El valor registrado se detalló de acuerdo a cada parámetro que se investigó.

3.6 Métodos de Análisis

En la investigación se llevó a cabo una evaluación exhaustiva realizando un Anova para conocer las diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, se trabajó con nueve datos por tres lotes de producción de la fibra de alpaca. La cantidad obtenida de datos fue organizada en la base de datos de Microsoft Excel permitiendo facilitar la información.

Para el proceso de datos se utilizó el software estadístico statgraphics centurión 16, donde se realizó el análisis exploratorio de datos, identificando medidas de tendencia central (media y desviación estándar).

Para determinar las diferencias significativas entre los tratamientos se realizó un test de tukey con el 95% de confianza, proporcionando valores y resultados adecuados para la interpretación.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados de índice de amarillez y blancura de la fibra

El índice de blancura (WI) representa la medida del nivel de blancura que posee un tejido y constituye un parámetro clave para determinar la eficiencia del proceso de blanqueamiento. Yeo et al. (2021) indican el valor del índice de blancura se determina mediante equipos colorimétricos, como el colorímetro o el espectrofotómetro, los cuales evalúan la luminosidad y la ausencia de matices o saturación en el color.

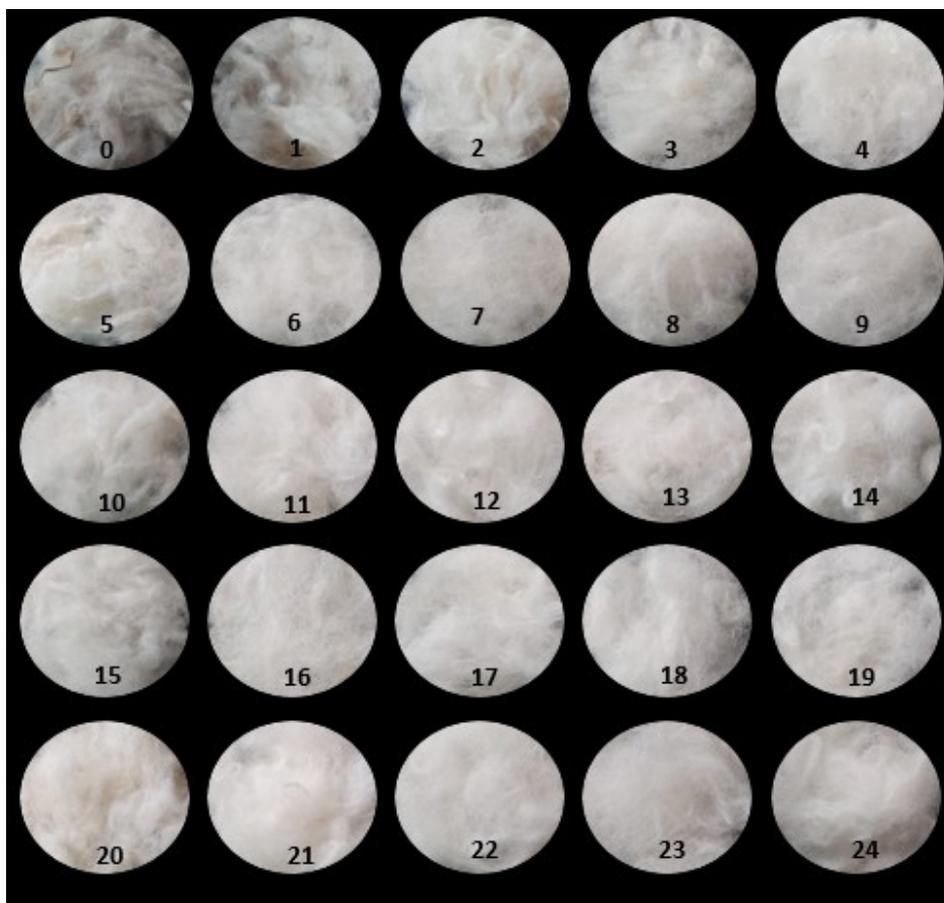
El índice de amarillez (YI) es un parámetro colorimétrico usado para cuantificar el grado de tonalidad amarilla que presenta una fibra o material textil después del blanqueamiento (Liu et al., 2003).

El proceso de blanqueamiento de la fibra implica la eliminación de impurezas, en esta investigación se evalúa diferentes pruebas de blanqueo de la fibra de alpaca utilizando 11 formulaciones a diferentes concentraciones de peróxido y extracto de ortiga de manera convencional y aplicando ultrasonido. El tratamiento inicial es de 3% v/v siguiendo las metodologías previas y el tratamiento con peróxido de hidrogeno al 25% v/v como parámetro de comparación.

La figura 14 muestra la comparación visual de las fibras según los tratamientos (cruda, desengrasada y blanqueada; convencional y aplicado ultrasonido).

Figura 14

Comparación visual de la fibra



Nota. 0 cruda, 1 desengrasada, 2 desengrasada por ultrasonido, 3 H₂O₂, 4 H₂O₂ por ultrasonido, 5 infusión, 6 infusión+ H₂O₂ 3%, 7 infusión+ H₂O₂ 6%, 8 infusión+ H₂O₂ 9%, 9 infusión+ H₂O₂ 12%, 10 infusión por ultrasonido, 11 infusión+ H₂O₂ 3% por ultrasonido, 12 infusión+ H₂O₂ 6% por ultrasonido, 13 infusión+ H₂O₂ 9% por ultrasonido, 14 infusión+ H₂O₂ 12% por ultrasonido, 15 decocción, 16 decocción+ H₂O₂ 3%, 17 decocción+ H₂O₂ 6%, 18 decocción+ H₂O₂ 9%, 19 decocción+ H₂O₂ 12%, 20 decocción por ultrasonido, 21 decocción+ H₂O₂ 3% por ultrasonido, 22 decocción+ H₂O₂ 6% por ultrasonido, 23 decocción+ H₂O₂ 9% por ultrasonido, 24 decocción+ H₂O₂ 12% por ultrasonido.

Según los valores obtenidos sobre el índice de amarillez y el índice de blancura por el método tradicional y aplicando ultrasonido se describen a continuación en la tabla 10.

Tabla 10

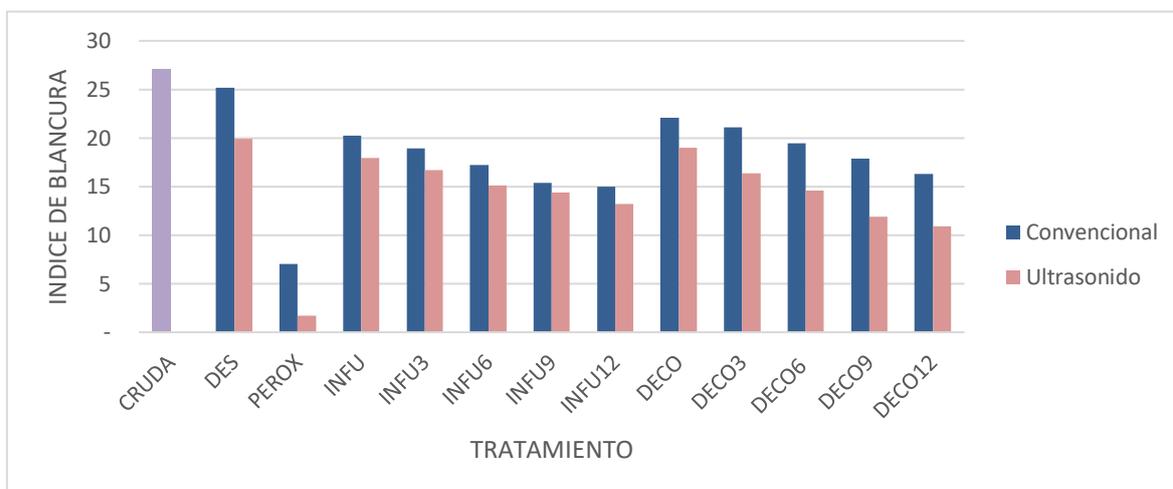
Índice de Amarillez (IA) e Índice de blancura (IB)

Tratamientos	IA		IB	
	Convencional	Ultrasonido	Convencional	Ultrasonido
CRUDA	27,04 ± 0.68 ^a		1,51 ± 0.41 ^a	
DES	25,16 ± 0.71 ^b	19,94 ± 0.51 ^c	3,19 ± 0.53 ^b	6,19 ± 0.90 ^c
PEROX	7,03 ± 0.76 ^p	1,73 ± 0.23 ^q	32,04 ± 1.24 ^p	35,47 ± 1.00 ^q
INFU	20,23 ± 0.46 ^e	17,97 ± 0.96 ^f	8,18 ± 0.68 ^e	10,15 ± 0.72 ^f
INFU3	18,90 ± 0.52 ^g	16,72 ± 0.97 ^h	11,00 ± 0.93 ^g	14,09 ± 0.97 ^h
INFU6	17,22 ± 0.65 ^j	15,15 ± 0.65 ^k	16,96 ± 0.58 ^j	18,81 ± 0.71 ^k
INFU9	15,37 ± 0.59 ^l	14,37 ± 0.48 ⁿ	20,76 ± 0.71 ^l	22,71 ± 0.88 ⁿ
INFU12	14,95 ± 0.65 ⁿ	13,21 ± 0.45 ^o	22,62 ± 0.75 ⁿ	26,50 ± 0.65 ^o
DECO	22,09 ± 0.96 ^d	19,00 ± 0.65 ^f	7,34 ± 0.64 ^d	9,54 ± 0.97 ^f
DECO3	21,07 ± 0.73 ^g	16,37 ± 0.38 ⁱ	11,67 ± 0.79 ^g	15,74 ± 0.77 ⁱ
DECO6	19,43 ± 0.34 ^h	14,58 ± 0.61 ^k	14,61 ± 0.74 ^h	18,86 ± 0.72 ^k
DECO9	17,90 ± 0.45 ^k	11,91 ± 0.66 ^m	18,28 ± 0.75 ^k	21,47 ± 0.83 ^m
DECO12	16,29 ± 0.51 ^m	10,92 ± 0.55 ^o	21,46 ± 0.90 ^m	25,99 ± 0.71 ^o

Nota. IA. Índice de amarillez, IB índice de blancura, Valores medios ± desviación estándar; ^{a_b_c_d_e_f_g_h_i_j_k_l_m_n_o_p_q_r} grupos estadísticos con diferentes superíndices muestran diferencias significativas (P<0.05).

La figura 15 muestra los valores del índice de amarillez (IA) de cada uno de los tratamientos realizados a la fibra de alpaca.

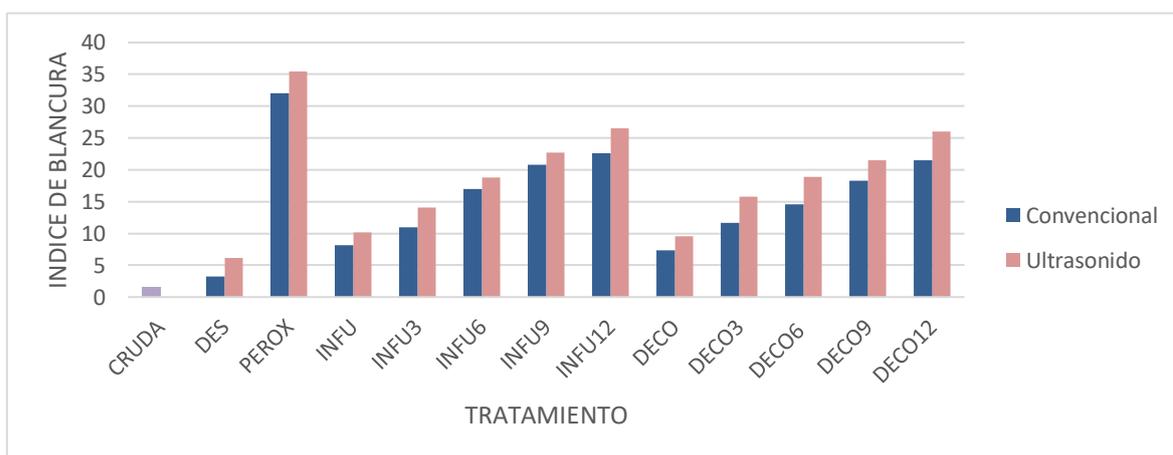
Figura 15
Índice de amarillez (IA)



Nota. La figura muestra el índice de amarillez (IA) en los diferentes tratamientos aplicados en la fibra de alpaca. Los colores representan los tratamientos: morado (cruda), azul (tratamientos convencionales) y rosado (tratamientos por ultrasonido).

La figura 16 muestra los valores del índice de blancura (IA) de cada uno de los tratamientos realizados a la fibra de alpaca.

Figura 16
Índice de blancura (IB)



Nota. La figura muestra el índice de blancura (IB) en diferentes tratamientos aplicados en la fibra de alpaca. Los colores representan los tratamientos: morado (cruda) azul (tratamientos convencionales) y rosado (tratamientos por ultrasonido).

Análisis

Los resultados obtenidos en el índice de amarillez (IA) y el índice de blancura (IB) evidencian diferencias significativas entre los tratamientos aplicados a la fibra de alpaca. La fibra cruda presentó el valor más alto en IA y el valor más bajo en IB. Millington et al. (2017) mencionan que esto se debe a impurezas como grasa de lana, suciedad y materia vegetal presente en la lana. En el proceso de desengrasado el índice de amarillez disminuye y el índice de blancura aumenta tanto en los tratamientos convencional y aplicado ultrasonido con respecto a la fibra cruda. El proceso de desengrasado es eficiente debido a la eliminación de impurezas que es esencial antes de que la fibra pueda ser utilizada en la industria textil (Millington et al., 2017).

Los tratamientos de H₂O₂ al 25% a temperatura de 60° tiene un menor valor en el índice de amarillez. Liu et al. (2003) evidenciaron que el tratamiento con peróxido de hidrógeno disminuye de forma notable el índice de amarillez. Sin embargo, este proceso genera modificaciones estructurales en la fibra, dichas alteraciones se originan por la acción oxidante del H₂O₂, que convierte la cistina en ácido cisteico, provocando la ruptura de los enlaces disulfuro responsables de la cohesión y resistencia de la queratina. En cuanto el índice de blancura tiene un aumento significativo. Millington et al. (2017) indicaron el proceso de blanqueo con H₂O₂ aplicado a la fibra disminuye el tono de amarillez y aumenta el tono de blancura de la misma. Esto se debe a la eliminación de los cromóforos de tonalidad amarilla mediante procesos de oxidación, lo que incrementa el grado de blancura de la fibra. Por otro lado, los mismo tratamientos aplicado ultrasonido a frecuencia de 37 Hz a temperatura de 60°C por 10 minutos evidenció una disminución del índice de amarillez y un incremento en el índice de blancura. Li et al. (2022) mencionan la aplicación de ultrasonido durante el blanqueamiento de fibras como el pelo de yak provoca un fenómeno de cavitación acústica, en el cual se forman y colapsan microburbujas que liberan microchorros de alta energía. Estos efectos físicos incrementan la transferencia de masa y facilitan la penetración de los agentes blanqueadores.

Los tratamientos con extracto de ortiga blanca (*Lamiun album*) (infusión y decocción) evidenciaron una disminución significativa en el índice de amarillez y el índice de blancura con respecto al tratamiento de H₂O₂ al 25%. Kelayeh et al. (2018) mencionan que la ortiga posee compuestos bioactivos (flavonoides, fenoles, saponinas, taninos) que le confieren propiedades antioxidantes, antimicrobianas y astringentes, las cuales pueden relacionarse con su acción en el blanqueamiento de fibras naturales como la lana. Los tratamientos en las mismas aplicados reflejan incremento en el índice de amarillez y una disminución en el índice de blancura en contraste con los tratamientos de H₂O₂ al 25%. Hurren et al. (2008) evidencian que el proceso de blanqueamiento asistido por ultrasonido alcanza una mayor eliminación de impureza, además disminuye el encogimiento por afieltramiento en la fibra ya elaborada en comparación con el blanqueamiento convencional.

Por otro lado, los tratamientos donde se aplicó H₂O₂ a diferentes concentraciones (3%, 6%, 9%, 12) más extracto de ortiga blanca (infusión y decocción) el índice de amarillos aumenta significativamente y el índice de blancura disminuye en comparación con H₂O₂ 25%. Ochkur et al. (2015) menciona que esto se debe a que la ortiga blanca tiene principios activos que son capases de actuar como un agente blanqueador. Al aplicar a los tratamientos se evidencio que el índice de amarillez disminuye y el índice de blanqueo de blancura aumenta en contraste con los tratamientos aplicados H₂O₂, esto se debe a que el ultrasonido emite simulaciones acústicas lo que permite eliminar impurezas sin dañar la estructura de la fibra ni comprometer su calidad (Calderón Ch et al., 2022).

De acuerdo con los resultados obtenidos, los métodos asistidos por ultrasonido demuestran superioridad al método convencional, logrando una reducción del índice de amarillez e incrementando el índice de blancura debido a que la cavitación acústica que genera el ultrasonido produciendo microchorros y turbulencias que facilitan la eliminación de impurezas y mejorando la penetración de los agentes blanqueadores. En contraste, los métodos convenciones mejora los parámetros ópticos, pero lo hace con menor eficiencia, especialmente en tratamientos combinados con extractos naturales, donde el ultrasonido aumenta su acción.

4.2 Resultados de la prueba de resistencia alcalina

Asquith et al. (1973) menciona que la resistencia alcalina de las fibras, especialmente en las de origen animal, se refiere a su habilidad para soportar la degradación y el deterioro químico al ser sometidas a soluciones de elevado pH. La lana presenta una baja tolerancia frente a los álcalis, lo que ocasiona una degradación considerable evidenciada por la aparición de nuevos aminoácidos y la disminución del peso de la fibra.

Harris et al. (1936) menciona que la exposición de la lana a soluciones alcalinas provoca una rápida ruptura de estos enlaces de azufre, lo que conlleva a la pérdida de material, disminución de la reflectancia (aumento de la amarillez) y deterioro en la capacidad elástica de la fibra.

La calidad y las propiedades de la fibra de alpaca pueden verse afectadas por varios factores como procesos de transformación. La determinación de la solubilidad en álcali puede utilizarse como medida del grado de oxidación de la lana. El método es aplicable como control en procesos prácticos, como el blanqueo y la cloración y ofrece una medida del grado de degradación de la lana por reacciones fotoquímicas (Harris et al. (1936).

Los valores obtenidos sobre la resistencia alcalina por el método tradicional y aplicando ultrasonido se describen a continuación en la tabla 11.

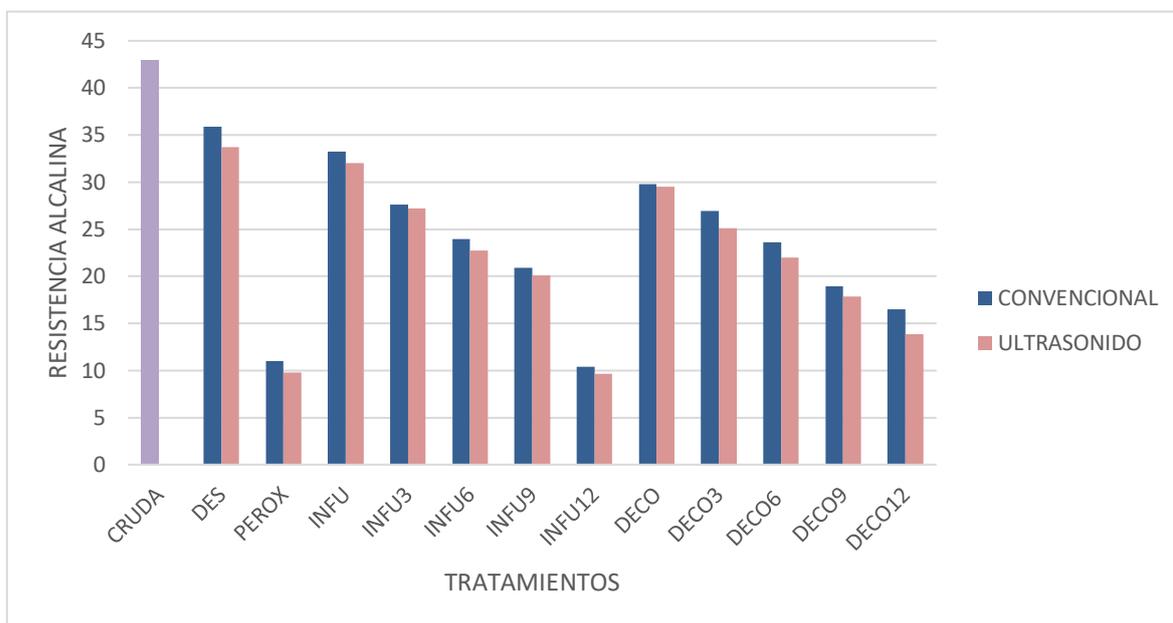
Tabla 11*Prueba de resistencia alcalina*

TRATAMIENTOS	FIBRA CONSUMIDA	
	CONVENCIONAL	ULTRASONIDO
CRUDA	42,99 ± 0.50 ^q	
DES	35,88 ± 0.62 ^p	33,72 ± 0.79 ^o
PEROX	11,02 ± 0.82 ^a	9,78 ± 0.14 ^a
INFU	33,26 ± 0.47 ^{no}	32,02 ± 0.56 ⁿ
INFU3	27,06 ± 0.60 ^l	27,23 ± 0.71 ^l
INFU6	23,93 ± 0.64 ^{jk}	22,73 ± 0.63 ^{ij}
INFU9	20,89 ± 0.68 ^{gh}	20,11 ± 0.58 ^{fg}
INFU12	10,37 ± 1.01 ^a	9,63 ± 1.14 ^a
DECO	29,82 ± 0.42 ^m	29,48 ± 0.59 ^m
DECO3	26,91 ± 0.54 ^l	25,08 ± 0.37 ^j
DECO6	23,59 ± 0.39 ^j	21,96 ± 0.46 ^{hi}
DECO9	18,94 ± 0.64 ^{ef}	17,85 ± 0.74 ^{de}
DECO12	16,46 ± 0.96 ^c	13,84 ± 0.77 ^b

Nota. Prueba de la resistencia alcalina, Valores referentes a la media ± desviación estándar; a_b_c_d_e_f_g_h_i_j_k_l_m_n_o_p_q: grupos estadísticos con diferentes superíndices muestran diferencias significativas (P<0.05).

La figura 17 muestra los valores de la solubilidad alcalina de cada uno de los tratamientos realizados a la fibra de alpaca.

Figura 17
Solubilidad alcalina



Nota. La figura muestra la solubilidad alcalina (%) en diferentes tratamientos aplicados en la fibra de alpaca. Los colores representan los tratamientos: morado (cruda) azul (tratamientos convencionales y rosado (tratamientos por ultrasonido).

Análisis

La fibra cruda presentó mayor resistencia alcalina (42.99 ± 0.50) indicando que la fibra en su estado natural resiste. Hassan et al. (2015) indican que el álcali a través de los iones hidróxido (OH^-), actúa sobre el aminoácido cistina, el cual es fundamental por ser responsable de los enlaces disulfuro que mantienen los entrecruzamientos internos de la fibra y le confieren su resistencia. El proceso de desengrasado muestra una solubilidad alcalina menor en comparación con la fibra cruda. Hassan et al. (2015) indican que en el proceso de desengrase, la fibra se somete a una limpieza alcalina suave destinada a eliminar impurezas naturales como grasa, sudor, polvo y materia orgánica, se realiza generalmente con soluciones alcalinas diluidas de carbonato o bicarbonato de sodio junto con agentes tensoactivos biodegradables.

Los tratamientos H_2O_2 al 25% a temperatura de 60° presento una disminución significativa en la resistencia alcalina en comparación de la fibra (Cruda). Millington et al. (2017) mencionan el proceso de blanqueo de la lana mediante peróxido de hidrógeno requiere condiciones alcalinas controladas, ya que en este medio se forma el anión perhidroxilo (OOH^-), el cual actúa como la especie oxidante activa responsable del efecto blanqueador. Sin embargo, como señalan Harris et al. (1936), esta misma acción oxidante puede provocar una oxidación progresiva de los grupos disulfuro de la cistina presentes en la queratina, ocasionando una pérdida parcial de la estructura interna de la fibra y, en

consecuencia, una disminución de su resistencia alcalina. Chebon et al. (2023) demostraron que la aplicación conjunta de ultrasonido y enzimas alcalinas optimiza el proceso sin afectar la queratina, ya que las ondas ultrasónicas facilitan la acción enzimática bajo condiciones alcalinas moderadas.

Por otro lado, los tratamientos con extracto de ortiga blanca (infusión y decocción) evidencia un aumento significativo en la resistencia alcalina en contraste con (PEROX). Los extractos de ortiga tienen antioxidantes y su capacidad para mantener estable los enlaces de disulfuro lo que mantiene resistente a la fibra (Chebon et al., 2023).

Por otro lado, los tratamientos donde se aplicó H₂O₂ a diferentes concentraciones (3%, 6%, 9%, 12) más extracto de ortiga blanca (infusión y decocción) muestran una resistencia mayor en contraste con (PEROX). Basu et al. (2007) mencionan que debido a la obtención predominante de compuestos fenólicos y flavonoides en los extractos de ortiga, los cuales fortalecen la resistencia de las fibras frente a la oxidación. Esto indica que el método de extracción mediante infusión o decocción no altera de manera notable la respuesta de la lana ante los álcalis.

Por otro lado, los tratamientos anteriores mencionados se aplicaron ultrasonido frecuencia de 37 Hz a temperatura de 60°C por 10 minutos reduce la resistencia alcalina. Qian et al. (2021) menciona sobre la cavitación y las fuerzas mecánicas generadas durante el tratamiento aumentan la transferencia de masa y calor, además de intensificar la actividad de las moléculas de álcali, lo que eleva la probabilidad de que colisionen con la fibra. Este contacto favorece la ruptura de los enlaces químicos estructurales de la fibra, un proceso que se ve significativamente acelerado por la acción del ultrasonido.

4.3 Resultados de las propiedades físico-mecánicas de la fibra de alpaca

Jankowska et al. (2021) mencionan que las propiedades físico-mecánicas comprenden el conjunto de características físicas y de resistencia que determinan la forma en que un material responde ante esfuerzos externos. En las fibras textiles, permiten valorar su calidad, desempeño y adecuación a los procesos industriales. Entre los parámetros más relevantes se incluyen el diámetro de la fibra; la fuerza de ruptura; máximo desplazamiento; máximo esfuerzo; máxima deformación; y módulo de elasticidad. En conjunto, estos factores determinan la estructura, flexibilidad, durabilidad y calidad textil de fibras como la de alpaca.

Según los valores obtenidos las propiedades físico-mecánicas por el método tradicional y aplicando ultrasonido se describen a continuación en la tabla 12.

Tabla 12

Propiedades físico-mecánicas

Tratamientos	Fuerza de ruptura (N)		Máximo desplazamiento (mm)		Máximo esfuerzo (Mpa)		Máxima deformación (%)		Módulo de elasticidad	
	Convencional	Ultrasonido	Convencional	Ultrasonido	Convencional	Ultrasonido	Convencional	Ultrasonido	Convencional	Ultrasonido
CRUDA	62,17 ± 0.61 ^q		31.68 ± 0.58 ^o		73.52 ± 0.25 ^s		51.43 ± 0.35 ^r		482.402 ± 0.56 ^m	
DES	57,84 ± 1.04 ^p	50,18 ± 0.97 ^m	34,03 ± 0.63 ^p	27,92 ± 0.55 ^m	70,87 ± 0.78 ^r	70,87 ± 0.83 ^{nop}	50,53 ± 0.27 ^r	44,30 ± 0.27 ⁿ	382,43 ± 1.04 ^l	326,20 ± 1.04 ^c
PEROX	12,86 ± 0.62 ^b	11,35 ± 0.44 ^a	7,80 ± 0.76 ^a	6,85 ± 0.65 ^a	41,40 ± 0.50 ^a	41,40 ± 0.50 ^a	20,88 ± 0.54 ^a	19,86 ± 0.09 ^a	185,44 ± 0.72 ^b	114,09 ± 1.43 ^a
INFU	51,14 ± 0.60 ^m	49,98 ± 0.31 ^l	28,85 ± 0.60 ⁿ	27m,04 ± 0.48 ^m	65,73 ± 0.46 ^p	65,73 ± 0.48 ^m	49,07 ± 0.62 ^q	47,75 ± 0.45 ^p	348,26 ± 0.73 ⁱ	342,19 ± 1.11 ^g
INFU3	47,01 ± 0.53 ⁱ	45,66 ± 0.42 ⁱ	24,63 ± 0.39 ^l	22,88 ± 0.44 ^k	62,99 ± 0.76 ^l	62,99 ± 0.77 ^{ij}	45,97 ± 0.61 ^o	44,16 ± 0.38 ⁿ	343,44 ± 1.21 ^g	342,95 ± 1.27 ^g
INFU6	43,05 ± 0.57 ^h	41,28 ± 0.51 ^g	21,13 ± 0.62 ^j	19,81 ± 0.50 ⁱ	59,71 ± 0.56 ^h	59,71 ± 0.32 ^f	43,21 ± 0.54 ^m	41,39 ± 0.47 ^k	338,15 ± 1.25 ^f	336,93 ± 0.82 ^f
INFU9	39,57 ± 0.74 ^e	37,64 ± 0.55 ^c	19,05 ± 0.63 ^h	17,87 ± 0.45 ^f	57,23 ± 0.52 ^{ef}	57,23 ± 0.47 ^d	38,00 ± 0.62 ⁱ	36,85 ± 0.55 ^{gh}	338,06 ± 1.20 ^f	334,23 ± 1.32 ^e
INFU12	38,49 ± 0.65 ^d	36,90 ± 0.53 ^c	18,24 ± 0.71 ^{fg}	16,04 ± 0.80 ^{de}	54,65 ± 0.58 ^c	54,65 ± 0.58 ^b	34,97 ± 0.56 ^f	33,19 ± 0.48 ^e	332,43 ± 0.91 ^{de}	331,41 ± 0.99 ^d
DECO	53,16 ± 0.64 ^o	51,97 ± 0.55 ⁿ	24,92 ± 0.49 ^l	23,28 ± 0.37 ^k	70,16 ± 0.68 ^r	70,16 ± 0.56 ^r	43,42 ± 0.65 ^{mn}	42,19 ± 0.60 ^m	363,93 ± 1.22 ^k	363,00 ± 1.10 ^k
DECO3	51,02 ± 0.56 ^m	48,12 ± 0.58 ^k	21,75 ± 0.52 ^j	18,86 ± 0.52 ^{gh}	67,53 ± 0.65 ^q	67,53 ± 0.52 ^{mn}	39,76 ± 0.57 ^j	36,82 ± 0.59 ^g	352,02 ± 1.03 ^j	353,19 ± 1.02 ^j
DECO6	46,65 ± 0.50 ⁱ	43,39 ± 0.57 ^h	19,06 ± 0.59 ^h	16,60 ± 0.43 ^{de}	64,93 ± 0.54 ^{op}	64,93 ± 0.55 ^k	37,53 ± 0.40 ^h ⁱ	34,74 ± 0.30 ^f	348,32 ± 1.49 ⁱ	345,51 ± 1.23 ^h
DECO19	43,54 ± 0.39 ^h	40,35 ± 0.57 ^f	16,60 ± 0.58 ^e	15,01 ± 0.68 ^c	61,92 ± 0.64 ^{ij}	61,92 ± 0.65 ^g	34,33 ± 0.43 ^f	31,05 ± 0.84 ^d	343,24 ± 1.44 ^g	342,62 ± 1.36 ^g
DECO12	38,69 ± 0.51 ^d	35,79 ± 0.51 ^b	15,95 ± 0.58 ^d	13,05 ± 0.58 ^b	60,99 ± 1.11 ⁱ	60,99 ± 0.74 ^e	30,18 ± 0.61 ^c	30,76 ± 0.34 ^b	341,98 ± 0.99 ^g	338,72 ± 0.73 ^f

Nota. Propiedades físico-mecánicas, Valores referentes a la media ± desviación estándar; ^{a_b_c_d_e_f_g_h_i_j_k_l_m_n_o_p_q_r_s}: grupos estadísticos con diferentes superíndices muestran diferencias significativas (P<0.05).

La figura 18 muestra los valores de la fuerza de ruptura (N) de cada uno de los tratamientos realizados a la fibra de alpaca.

Figura 18
Fuerza de ruptura (N)



Nota. La figura muestra fuerza de ruptura (N) en diferentes tratamientos aplicados en la fibra de alpaca. Los colores representan los tratamientos: morado (cruda), azul (tratamientos convencionales) y rosado (tratamientos por ultrasonido).

Jankowska et al. (2021) muestran sobre la fuerza de ruptura la cual es la carga máxima que la fibra puede soportar antes de romperse reflejando así su capacidad de resistencia al esfuerzo longitudinal. En el caso de la fibra este tiene un valor cercano a 0.15N la cual indica una resistencia media en comparación a la fibra ovina y caprina. Esta característica se vincula a la estructura interna de la fibra, donde depende de la unión de células corticales y la disposición de las cadenas de queratinas que lo conforman.

Análisis

La fibra de alpaca sin tratamiento (CRUDA) presentó la fuerza de ruptura más alta (62.17), esto se debe a que la lana tiene impurezas y materia orgánicas. El proceso de desengrase mostro una reducción significativa de este parámetro debido a la eliminación de impurezas y grasa. Aksakal et al. (2009) mencionan que la lana sometida a un proceso de desengrase convencional mantiene su estructura estable a temperatura ambiente; sin embargo, al incrementarse la temperatura, su integridad se reduce notablemente debido a la desnaturalización de la α -queratina.

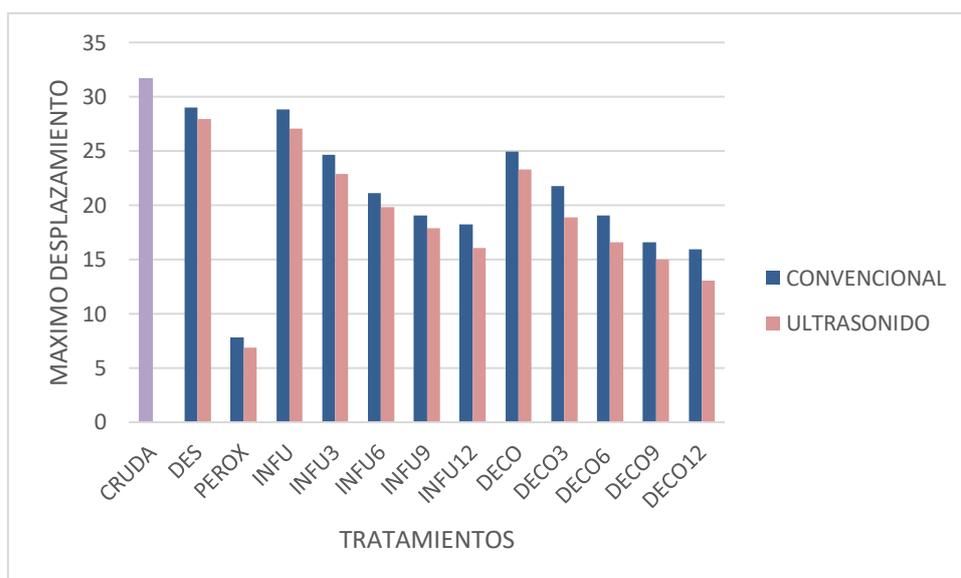
El tratamiento H_2O_2 a 25% (PEROX) presentó una disminución en la fuerza de ruptura. Pyun et al. (2016) mencionan que este agente blanqueador puede causar una degradación significativa de las propiedades mecánicas de la fibra debido a la oxidación de

la queratina. Las aplicaciones de ultrasonido a 37 Hz por 10 minutos a los tratamientos ya descritos mostraron una disminución en la fuerza de ruptura. Czaplicki et al., (2014) mencionan que el escurrido ultrasónico en lana de alpaca permite eliminar impurezas sin causar enredos ni daños estructurales, preservando la resistencia mecánica.

Las fibras tartadas con extracto de ortiga mostraron mayor fuerza de ruptura en comparación con los tratamientos (PEROX). Pravana et al. (2017) hablan sobre los extractos de ortiga que no rompen los enlaces de manera efectiva, teniendo así una mayor fuerza de ruptura en la fibra de alpaca. De acuerdo con Czyż et al. (2024) mencionan sobre los tratamientos de ultrasonido que pueden mejorar la fuerza de ruptura de las fibras que son delicadas, mientras que los métodos convencionales tienen a depender más de la temperatura y estabilidad mecánica.

La figura 19 muestra los valores del máximo desplazamiento (mm) de cada uno de los tratamientos realizados a la fibra de alpaca.

Figura 19
Máximo desplazamiento (mm)



Nota. La figura muestra el máximo desplazamiento (mm) en diferentes tratamientos aplicados en la fibra de alpaca. Los colores representan los tratamientos: morado (cruda), azul (tratamientos convencionales) y rosado (tratamientos por ultrasonido).

Pan et al. (2018) hacen referencia al máximo desplazamiento que corresponde a la distancia total que una fibra puede extenderse antes de romperse en una prueba de tracción, evidenciando la capacidad de deformación sin sufrir daños estructurales.

Análisis

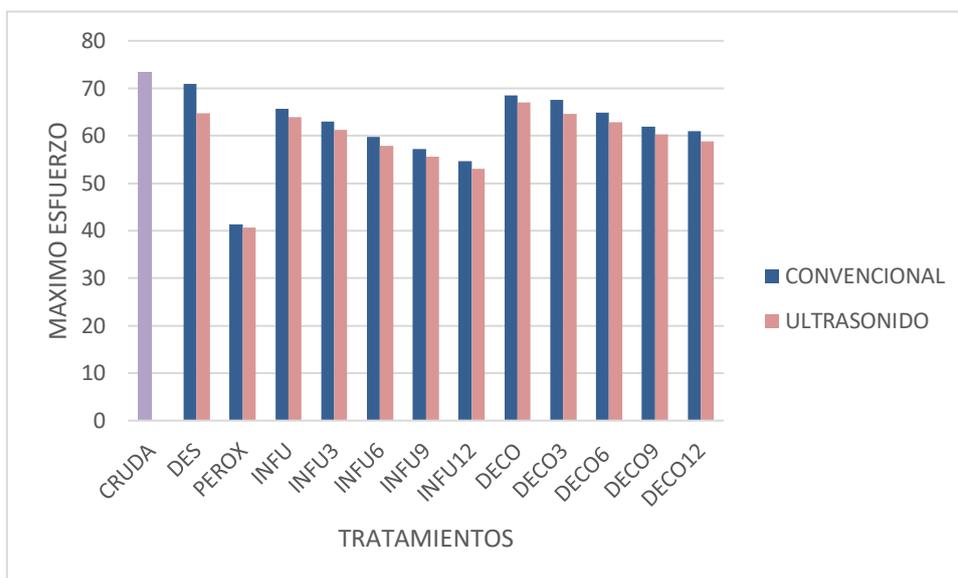
La fibra de alpaca sin tratamiento (CRUDA) presentó el máximo desplazamiento con un valor de (31.68 mm), esto se debe a que la lana tiene impurezas y materia orgánicas (Millington et al., 2017). En cuanto al proceso de desengrase muestra una reducción significativa en contraste con la fibra cruda, esto gracias a la eliminación de impurezas y grasa, las impurezas de la lana actúan como barrera que limita la flexibilidad y la capacidad de elongación de la fibra (Zahn et al., 1969).

El tratamiento donde se utilizó H_2O_2 a 25% presentó una disminución en el máximo desplazamiento en comparación con la fibra cruda y la fibra desengrasada. Chebon et al., (2023) mencionan que su estudio coincide con la práctica habitual en la industria textil de utilizar agentes oxidantes para degradar compuestos orgánicos y aumentar la blancura de las fibras. En el estudio de Montazer et al. (2011) analizaron el efecto del blanqueamiento oxidativo con peróxido de hidrógeno (H_2O_2) en lana iraní y observaron que el método convencional redujo significativamente el máximo desplazamiento de la fibra, como consecuencia de la ruptura de los enlaces disulfuro presentes en la queratina. La aplicación de ultrasonido a 37 Hz por 10 minutos a los tratamientos ya descritos también se mostró una disminución en el máximo desplazamiento. Pan et al. (2018) reportaron que el tratamiento con ultrasonido en medio alcalino no produjo cambios significativos en el desplazamiento máximo bajo condiciones secas; sin embargo, en condiciones húmedas este valor se incrementó notablemente, esto demuestra que el ultrasonido favorece la movilidad molecular al permitir la penetración del agua entre las microfibrillas, lo que disminuye las interacciones intermoleculares y mejora la capacidad de deformación de la fibra antes de su ruptura.

Las fibras tratadas con extracto de ortiga blanca mostraron aumento en el máximo desplazamiento constante con los tratamientos de H_2O_2 al 25%. Este resultado se debe a la acción antioxidante del extracto vegetal, que preserva los enlaces disulfuro de la queratina y evita su deterioro térmico (Aksakal et al., 2009). La aplicación de ultrasonido a 37 Hz por 10 minutos a los tratamientos ya, no produjo variaciones tan significativas en las fibras tratadas (Pan et al., 2018).

La figura 20 muestra los valores del máximo esfuerzo (Mpa) de cada uno de los tratamientos realizados a la fibra de alpaca.

Figura 20
Máximo esfuerzo (Mpa)



Nota. La figura muestra el máximo esfuerzo (Mpa) en diferentes tratamientos aplicados en la fibra de alpaca. Los colores representan los tratamientos: morado (cruda), azul (tratamientos convencionales y rosado (tratamientos por ultrasonido).

Czyż et al. (2025) mencionan que el máximo esfuerzo se define como la presión interna que una fibra puede resistir en el punto de carga más alto previo a su ruptura, calculada considerando su área transversal.

Análisis

La fibra de alpaca sin tratamiento (CRUDA) presentó el máximo esfuerzo (73.52), esto se debe a que la lana tiene impurezas, grasa y materia orgánicas (Millington et al., 2017). En cuanto al proceso de desengrase por el método convencional y ultrasonido mostraron una reducción de este parámetro debido a la eliminación de impurezas y grasas presentes en la fibra. Li et al. (2022) la aplicación de ultrasonido influye en este tratamiento ya que al usar frecuencias ultrasónicas ayuda a la penetración de agentes lo que puede reducir las propiedades mecánicas.

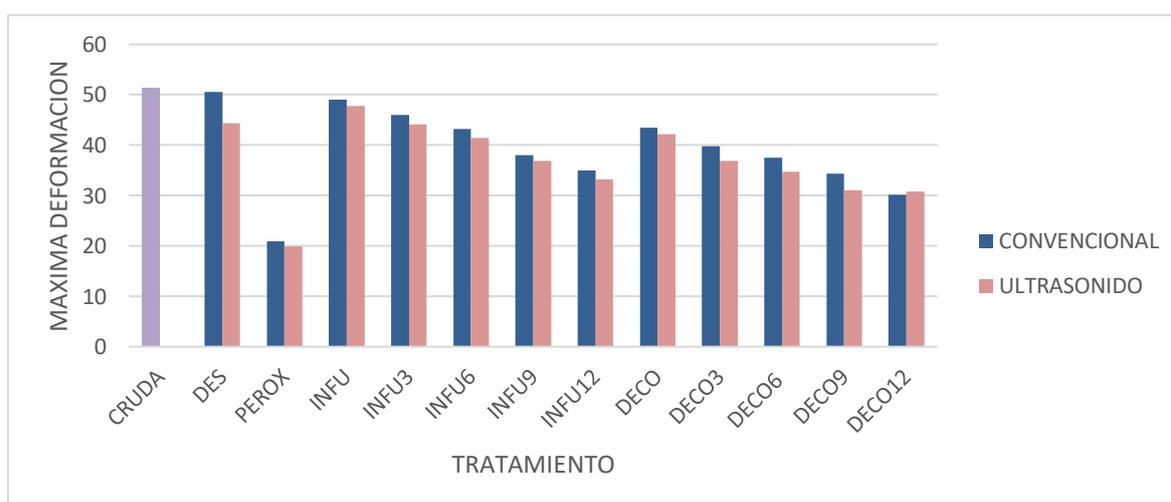
El tratamiento H_2O_2 a 25% presentó una disminución en el máximo desplazamiento en comparación con la fibra cruda y la fibra desengrasada. Las fibras tratadas con extracto de ortiga blanca mostraron aumento en el máximo esfuerzo con respecto a los tratamientos (PEROX). Mientras que los tratamientos que se utilizó H_2O_2 más extracto de ortiga evidenciaron un aumento de la fuerza de ruptura en comparación de con los tratamientos de H_2O_2 al 25%, y una disminución en comparación de los extractos de ortiga sin H_2O_2 . Esto se atribuye al efecto de la ortiga y a la interacción de diversos factores tales, como la temperatura del proceso de blanqueo y las variaciones del pH, dado que valores más altos

de pH pueden intensificar la degradación de las fibras, mientras que valores más bajos tienden a generar un impacto menos agresivo (Riva Juan, 1993).

La aplicación de ultrasonido a 37 Hz por 10 minutos a los tratamientos ya descritos evidencio una disminución en el máximo esfuerzo. Li et al. (2022) mencionan que el ultrasonido provoca una cavitación de reacciones químicas mediante frecuencias ultrasónicas que ayudaron a los tratamientos en fibra de alpaca.

La figura 21 muestra los valores de la máxima deformación (%) de cada uno de los tratamientos realizados a la fibra de alpaca.

Figura 21
Máxima deformación (%)



Nota. La figura muestra la máxima deformación (%) en diferentes tratamientos aplicados en la fibra de alpaca. Los colores representan los tratamientos: morado (cruda), azul (tratamientos convencionales y rosado (tratamientos por ultrasonido).

Jankowska et al. (2021) mencionan que la máxima deformación corresponde al porcentaje de alargamiento que una fibra puede alcanzar antes de fracturarse. En la fibra de alpaca, este valor promedio alrededor de 40 %, lo que demuestra una alta elasticidad y flexibilidad, permitiéndole recuperar su forma original tras ser sometida a esfuerzos mecánicos. Esta característica se relaciona con la disposición helicoidal de las moléculas de queratina y con el nivel de hidratación interna, factores que contribuyen a su resistencia, suavidad y comportamiento elástico.

Análisis

La fibra de alpaca sin tratamiento (CRUDA) presentó la máxima deformación (51.43), esto se debe a que la lana tiene impurezas, grasa y materia orgánicas (Millington et al., 2017). En cuanto al proceso de desengrase muestra una reducción en contraste con la fibra cruda, esto gracias a la eliminación de impurezas y grasa presentes en la fibra,

Lakshmanan. (2022) menciona que la remoción de dichos componentes puede generar una estructura más homogénea y regular, lo que favorece una distribución equilibrada de las tensiones sobre la fibra y, en consecuencia, aumenta su capacidad de deformarse. En cuanto la utilización de ultrasonido a 37 Hz por 10 minutos evidencio una disminución significativa. Li et al. (2022) menciona que la utilización de ultrasonido aporta cavitación lo que ayuda a mejorar los procesos que se realizan a la fibra.

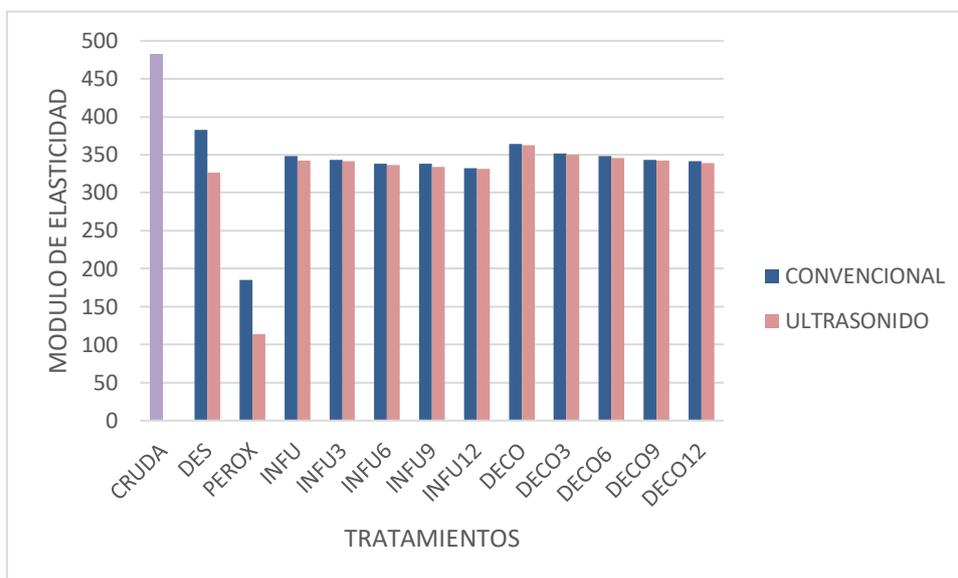
El tratamiento donde se utilizó H₂O₂ a 25% presento una disminución en la máxima deformación en comparación con la fibra cruda y la fibra desengrasada. Pyun et al. (2016) mencionan que el H₂O₂ puede causar una degradación significativa de las propiedades mecánicas de la fibra debido a la oxidación de la queratina. Pan et al. (2018) al aplicar ultrasonido este tratamiento disminuye la máxima deformación, debido a que la cavitación del ultrasonido ayuda a la compactación del agente blanqueador.

Las fibras tratadas con extracto de ortiga blanca mostraron aumento en el máximo esfuerzo contraste con los tratamientos de H₂O₂ al 25%. Riva Juan. (1993) estudió el efecto del extracto acuoso de ortiga como agente desengrasante, este comportamiento se atribuye a la acción antioxidante del extracto, que protege los enlaces disulfuro de la queratina y evita su degradación térmica. La utilización de ultrasonido a 37 Hz por 10 minutos evidencio una disminución con respecto a la máxima deformación. La utilización de ultrasonido favorece la movilidad molecular y mejora la deformidad de la fibra sin afectar su resistencia (Pan et al., 2018).

Mientras que los tratamientos que se utilizó H₂O₂ mas extracto de ortiga evidenciaron un aumento la máxima deformación en comparación de (PEROX), y una disminución en comparación de los extractos de ortiga sin H₂O₂. Riva Juan. (1993) menciona que esto se atribuye a los antioxidantes presentes en la ortiga lo que evita la degradación térmica. La utilización de ultrasonido a 37 Hz por 10 minutos evidencio una disminución en la máxima deformación, en comparación con los tratamientos convencional. Pan et al. (2018) mencionan que el impacto del escurrido ultrasónico en fibras de lana Merino tratadas en medio alcalino con peróxido de hidrógeno, donde las fibras sometidas a ultrasonido a una frecuencia de 45 kHz presentaron una disminución en la máxima deformación promedio.

La figura 22 muestra los valores del módulo de elasticidad (Mpa) de cada uno de los tratamientos realizados a la fibra de alpaca.

Figura 22
Módulo de elasticidad



Nota. La figura muestra en el módulo de elasticidad en diferentes tratamientos aplicados en la fibra de alpaca. Los colores representan los tratamientos: morado (cruda), azul (tratamientos convencionales y rosado (tratamientos por ultrasonido).

El módulo de elasticidad descrito por Jankowska et al. (2021) mencionan la representación de la relación entre la tensión aplicada y la deformación obtenida la cual indica el grado de rigidez de la misma. Este parámetro es necesario para cuantificar la elasticidad de la fibra y tener una respuesta ante el esfuerzo mecánico, siendo así un factor importante en la evaluación de la resiliencia y capacidad de recuperación durante los procesos textiles.

Análisis

La fibra de alpaca sin tratamiento (CRUDA) presentó el módulo de elasticidad es más alto (482.40), esto se debe a que la lana tiene impurezas, grasa y materia orgánicas (Millington et al., 2017). En cuanto al proceso de desengrase muestra una reducción en contraste con la fibra cruda, esto gracias a la eliminación de impurezas y grasa presentes en la fibra. La elasticidad tiende a disminuir debido a que existe un desgaste de la fibra el cual es afectado por la temperatura (Lakshmanan, 2022).

El tratamiento donde se utilizó H_2O_2 a 25% presentó una disminución en el módulo de elasticidad. Jankowska et al. (2021) mencionan que esto se debe a que el H_2O_2 es agente oxidante y afecta la estructura de la fibra. Al aplicar ultra sonido se evidencia una disminución significativa gracias a la cavitación que este presenta, donde las frecuencias ultrasónicas ayudan a compactar los agentes blanqueadores (Pan et al., 2018).

Las fibras tratadas con extracto de ortiga blanca mostraron aumento en el máximo esfuerzo contraste con los tratamientos de H₂O₂ al 25%. Mientras que los tratamientos que se utilizó H₂O₂ mas extracto de ortiga evidenciaron un aumento de la fuerza de ruptura en comparación con los tratamientos de H₂O₂ al 25%, y una disminución en comparación de los extractos de ortiga sin H₂O₂. Chebon et al. (2023)mencionan que este comportamiento sugiere que compuestos naturales presentes en el extracto de ortiga, podrían desempeñar un papel protector frente a la ruptura de enlaces moleculares, especialmente los disulfuro. La utilización de ultrasonido a 37 Hz por 10 minutos evidencio una disminución en el módulo de elasticidad. Pan et al. (2018) mencionan que el ultrasonido en medio alcalino mostró un mayor módulo de elasticidad y una ligera reducción en la tensión de ruptura, indicando una menor rigidez estructural.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La aplicación de ultrasonido demostró ser un método altamente eficiente para aumentar el desengrase y el blanqueamiento de la fibra de alpaca, logrando una mayor reducción del índice de amarillez (IA) y un incremento significativo del índice de blancura (IB) en comparación con métodos convencionales. Esto se debe al fenómeno de cavitación, que facilita una eliminación profunda de impurezas y pigmentos para mejorar la penetración de los agentes blanqueadores. Sin embargo, su acción también aumentó la exposición de la fibra a los agentes oxidantes, lo que generó una disminución ligera de algunas propiedades físico-mecánicas respecto a la fibra cruda.
- La comparación entre los métodos desarrollados evidenció que el ultrasonido supera al método convencional, logrando así un incremento en el índice de blancura y una disminución en el índice de amarillez, por otro lado, la aplicación del extracto de ortiga blanca resulta ser un aporte fundamental, disminuyendo el deterioro causado por el peróxido de hidrógeno protegiendo los enlaces de disulfuro gracias a los antioxidantes. Los tratamientos combinados con peróxido de hidrógeno más el extracto de ortiga muestran mejores valores en la fuerza de ruptura y resistencia alcalina que los tratamientos solo con peróxido de hidrógeno, lo que da a conocer que el extracto vegetal actúa como agente blanqueador mínimo, esencialmente cuando se utiliza ultrasonido.
- La aplicación de ultrasonido produjo una disminución en los parámetros físico-mecánicos debido a que la cavitación aumenta, la acción de los agentes químicos acelerando la ruptura de enlaces en la estructura de la queratina. Cuando se aplicó ultrasonido al extracto de ortiga blanca el deterioro mecánico se redujo, evidenciando que la ortiga actúa como un agente protector que neutraliza radicales libres y preserva la integridad de la fibra. Esto evidencia que la utilización del ultrasonido puede debilitar la fibra, pero la misma puede equilibrarse mediante el uso de extractos naturales.
- El estudio demostró que la aplicación de ultrasonido en los procesos de desengrase y blanqueamiento de la fibra mejora la eficiencia del blanqueamiento reduciendo el índice de amarillez y aumentando el índice de blancura gracias al efecto de cavitación, aunque puede generar deterioro mecánico. La adición del extracto de ortiga blanca contribuyó a la disminución del daño estructural debido a los compuestos antioxidantes logrando que el tratamiento sea equilibrado y menos agresivo que el uso exclusivo de peróxido de hidrógeno. La combinación del ultrasonido con extracto de ortiga se consolidó como una alternativa más eficiente y sostenible para mejorar las propiedades ópticas y preservar las propiedades físico-mecánicas.

5.2 RECOMENDACIONES

De acuerdo con la investigación realizada se sugiere las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda una estandarización de parámetros como temperatura, tiempo y pH para garantizar resultados consistentes en el blanqueamiento de la fibra.
- Comparar los tratamientos combinados tanto convencional y por ultrasonido evaluando costos y viabilidad técnica al aplicar en la industria textil.
- Realizar un estudio sobre los efluentes generados en el proceso para proponer un tratamiento adecuado y asegurar un proceso sostenible y amigable con el medio ambiente.
- Evaluar costo-beneficio de la utilización del extracto de ortiga blanca más peróxido de hidrógeno, considerando la disponibilidad y el impacto económico de la misma.

BIBLIOGRAFÍA

- Ã, T. G. L. (2007). *What is ultrasound?* 93, 3–83. <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2006.07.026>
- Aguilar calla, M. (2012). *Programa Regional Sur*. <http://www.descosur.org.pe/wp-content/uploads/2014/12/Manual009.pdf>
- 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>
- Aluigi, A., Tonetti, C., Rombaldoni, F., Puglia, D., Fortunati, E., Armentano, I., Santulli, C., Torre, L., & Kenny, J. M. (2014). Keratins extracted from Merino wool and Brown Alpaca fibres as potential fillers for PLLA-based biocomposites. *Journal of Materials Science*, 49(18), 6257–6269. <https://doi.org/10.1007/s10853-014-8350-9>
- American Society for Testing and Materials. (2005). Standard Practice for Calculating Yellowness and Whiteness Indices from Instrumentally Measured Color Coordinates (E313-05). *Astm*, 0–4. <https://doi.org/10.1520/E0313-20.2>
- Apaza, J. M., Canaza Cayo, A. W., Viveros, W. Y., Guerra, U. H. P., & Huanca, F. H. R. (2022). Characteristics of alpaca fibre in the dry agroecological zone in the Peruvian highlands. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Peru*, 33(6), 1–9. <https://doi.org/10.15381/RIVEP.V33I6.22401>
- 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). 2—The competitive addition reaction of dehydroalanine residues formed during the alkaline degradation of wool cystine. *Journal of the Textile Institute*, 64(1), 10–20. <https://doi.org/10.1080/00405007308630415>
- Autor, V., Bryan, A., Tutor, D., & Chicaiza, L. A. (2024). *No Title*.
- Basu, G., & Roy, A. N. (2007). Blending of jute with different natural fibres. *Journal of Natural Fibers*, 4(4), 13–29. <https://doi.org/10.1080/15440470801893323>
- 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>
- Bouagga, T., Harizi, T., Sakli, F., & Zoccola, M. (2020). Correlation between the mechanical behavior and chemical, physical and thermal characteristics of wool: a study on Tunisian wool. *Journal of Natural Fibers*, 17(1), 28–40.

- <https://doi.org/10.1080/15440478.2018.1461727>
- Calderón Ch, A., Barriga, B., Alencastre, J., Tafur, J. C., Ccarita, A., Rojas, D., & Gómez-Amador. (2022). Optimal analysis of the cleaning process by ultrasonic system of vicuña wool. *South Florida Journal of Development*, 3(1), 1074–1084. <https://doi.org/10.46932/sfjdv3n1-082>
- Chebon, S. K., Wanyonyi, W. C., Onyari, J. M., Maru, S. M., & Mulaa, F. J. (2023). Enzymatic dehairing of sheep skin: Recovery and characterization of commercially important wool hydrolysate and fats. *European Journal of Sustainable Development Research*, 7(4). <https://doi.org/10.29333/ejosdr/13501>
- Comision de Normalizacion y de Fiscalizacion de Barreras Comerciales no Arancelarias INDECOPI. (2014). *Norma Tecnica Peruana, Fibra de alpaca clasificada*. 1–8. www.indecopi.gob.pe
- Cruz, A., Yucra, A., Gutiérrez, G. A., Burgos, A., Morante, R., Gutiérrez, J. P., Cervantes, I., & Wurzinger, M. (2021). Colorimetry analysis of coat color and its relationship with fiber traits in alpacas. *Animal*, 15(5), 100219. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100219>
- Czaplicki, Z., & Ruszkowski, K. (2014). Optimization of Scouring Alpaca Wool by Ultrasonic Technique. *Journal of Natural Fibers*, 11(2), 169–183. <https://doi.org/10.1080/15440478.2013.864577>
- Czyż, K., Wyrostek, A., Smoliński, J., Kondracka, N., & Pietrzyńska, M. (2025). Selected Parameters of Huacaya Alpacas Fibers and Olkaska Sheep Wool. *Journal of Natural Fibers*, 22(1). <https://doi.org/10.1080/15440478.2024.2436075>
- Czyż, K., Wyrostek, A., Wojdon, A., & Jankowska, D. (2024). Selected Physical and Mechanical Properties of Alpaca Fibers Differing in Color. *Journal of Natural Fibers*, 21(1), 1–9. <https://doi.org/10.1080/15440478.2024.2348626>
- Ealias, A. M., & Saravanakumar, M. P. (2019). Technology A critical review on ultrasonic-assisted dye adsorption: Mass transfer, half-life and half-capacity concentration approach with future industrial perspectives. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 0(0), 1–57. <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1601488>
- Erdoğan, M. Ü., & Karaboyaci, M. (2021). 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>
- Gürkan Ünal, P., Atav, R., Ilarslan, S., & Berkhan Kastaci, B. (2019). The effect of using alpaca and silk instead of wool in weft yarns on the woollen fabric properties. *Journal of Natural Fibers*, 16(7), 1043–1054. <https://doi.org/10.1080/15440478.2018.1448319>
- 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>
- Hasdiana, U. (2018). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title. *Analytical Biochemistry*, 11(1), 1–5. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-59379-1%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-420070-8.00002->

- 7%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.ab.2015.03.024%0Ahttps://doi.org/10.1080/07352689.2018.1441103%0Ahttp://www.chile.bmw-motorrad.cl/sync/showroom/lam/es/
- Hassan, M. M., & Shao, J. (2015). Chemical processing of wool: Sustainability considerations. *Key Engineering Materials*, 671, 32–39. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.671.32>
- 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>
- Ibrahim, M., & Duran, K. (2013). *A study on the usability of ultrasound in scouring of raw wool*. 41. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.09.009>
- Jankowska, D., Wyrostek, A., Patkowska–Sokoła, B., & Czyż, K. (2021). Comparison of Physico-mechanical Properties of Fibre and Yarn Made of Alpaca, Sheep, and Goat Wool. *Journal of Natural Fibers*, 18(10), 1512–1517. <https://doi.org/10.1080/15440478.2019.1691126>
- Joselyn, F. (2024). *Biodegradable Compounds and Calcium Carbonate*. 3(1), 52–68. investigacion.utc.edu.ec/index.php/RENPPYS/article/view/626/864
- Kelayeh, T. P. S., Abedinzade, M., & Ghorbani, A. (2018). A review on biological effects of *Lamium album* (white dead nettle) and its components. *Journal of HerbMed Pharmacology*, 8(3), 185–193. <https://doi.org/10.15171/jhp.2019.28>
- Lakshmanan, A. (2022). Physical and chemical properties of wool fibers. *Wool Fiber Reinforced Polymer Composites*, August, 49–71. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824056-4.00011-X>
- Li, Q., Wei, Z., Li, M., Li, S., Ni, L., Quan, H., & Zhou, Y. (2022). An efficient ultrasonic-assisted bleaching strategy customized for yak hair triggered by melanin-targeted Fenton reaction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 86(April), 106020. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106020>
- Ligor, M., Kielbasa, A., Ratiu, I. A., & Buszewski, B. (2021). Separation and quantification of selected sapogenins extracted from nettle, white dead-nettle, common soapwort and washnut. *Molecules*, 26(24). <https://doi.org/10.3390/molecules26247705>
- Liu, X., Hurren, C. J., & Wang, X. (2003). Comparative analysis of two selective bleaching methods on Alpaca fibers. *Fibers and Polymers*, 4(3), 124–128. <https://doi.org/10.1007/bf02875459>
- Lógico, D. E. L. P., Crítico, C. Y., & Estudiantes, E. N. L. O. S. (2019). *Septiembre, 2019*. 1–3.
- Millington, K. R., & Rippon, J. A. (2017). Wool as a high-performance fiber. In *Structure and Properties of High-Performance Fibers*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100550-7.00014-0>
- Montazer, M., Lessan, F., Pajootan, E., & Dadashian, F. (2011). Treatment of bleached wool with trans-glutaminases to enhance tensile strength, whiteness, and alkali resistance. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 165(2), 748–759. <https://doi.org/10.1007/s12010-011-9293-0>
- Ochkur, O., Kovaleva, A., Goncharov, O., & Komisarenko, A. (2015). The Pharma Innovation Journal 2015; 4(3): 45-48 Amino acids and monosaccharides composition

- of white dead-nettle (*Lamium album* L.) herb extract. *Tpi*, 4(3), 45–48. www.thepharmajournal.com
- Pan, Y., Hurren, C. J., & Li, Q. (2018). Effect of sonochemical scouring on the surface morphologies, mechanical properties, and dyeing abilities of wool fibres. *Ultrasonics Sonochemistry*, 41(June 2017), 227–233. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.09.045>
- Pariona, J. (2017). Rendimientos de categorización y clasificación de fibra de alpaca (Vicugna pacos). *Universidad Nacional Agraria La Molina Escuela De Posgrado Maestría En Producción Animal*, 81. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2910>
- Poojar, B., Ommurugan, B., Adiga, S., Thomas, H., Sori, R. K., Poojar, B., Hodlur, N., Tilak, A., Korde, R., Gandigawad, P., In, M., Sleep, R., Albino, D., Rats, W., Article, O., Schedule, P., Injury, C. C., Sori, R. K., Poojar, B., ... Gandigawad, P. (2017). Methodology Used in the Study. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 7(10), 1–5. <https://doi.org/10.4103/jpbs.JPBS>
- Pravana, N. K., Piryani, S., Chaurasiya, S. P., Kawan, R., Thapa, R. K., Shrestha, S., Brouwer, I. D., Jager, I. de, Borgonjen, K., Azupogo, F., Rooij, M., Folson, G., Abizari, R., Frempong, R. B., Annim, S. K., Boah, M., Azupogo, F., Amporfro, D. A., Abada, L. A., ... WHO. (2017). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title. *Development Studies Research*, 3(1), 43. <http://doi.org/10.1080/16070658.2018.1448503%0Awww.udsspace.uds.edu.gh%0Ahttps://doi.org/10.1080/20469047.2017.1409453%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2017.e00298%0Ahttp://www.gainhealth.org/wp-content/uploads/2018/03/Ghana-Development-of-Food-based>
- Pyun, J. H., Shin, T. B., Lee, J. H., Ahn, K. M., Kim, T. H., & Cha, H. S. (2016). Effects of hydrogen peroxide pretreatment and heat activation of silane on the shear bond strength of fiber-reinforced composite posts to resin cement. *Journal of Advanced Prosthodontics*, 8(2), 94–100. <https://doi.org/10.4047/jap.2016.8.2.94>
- Qian, J., Zhao, F., Gao, J., Qu, L. J., He, Z., & Yi, S. (2021). Characterization of the structural and dynamic changes of cell wall obtained by ultrasound-water and ultrasound-alkali treatments. *Ultrasonics Sonochemistry*, 77(March), 105672. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105672>
- Quispe, E. C., Rodríguez, T. C., Iñiguez, L. R., & Mueller, J. P. (2009). Producción de fibra de alpaca, llama, vicuña y guanaco en Sudamérica. *Animal Genetic Resources Information*, 45, 1–14. <https://doi.org/10.1017/s1014233909990277>
- Riva Juan, A. (1993). Tratamientos de la lana en medio acuoso: problemas generales y parámetros a controlar. *Boletín Del Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial*, 103, 57–62. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099/6359>
- Sulborska, A., Konarska, A., Matysik-Woźniak, A., Dmitruk, M., Weryszko-Chmielewska, E., Skalska-Kamińska, A., & Rejdak, R. (2020). Phenolic Constituents of *Lamium album* L. subsp. *album* Flowers: Anatomical, Histochemical, and Phytochemical Study. *Molecules*, 25(24). <https://doi.org/10.3390/MOLECULES25246025>
- Yeo, W. S., & Lau, W. J. (2021). Predicting the whiteness index of cotton fabric with a least

- squares model. *Cellulose*, 28(13), 8841–8854. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04096-y>
- Yordanova, Z. P., Zhiponova, M. K., Iakimova, E. T., Dimitrova, M. A., & Kapchina-Toteva, V. M. (2014). Revealing the reviving secret of the white dead nettle (*Lamium album* L.). *Phytochemistry Reviews*, 13(2), 375–389. <https://doi.org/10.1007/s11101-014-9356-2>
- Zahn, H., Henning, H.-J., & Blankenburg, G. (1969). *Elementos técnicos para las tolerancias de algunas características químicas de las lanas lavadas y carbonizadas*. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/5924/Article02.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Fibra de alpaca (*Vicugna pacos*)

Clasificación de la lana



Pesado de la fibra



Anexo 2. Acondicionamiento de la ortiga blanca (*Lamium album*)

Lavado de la ortiga blanca



Pesar la ortiga blanca



Extracto de ortiga por infusión y decocción



Anexo 3. Desengrasado de la fibra

Pesar Na_2CO_3



Desengrasado convencional



Desengrasado por ultrasonido



Secado de la fibra

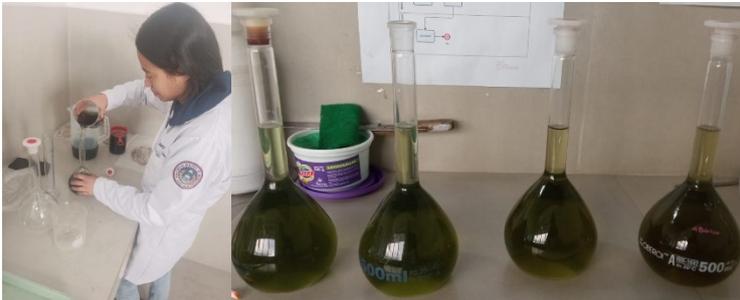


Anexo 4. Blanqueamiento de la fibra de alpaca

Preparación de H₂O₂



Preparar las soluciones de H₂O₂ mas ortiga blanca por infusión y decocción



Blanqueamiento convencional de la fibra



Blanqueamiento convencional de la fibra



Secado de la fibra



Anexo 5. Resistencia a la alcalinidad

Muestras pesadas



Muestras en la estufa



Baño en hidróxido de sodio 0.1N



Secado de las muestras



Anexo 6. Medición de las propiedades físico mecánicas

