UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE TEXTILES

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA TEXTIL

Tema:

"Efecto del hidróxido de sodio en la resistencia a la tracción del hilo de alpaca bajo diferentes tiempos y temperaturas de exposición"

AUTOR: Silvana Jaqueline Carvajal Ayala

DIRECTOR: MSc. Darwin José Esparza Encalada

Ibarra, Ecuador

2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En el cumplimiento del Art. 144 de la Ley Orgánica Superior, hago entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Carvajal Ayala Silvana Jaqueline

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"Efecto del hidróxido de sodio en la resistencia a la tracción del hilo de alpaca bajo diferentes tiempos y temperaturas de exposición"
AUTOR:	Carvajal Ayala Silvana Jaqueline
FECHA:	9 de septiembre de 2026

SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	■ PREGRADO ☐ POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERA TEXTIL
DIRECTOR:	MSc. Darwin José Esparza Encalada

2. CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se desarrolló, sin violar derechos de autores de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es titular de los derechos patrimoniales por lo que se asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por terceros.

Ibarra, a los 9 días del mes de septiembre de 2026.

Autor (a).

Firma: .....

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
SILVANA JAQUELINE CARVAJAL AYALA

Nombre: Carvajal Ayala Silvana Jaqueline

C.I. 100373149-2

CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 9 de septiembre de 2026.

MSc. Darwin José Esparza Encalada

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
DARWIN JOSE ESPARZA ENCALADA

(f): ----------

MSc. Darwin José Esparza Encalada

C.C.: 1001584570

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El comité calificador del trabajo de Integración Curricular **"Efecto del hidróxido de sodio en la resistencia a la tracción del hilo de alpaca bajo diferentes tiempos y temperaturas de exposición",** elaborado por Carvajal Ayala Silvana Jaqueline, previo a la obtención de título de Ingeniera Textil, aprueba el siguiente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
DARWIN JOSE ESPARZA ENCALADA

(f): ----------

MSc. Darwin José Esparza Encalada

C.C.: 1001584570

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
WILSON ADRIAN HERRERA VILLARREAL

(f): ----------

MSc. Wilson Adrián Herrera Villarreal

C.C.: 1002868048

DEDICATORIA

En memoria de mi madre, Gloria Usulay Ayala Narváez, cuya guía amorosa y constante me impulsó siempre a continuar con mi formación académica, a sostener con firmeza mis valores y a mantenerme fuerte ante cada obstáculo que la vida ha puesto en mi camino, y de mi hermano, Mauricio Xavier Carvajal Ayala, quien, con su ejemplo de perseverancia, me enseñó que el esfuerzo continuo es la clave para alcanzar las metas y hacer realidad los sueños.

Silvana Carvajal

AGRADECIMIENTO

Primeramente, le doy gracias a Dios por brindarme salud, fortaleza, perseverancia y resiliencia para poder culminar esta etapa de mi formación académica.

Expreso mi más sincero agradecimiento a mi director de trabajo de grado, por su orientación, paciencia, disposición y acompañamiento continuo durante el desarrollo de este trabajo de investigación, los cuales fueron cruciales para su correcta ejecución.

De igual manera, agradezco a mis estimados docentes de la Carrera de Textiles, quienes a lo largo de mi formación contribuyeron no solo con su enseñanza y experiencia profesional, sino que también supieron brindarme amistad, empatía y excelentes consejos que me seguirán a lo largo de mi existencia.

Un agradecimiento especial a mi familia, por todo su apoyo incondicional, motivación constante y confianza depositada en mi persona a lo largo de este trayecto.

Finalmente agradezco a mis amigos y compañeros, quienes contribuyeron de manera directa e indirecta durante el desarrollo de esta investigación.

Silvana Carvajal

RESUMEN

El uso de fibras queratínicas dentro de la industria textil ha sido un pilar fundamental para el desarrollo y avance de la industria a lo largo de los años. Por esta razón, la presente investigación surge con el objetivo de determinar el efecto producido por el hidróxido de sodio en la resistencia a la tracción del hilo de alpaca bajo diferentes tiempos y temperaturas de exposición, evaluadas con la norma NTE INEN ISO 2062:2009 en hilo de alpaca 100%, mediante un proceso por agotamiento en una disolución de hidróxido de sodio (NaOH) ajustada a pH 9. La metodología que se utilizó fue una investigación experimental. Para lo cual, se consideró un total de 25 muestras de hilo de alpaca 1,1 Nm provenientes de un mismo cono de hilo; estas muestras fueron tratadas a un proceso por agotamiento contemplando tiempos de inmersión de 20, 25, 30, 35 y 40 minutos a temperaturas de 35, 45, 55, 65 y 75 °C; los equipos empleados para llevar a cabo el ensayo fueron: máquina de tintura de laboratorio de vaivén y el equipo dinamómetro TITÁN 5. Los resultados obtenidos evidenciaron una pérdida de resistencia a la tracción promedio de 239,44 cN en todos los tiempos y temperaturas evaluados, presentando un comportamiento irregular respecto a la muestra patrón, alcanzando el valor crítico a 55 °C en la muestra m15 tratada durante 40 minutos, con una pérdida de resistencia a la tracción de 696,25 cN. Por otra parte, la elongación aumentó de 34,67% en la muestra control a 42,66% en promedio después del tratamiento, equivalente a un incremento de 7,99 puntos porcentuales y del 23,06% respecto al valor inicial, registrando el porcentaje más alto en la muestra m3 tratada a 35 °C durante 30 minutos, con una elongación de 49,48%.

Palabras clave: alpaca, exposición, hilo, tracción, elongación.

ABSTRACT

The use of keratinous fibers within the textile industry has been a fundamental pillar for the sector´s development and advancement over the years. For this reason, the present research aimed to determine the effect of sodium hydroxide on the tensile strength of 100% alpaca yarn under different exposure times and temperatures, adhering to the NTE INEN ISO 2062:2009 standard, through an exhaustion process in a sodium hydroxide (NaOH) solution adjusted to pH 9. An experimental research methodology was employed. For this purpose, a total of 25 samples of 1,1 Nm alpaca yarn sourced from the same yarn cone were analyzed. These samples were subjected to an exhaustion process considering immersion times of 20, 25, 30, 35, and 40 minutes at temperatures of 35, 45, 55, 65, and 75 °C. The equipment used to carry out the testing included a reciprocating laboratory dyeing machine and a TITAN 5 tensile tester. The results revealed an overall loss in tensile strength of 239.44 cN across all evaluated times and temperatures, displaying irregular behavior relative to the control sample; a critical loss in tensile strength of 696.25 cN was recorded at 55 °C in sample m15, treated for 40 minutes. Conversely, elongation increased from 34.67% in the control sample to an average of 42.66% after treatment, equivalent to an increase of 7.99 percentage points and 23.06% compared to the initial value, recording the highest percentage in sample m3, treated at 35 °C for 30 minutes, with an elongation of 49.48%

Keywords: alpaca, exposure, yarn, tensile strength, elongation.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I **1**

INTRODUCCIÓN **1**

1.1. Problema **1**

1.1.1. Problema de investigación 1

1.2. Objetivos **3**

1.2.1. Objetivo general 3

1.2.2. Objetivos específicos 3

1.3. Alcance **3**

1.4. Justificación **5**

1.5. Características del sitio del proyecto **5**

CAPÍTULO II **7**

ESTADO DE ARTE **7**

2.1. Estudios previos **7**

2.2. Marco legal **11**

2.2.1. Constitución de la República del Ecuador 11

2.2.2. Líneas de investigación de la Universidad Técnica del Norte 12

2.3. Marco conceptual **13**

2.3.1. Alpaca **13**

2.3.2. Resistencia a la rotura de la fibra de alpaca 15

2.3.3. Parámetros de Hilatura 16

2.3.3.1. Título 16

2.3.3.2. Torsión 17

2.3.4. Hidróxido de sodio (NaOH) **18**

2.3.4.1. Propiedades químicas del NaOH 18

2.3.5. Reacciones químicas con la queratina **19**

2.3.6. Tracción y resistencia a la tracción **20**

CAPÍTULO III **21**

METODOLOGÍA **21**

3.1. Tipos de investigación **21**

3.1.2. Investigación Experimental 21

3.2. Técnicas e instrumentos de investigación **22**

3.3. Diseño experimental **22**

3.4. Población y muestra **22**

3.5. Normas de referencia **23**

3.6. Flujogramas **24**

3.6.1. Flujograma General 24

3.6.2. Flujograma muestral 25

3.7. Equipos y materiales **27**

3.7.1. Materiales 27

3.7.2. Equipos 30

3.8. Procedimiento **33**

3.8.1. Proceso por agotamiento 33

3.9. Pruebas de laboratorio 35

CAPÍTULO IV 37

RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 37

4.1. Resultados 38

4.2. Resistencia a la tracción 38

4.2.1. Datos de la resistencia a la tracción de los hilos de alpaca expuestos a hidróxido de sodio a diferentes tiempos y temperaturas previamente definidos 38

4.3. Tablas de resultados. 41

4.3.1. Análisis de confiabilidad de los datos 42

4.4. Discusión de resultados. 48

4.4.1. Análisis de los datos de resistencia a la tracción de los especímenes 49

4.4.2. Análisis de los datos de la elongación de los especímenes 51

4.4.3. Análisis general del experimento de resistencia a la tracción en el que consta: resistencia a la tracción y elongación 54

CAPÍTULO V 57

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 57

5.1. Conclusiones. 57

5.2. Recomendaciones 59

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 61

ANEXOS 66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Elongación y resistencia máxima previa a la rotura de fibras de alpaca 16

Tabla 2 Propiedades físicas y químicas del NaOH 19

Tabla 3 Especificaciones técnicas de la máquina de tintura abierta Vaivén) 31

Tabla 4 Especificaciones del Dinamómetro Titán 5 de James Heal 32

Tabla 5 Peso de las muestras a tratar 39

Tabla 6 Ficha técnica para la evaluación de resistencia a la tracción del cono de hilo con título 1,1 Nm..... 40

Tabla 7 Resultados de evaluación de la resistencia a la tracción 100% 41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación laboratorio CTEX..... 6

Figura 2 Estructura medular de la fibra de alpaca 15

Figura 3 Flujograma General..... 25

Figura 4 Flujograma Muestral 25

Figura 5 Cono de Hilo de Alpaca 27

Figura 6 Sosa cáustica en escamas 28

Figura 7 Agua grado 3 29

Figura 8 Papel medidor de pH/ papel pH 30

Figura 9 Máquina de tintura abierta (vaivén) 31

Figura 10 Dinamómetro Titán 5 del Laboratorio de la Carrera de Textiles 33

Figura 11 Prueba de normalidad de datos con ANOVA– Resistencia a la tracción..... 43

Figura 12 Prueba de normalidad de datos - Elongación 44

Figura 13 Valores estadísticos – resistencia a la tracción..... 45

Figura 14 Valores estadísticos – Elongación..... 47

Figura 15 Resistencia a la tracción del hilo de alpaca en función de la temperatura 49

Figura 16 Resistencia a la tracción del hilo de alpaca en función del tiempo 50

Figura 17 Elongación del hilo de alpaca en función de la temperatura..... 52

Figura 18 Elongación del hilo de alpaca en función del tiempo..... 53

Figura 19 Resistencia a la tracción promedio del hilo de alpaca a diferentes temperaturas..... 54

Figura 20 Elongación promedio del hilo de alpaca a diferentes temperaturas 55

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Ficha técnica del hidróxido de sodio (NaOH) 66

Anexo 2 Toma de muestras 67

Anexo 3 Preparación de la disolución de sosa cáustica..... 67

Anexo 4 Programación de la máquina de tintura por oscilamiento..... 68

Anexo 5 Colocación tanto de la muestra como de la disolución en el matraz 69

Anexo 6 Inmersión de los matraces en la máquina de tintura de vaivén..... 69

Anexo 7 Secado de los especímenes 70

Anexo 8 Ensayos en el equipo dinamómetro TITÁN 5 70

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Problema

1.1.1. Problema de investigación

Las alpacas, a diferencia de otros animales utilizados en la industria textil, ejercen un pastoreo menos agresivo sobre los suelos debido a su anatomía diseñada para páramos; sus patas poseen una especie de almohadillas que impiden que la tierra se compacte permitiendo que ingrese de mejor manera agua a suelo manteniendo el ecosistema; además, requieren menos agua y emiten menos gases de efecto invernadero (Adrián, 2019). Por estas razones, la fibra de alpaca es idónea para las tendencias globales hacia una industria textil más responsable y ecológica.

La fibra de alpaca figura como un insumo estratégico para la industria textil, esto es debido al alto valor agregado proveniente de sus propiedades físicas, mecánicas, estéticas y sostenibles (Larios et al., 2023). En este sentido, Quispe et al. (2021) argumentan que características tales como la resistencia térmica y la tracción, sumadas a poseer un bajo peso específico, optimizan la durabilidad y la capacidad aislante de la fibra de alpaca. Estas propiedades resultan ser cruciales para el desarrollo de prendas técnicas de alta montaña, deportes al aire libre y los mercados de climas fríos, consolidando su competitividad dentro del sector comercial e industrial frente a otros materiales textiles.

Cegarra (2007) en su estudio, señala que la aplicación de procedimientos realizados con sosa cáustica no es recomendable para fibras proteínicas; esto se debe principalmente a que la sobreexposición puede desencadenar en una degradación severa, llegando incluso a tener daños irreversibles en su estructura. Asimismo, el autor manifiesta que los tratamientos previos a la exposición de las fibras de lana incrementan la susceptibilidad frente a la acción directa del hidróxido de sodio (NaOH) como agente básico. Es decir, el daño de las fibras animales en medios alcalinos no es absoluto, sino que este depende de variables operativas tales como la

concentración, el pH, el tiempo de exposición y la temperatura, produciéndose el daño más pronunciado si el sustrato ha sido sometido a otros procesos previos con agentes básicos.

Sepúlveda et al. (2020) sostienen que el deterioro originado por la sosa cáustica y otros auxiliares alcalinos radica, en parte, en la presencia de la cistina. Este aminoácido, un dímero de cisteína unido por un enlace disulfuro, es el responsable directo de proveer estabilidad estructural y resistencia mecánica a la fibra. La cistina reacciona frente a medios básicos como el NaOH, así como ante auxiliares blanqueadores y agentes antienfieltrantes, los cuales fracturan total o parcialmente dicho enlace disulfuro (p. 294). En otras palabras, el incremento de la concentración del álcali, la temperatura o el tiempo de exposición puede disminuir la resistencia del hilado.

Para maximizar el aprovechamiento industrial y optimizar el desempeño en procesos de acabado o modificación fisicoquímica de la fibra de alpaca y otros sustratos, resulta indispensable comprender su comportamiento bajo condiciones controladas. Es precisamente en esta necesidad de caracterizar sus respuestas estructurales y mecánicas ante dichos tratamientos en medios alcalinos, en especial con sosa cáustica, donde se sitúa la presente investigación.

Con la finalidad de evaluar el efecto ejercido por el hidróxido de sodio sobre hilos de alpaca pura en las propiedades mecánicas, se realizarán ensayos de resistencia a la tracción, para lo cual es necesario emplear el equipo dinamómetro Titán 5 con su software de registro TestWise™ bajo los parámetros de la ISO 2062:2009. Este procedimiento permitió determinar con precisión el impacto del tratamiento químico con sosa cáustica en el sustrato de alpaca y cuantificar el grado de degradación mecánica en función de las condiciones de ensayo (tiempo y temperatura).

Las variables independientes analizadas en la presente investigación son el tiempo de inmersión y la temperatura de exposición, manteniendo constante el pH de la disolución de NaOH aplicada sobre los hilos de alpaca pura. A pesar de las reconocidas prestaciones textiles de esta fibra, existe escasa información sobre la magnitud de la pérdida de resistencia a la tracción provocada por el hidróxido de sodio en combinaciones específicas de tiempo y temperatura. Por lo tanto, este estudio se enfoca en evaluar el comportamiento físico-mecánico del material bajo las condiciones térmicas y temporales seleccionadas, con el fin de identificar las tendencias de

degradación e informar parámetros operativos orientados a mitigar el daño en el procesamiento del hilado.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar el efecto producido por el hidróxido de sodio en la resistencia a la tracción del hilo de alpaca bajo diferentes tiempos y temperaturas de exposición.

1.2.2. Objetivos específicos

- Investigar de fuentes confiables información relevante sobre el efecto del NaOH en hilos de alpaca manteniendo una misma concentración a diferentes tiempos y temperaturas.
- Exponer las muestras de hilos de alpaca a un proceso de agotamiento con hidróxido de sodio a una misma concentración, con diferentes tiempos y temperaturas.
- Determinar la resistencia a la tracción de los hilados tratados acorde a la norma ISO 2062 en el equipo de ensayo TITÁN 5 y el Sistema Operativo TestWise™.
- Analizar y comparar los resultados de resistencia a la tracción obtenidos de las muestras de hilos de alpaca expuestas con hidróxido de sodio, mediante métodos estadísticos.

1.3. Alcance

La finalidad del presente estudio es determinar el efecto del hidróxido de sodio sobre las propiedades mecánicas del hilo de alpaca 100%, mediante la aplicación de diferentes tiempos y temperaturas de exposición en condiciones controladas. En particular, se busca identificar las condiciones de tratamiento que generan variaciones en la resistencia a la tracción y, en consecuencia, la elongación del hilo, con el propósito de establecer su comportamiento frente a la

acción alcalina. Los ensayos se realizarán en los laboratorios de la Carrera de Textiles, utilizando equipos debidamente calibrados que permitan obtener resultados confiables y reproducibles.

Para la realización del presente estudio se emplearán hilados 100% alpaca con título 1,1 Nm, pertenecientes a un mismo lote, los cuales conservan una cantidad constante de torsiones por metro (TPM) y el mismo sentido de torsión. Las muestras se evaluarán inicialmente en estado crudo (sin tratamiento previo) como punto de control. Seguidamente, las muestras serán tratadas en un proceso por agotamiento en una solución de sosa cáustica ajustada a pH 9.

El número de muestras se determinó mediante una matriz cruzada, para lo cual se emplearon 5 temperaturas (35 °C, 45 °C, 55 °C, 65 °C y 75 °C) y cinco tiempos de exposición (20 min, 25 min, 30 min, 35 min y 40 min). Para garantizar la independencia experimental de cada tratamiento, se empleó un número determinado de madejas distintas para cada una de las combinaciones de la matriz, de las cuales se extrajo una cantidad definida de probetas para los ensayos posteriores.

La investigación es del tipo experimental, tal como lo señala Hernández et al. (2014), dado que este tipo de estudio se centra en registrar y detallar el fenómeno que se suscite al manipular de forma intencional de las variables (tiempo y temperatura) y su efecto sobre el hilo de alpaca. Con el fin de obtener resultados precisos y confiables, la investigación se desarrollará siguiendo los lineamientos establecidos por la norma ISO 2062:2009. Para ello, se empleará el equipo de ensayos TITÁN 5 junto con el sistema operativo TestWise™, herramientas que permitirán evaluar de manera rigurosa las propiedades mecánicas de los hilos analizados.

1.4. Justificación

La presente investigación aborda la falta de caracterización sistemática sobre los mecanismos de degradación físico-mecánica de la fibra de alpaca (Vicugna pacos), sometida a tratamientos alcalinos en condiciones térmicas variables. Aunque el potencial comercial de esta fibra ha impulsado su demanda global debido a la sostenibilidad, bajo impacto ambiental e hipoalegernidad, propiedad atribuida a la reducida secreción de lanolina en comparación con la lana (McGregor & Quispe Peña, 2018). Su valor industrial no debe confundirse con la resolución de sus limitaciones técnicas de procesamiento.

A pesar de la extensa literatura sobre la cinética de alteración estructural en queratinas ovinas, existe una brecha de evidencia cuantitativa respecto al comportamiento específico del hilo de alpaca frente al ataque alcalino bajo diferentes tiempos y temperaturas. La ausencia de este comportamiento impide predecir el punto crítico de degradación de la resistencia a la tracción y la elongación, lo que conlleva en la práctica industrial, pérdidas incontroladas de resistencia, una severa pérdida de masa y un deterioro irreversible de la integridad del hilo.

Por lo tanto, esta investigación tiene como finalidad proporcionar información técnico-científica sobre el efecto que produce un medio alcalino, específicamente la sosa cáustica, en hilos de alpaca pura. Los resultados obtenidos del ensayo buscan servir de referencia para aquellas personas y estudiantes que realicen tratamientos en los que intervenga algún agente alcalino, en especial la sosa cáustica, en sustratos provenientes de la alpaca; además de proporcionar información útil para el mantenimiento de los productos para los usuarios que tengan prendas de alpaca. De igual manera, el estudio busca servir como base para una investigación a escala industrial del uso de NaOH en los procesos de tratamiento y manufactura, contribuyendo a la prevención de daños en la materia prima y a favorecer la duración del producto final.

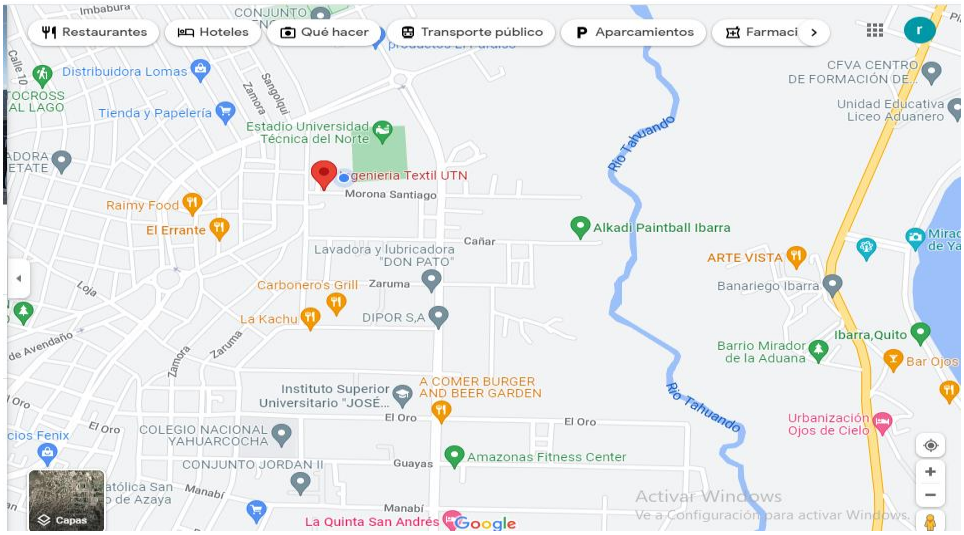
1.5. Características del sitio del proyecto

El proyecto de investigación se desarrollará en su totalidad en la provincia de Imbabura, ciudad de Ibarra, en el campus de la Carrera de Textiles (CTEX) perteneciente a la Universidad Técnica del Norte. En este campus universitario se encuentran los laboratorios equipados con

equipos normalizados necesarios para poder llevar a cabo el tema de estudio previamente señalado. Las instalaciones se sitúan en las coordenadas 0.3782531210228751, -78.12389737777924 tal y como se indica en la **Figura 1.**

Figura 1

Ubicación laboratorio CTEX



Nota: La figura muestra en coordenadas la ubicación del laboratorio de la Planta Textil donde se encuentra las máquinas para los respectivos ensayos a realizarse. **Fuente**: (Google Maps, 2023a).

CAPÍTULO II

ESTADO DE ARTE

2.1. Estudios previos

2.1.1. Alpacas y la tendencia en la moda

Ammayappan et al. (2016) señalan que la industria de la moda de lujo ha mostrado una tendencia creciente por el uso de fibras naturales de origen animal, como por ejemplo las provenientes del yak, vicuña, alpaca y el antílope tibetano; este interés surge debido a la suavidad, brillo y exclusividad que estas fibras aportan a las prendas de gama alta. Regularmente, con fines de optimización de costes de producción y de generar una mayor posibilidad de diseño, tienden a mezclarse con otras fibras naturales como la lana. Al mezclar las fibras se mejora la textura, suavidad, caída y fluidez del tejido y la resistencia de este, generando acabados altamente apetecidos por los diseñadores y coleccionistas de la moda de lujo. Siempre haciendo énfasis en el uso responsable y sostenible.

En otras palabras, el diseño contemporáneo de la moda de lujo está revalorizando las fibras de alpaca, mismas que destacan por su finura y brillo natural. Al combinar estas fibras de camélido con lana, bambú u otras fibras, se le permite al diseñador una mayor creatividad en sus diseños al tener diferentes texturas y características de tejidos. Al mismo tiempo, se facilita la democratización en cuanto al acceso a prendas de alta gama, manteniendo la calidad y exclusividad y, al utilizar este método híbrido, se amplía la percepción estética del producto final.

Es decir, la industria de la moda consolida a las fibras naturales nobles como la alpaca, que han logrado conseguir el protagonismo en las temporadas frías del año, como es el caso de la colección Otoño/Invierno 2024/45. Desde un contexto técnico y estético estas preferencias no vienen únicamente por un motivo cultural y artesanal, sino también a la combinación idónea de características tales como: suavidad, brillo natural, alta capacidad térmica y resistencia claramente perceptible. Su inclusión en conjunto con fibras como mohair, cachemira y lana reafirma su estatus como materia prima de alta calidad.

2.1.2. Efecto de los álcalis en las fibras proteicas

José Cegarra (2007) cita a Harris y Smith, quienes propusieron la prueba de relación de la solubilidad de la lana en sosa cáustica utilizando 0,1 g/L a una temperatura de 65 °C por un tiempo de exposición de 60 minutos. En el texto se cita además a Zahn, quien expone haber encontrado resultados similares al utilizar 0,02 g/L de sosa cáustica al utilizar una temperatura de 100 °C, destacando además que mantener una temperatura de ebullición a nivel del mar es más sencillo que a 65 °C. Además, se destacan algunas variaciones que pueden afectar a la solubilidad a la lana, por ejemplo:

- Tratamientos alcalinos previos: puede producirse una disminución de la solubilidad alcalina de este tipo durante el proceso de lavado de la lana en medio alcalino y durante el desgrasado de hilados y tejidos en condiciones demasiado enérgicas.
- Tratamientos ácidos de carácter enérgico: producen una hidrólisis de la cadena polipeptídica trayendo consigo un incremento de la solubilidad de la fibra de lana en el álcali.
- Blanqueamiento con peróxido de hidrógeno: Este tipo de tratamiento previo produce una ruptura del enlace disulfuro; además, un determinado grado de hidrólisis en la cadena polipeptídica, es decir, que existe un incremento de la solubilidad alcalina de la lana.

En resumen, la solubilidad de la lana va a depender de varios factores: la concentración del NaOH, la temperatura a la que se trate, el tiempo de exposición de la lana en la solución con sosa cáustica, la procedencia y finura de la fibra, y los tratamientos previos que haya recibido el sustrato de lana.

Cáceres (2020), en su tema de investigación menciona que, durante el proceso del lavado, el uso de bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$) más sal en grano logró un aumento en la resistencia a la tracción de la fibra alcanzando un valor de 2663,33 N/cm², señala también que al utilizar $NaHCO_3$, sal en grano y detergente biodegradable mejoran el grado de elongación de la fibra logrando un 76,67% y un incremento en cuanto a la solidez a la luz alcanzando un valor de 4,5. En otras palabras, el uso de agentes químicos alcalinos suaves durante el proceso de lavado de fibras

proteicas mejora la elongación a la rotura de la fibra, la resistencia a la tracción, la finura e incluso la solidez al color. (pág. 10).

Gacén J. (2007) menciona que la resistencia a la tracción de la lana se ve comprometida en los casos en los que la fibra experimenta una degradación química, esta situación se puede evidenciar por medio de la solubilidad alcalina realizada en ensayos con NaOH. Tal como se describe en el artículo, la exposición de la queratina ante la sosa cáustica favorece la ruptura de enlaces disulfuro y el acortamiento de las cadenas polipeptídicas. Cuando la solubilidad alcalina supera el tope máximo del 30%, la degradación en cuanto a la resistencia es significativa a tal grado que compromete el futuro desempeño de la fibra. Es decir, el hidróxido de sodio actúa a la par como un agente de degradación y como factor que potencia los mecanismos químicos responsables de la reducción de la resistencia a la tracción.

En síntesis, la solubilidad de la lana en medios básicos dependerá del tiempo de blanqueo con respecto a la temperatura, además del grado de alcalinidad con el que se esté trabajando. Cabe destacar que "la acción de los álcalis es más destructiva que la producida por los ácidos y mediante ella, algunos aminoácidos, tales como la cistina, arginina, histidina y serina, son destruidos". Sin embargo, la solubilidad de la lana en acción con el NaOH depende de las condiciones en las que se efectúa la reacción. Además, la solubilidad aumenta en los casos dónde se ha desarrollado una hidrólisis de la cadena polipeptídica o se han roto los puentes disulfuro (Cegarra Sánchez, 2007).

Esto quiere decir que tanto el tiempo de exposición de la lana en medios alcalinos, así como también, la temperatura con la que se esté trabajando determinan el grado de destrucción de aminoácidos (cistina arginina, histidina y serina); empero, también existen otros factores que modifican, en cierta medida, condiciones óptimas para que se suscite la reacción. Es vital resaltar que el grado de solubilidad de la lana incrementa en casos en los que se haya desarrollado una hidrólisis de cadena polipeptídica o en aquellos en los cuales el puente de disulfuro se haya roto.

Por otra parte, Kopsic et al. (1965) abordan en su investigación la formación del aminoácido L-lantionina ($C_6H_{12}N_2O_4S$). Este aminoácido no proteinogénico no forma parte del código genético estándar ni se incorpora directamente durante la síntesis de proteínas; en su lugar, se compone de dos residuos de alanina unidos mediante un enlace tioéter (un solo átomo de azufre),

a diferencia del enlace disulfuro característico que conecta a la cistina. Desde el punto de vista teórico, la literatura científica sugiere que la L-lantionina se origina cuando un enlace disulfuro se rompe por acción de la degradación en un medio alcalino, lo que trae consigo un intermediario de deshidroalanina, misma que reacciona con un grupo tiol libre. Cabe destacar que dicho proceso químico se exhibe en la presente investigación como un mecanismo netamente teórico pertinente reportado por la literatura, ya que en esta investigación no se realizaron mediciones ni caracterizaciones químicas de la L-lantionina en las muestras del ensayo analizado.

Dicho de otra manera, este aminoácido surge luego de un tratamiento agresivo con sosa cáustica u otro álcali fuerte en las fibras de origen proteico, tal como es el caso de la lana, el pelo de alpaca, entre otros. La importancia del aminoácido L-Lantionina señala el grado de daño que sufre la fibra después de un tratamiento, ya sea químico o térmico.

Nota: Ante la limitada información técnica referida a la interacción directa del hidróxido de sodio (NaOH) sobre fibras de alpaca (*Vicugna pacos),* se ha adoptado la lana como marco de referencia teórico preliminar. Este paralelismo resulta pertinente en primera instancia, debido a que ambos sustratos pertenecen a las fibras proteicas de naturaleza queratínica con similitud en sus enlaces disulfuro fundamentales. Sin embargo, esta analogía se contempla en exclusiva como un fundamento de carácter orientativo y provisional, descartando una prueba directa o equivalente del comportamiento real de la fibra de alpaca.

Existen diferencias morfocomposicionales determinantes entre ambas especies, tales como la menor elevación y relieve de las escamas cuticulares en la alpaca(Valentino et al., 2024), la variación en el grado de medulación interna y la distribución distinta corticoidales, orto y paracórtex, (Mucha & Janeczek, 2018). Dichas características pueden alterar sensiblemente el acceso del reactivo alcalino, la velocidad de difusión del ion (OH^-) y la velocidad de degradación superficial. Por ende, los modelos descritos para la lana constituyen una hipótesis de trabajo a fin de prever tendencias bajo distintas condiciones de tiempo y temperatura, cuya validez concreta para la alpaca necesita de una confirmación experimental.

2.2. Marco legal

2.2.1. Constitución de la República del Ecuador

La Constitución de la República del Ecuador en artículos 26 y 348 de la SECCIÓN PRIMERA del BUEN VIVIR en donde se hace referencia a la sección educativa como un derecho gratuito, incluyente y de calidad bajo la inversión estatal, para cualquier tipo de persona (Asamblea Constituyente, 2008):

> Art. 26.- La educación es un derecho de las personas a lo largo de su vida y un deber ineludible e inexcusable del Estado. Constituye un área prioritaria de la política pública y de la inversión estatal, garantía de la igualdad e inclusión social y condición indispensable para el buen vivir.
>
> Las personas, las familias y la sociedad tienen el derecho y la responsabilidad de participar en el proceso educativo.
>
> Art. 348.- La educación pública será gratuita y el Estado la financiará de manera oportuna, regular y suficiente. La distribución de los recursos destinados a la educación se regirá por criterios de equidad social, poblacional y territorial, entre otros.
>
> El Estado financiará la educación especial y podrá apoyar financieramente a la educación fisco misional, artesanal y comunitaria, siempre que cumplan con los principios de gratuidad, obligatoriedad e igualdad de oportunidades, rindan cuentas de sus resultados educativos y del manejo de los recursos públicos, y estén debidamente calificadas, de acuerdo con la ley. Las instituciones educativas que reciban financiamiento público no tendrán fines de lucro.
>
> La falta de transferencia de recursos en las condiciones señaladas será sancionada con la destitución de la autoridad y de las servidoras y servidores públicos remisos de su obligación.

2.2.2. Líneas de investigación de la Universidad Técnica del Norte

El presente trabajo de investigación está relacionado con los lineamientos de Investigación de la Universidad Técnica del Norte de la Carrera de Textiles, fortaleciendo el desarrollo económico de la comunidad (Universidad Técnica del Norte, 2022):

- Gestión, Producción, Productividad, Innovación y Desarrollo Socioeconómico.
- Salud y Bienestar Integral
- Desarrollo Social y del Comportamiento Humano

2.2.3. TULSMA

El Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) (2017), es el ente encargado de regularizar los temas relacionados con el ambiente dentro del territorio ecuatoriano, en el acuerdo ministerial 061 se señala que:

Art. 245 de las tecnologías:

> La Autoridad Nacional del Medio Ambiente promoverá la investigación, la innovación y el desarrollo en diversas tecnologías a través de la cooperación nacional e internacional para utilizar tecnologías puras, económicamente viables y socialmente aceptables. Se alentará y reforzará dentro de las reglas de este libro y la aplicación de otros mecanismos relevantes, la diversificación de tecnologías puras y el uso de productos orgánicos para la producción agrícola, y el nivel de calidad es aceptable en el consumo estándar y externo, teniendo en cuenta la soberanía de los alimentos.

Art.246.- De las pautas para patrones de producción y consumo sostenibles:

> Las políticas y estrategias para promover patrones de producción y consumo sostenibles se enfocarán en reducir el impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida de los bienes y servicios, desde la extracción de la materia prima, la producción, el transporte, el almacenamiento y uso, hasta la disposición final.

> La Autoridad Ambiental Nacional promoverá la transición del país hacia una sociedad sostenible, que produzca y consuma responsabilidad, consciente de los problemas y de la realidad ambiental local y global que enfrenta, y que busque aplicar las mejores prácticas para proteger los recursos naturales, y que busque aplicar las mejores prácticas para proteger los recursos naturales, promover el mercado de productos sostenibles, reducir la contaminación ambiental y hacer frente al cambio climático (Ministerio del Ambiente, 2017).

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Alpaca

La alpaca es un animal típico de zonas andinas de Sudamérica cuyos hábitats usualmente se encuentran en países como: Argentina, Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia y Chile, dónde ha sido empleada para alimentación, usos domésticos y por otro lado la confección de textil a partir de su pelaje. Sin embargo, no ha sido empleada en gran volumen por las industrias debido a la baja producción, desconocimiento de sus beneficios, delicadeza de la fibra, así como por el coste que representa su manejo y tratamiento en el mercado actual por la subexplotación que se le ha venido dando a esa fibra pese a su uso prehispánico y la importancia que ha tenido en la cultura ancestral no solo del Ecuador, sino también de países andinos.

La alpaca, con nombre científico *Vicugna pacos*, pertenece a la familia de los camélidos de los Andes americanos. Este familiar de la llama fue domesticado hace alrededor de 6000 años y por más de 3000 años se ha utilizado para la producción y extracción de la fibra. Dentro de la industria textil, la fibra de alpaca es considerada como una fibra especial y las prendas elaboradas con ella son consideradas como prendas de lujo. Debido a su alto coste de mercado de la fibra de alpaca, los esfuerzos para mejorar su calidad y producción se han intensificado. (Paucar et al., 2019).

La especie *Vicugna Pacos* contempla dos razas primarias las cuales corresponden a razas naturales que surgen de poblaciones silvestres. Debido a la inexistencia de un libro genealógico de índole formal; la clasificación de las alpacas se realiza a partir de dos genotipos principales. Por una parte, la raza Huacaya, la cual se caracteriza por presentar un vellón compacto y esponjoso,

con una apariencia voluminosa muy parecido a la del ovino Corriedale, pues está compuesto por fibras finas, suaves y con ondulaciones muy marcadas. Por otro lado, la raza Suri se distingue por poseer fibras de gran longitud organizadas en rulos colgantes, similares a las del ovino Lincoln; la disposición fibrosa le otorga al animal una apariencia más estilizada, lo que la diferencia de la raza Huacaya. (Huaman, 2023).

2.3.1.1. Fibra de Alpaca

La fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) destaca entre las fibras proteicas de origen animal por su reducida finura promedio, parámetro directamente correlacionado con una baja sensación de picor al contacto con la piel y una notable suavidad táctil. La fibra presenta una variedad de 22 colores naturales distintos. Pese a la similitud queratínica con la lana (Wo), la fibra de alpaca al carecer de lanolina, grasa natural que recubre las fibras de la lana, se confieren propiedades hipoalergénicas; además ofrece una mayor capacidad de aislamiento térmico por su particular estructura medular (Archiniega, 2013).

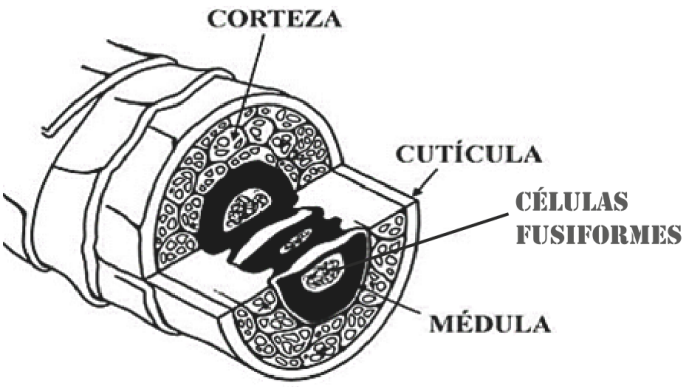
El vellón de la alpaca constituye la fuente principal para la obtención de fibra textil. A nivel histológico, la formación del pelo ocurre en la piel a través del complejo pilosebáceo. Como señala Granados P. (2017), desde un punto de vista histológico, los folículos pilosos son aquellas estructuras anatómicas especializadas que se encargan de sintetizar la fibra queratínica (p. 17). Estrechamente asociadas a esos folículos se encuentran las glándulas sebáceas, caracterizadas por presentar un abundante citoplasma rico en lípidos que se liberan hacia el canal folicular (Lindberg & Lamps, 2018), contribuyendo al accionamiento y protección natural de la fibra que se encuentra en crecimiento.

En resumen, la interacción entre folículo piloso - glándula sebácea faculta la definición de la naturaleza física de la fibra de alpaca para el proceso de esquila. Al reconocer la organización física de la fibra, se logra evitar las confusiones del origen del pelo, lo que permite establecer una base rigurosa a fin de explicar cómo la ausencia de la lanolina y la estructura característica del folículo del pelo de alpaca contribuyen a la suavidad, pureza y comportamiento de la fibra de alpaca y sustratos provenientes de esta.

La estructura medular de la fibra de alpaca, según Condori et al. (2023), se caracteriza principalmente por presentar un canal céntrico mismo que contiene residuos celulares y bolsas de aire dirigidas en forma continua o fragmentada en sentido longitudinal de la fibra. Existe la posibilidad de que las células de la médula se rompan completamente durante la queratinización, es decir la maduración celular con el fin de transformarse en estructuras más fibrosas y resistentes, dejando así un canal hueco en el centro de la fibra tal y como se observa en la **Figura 2**.

Figura 2

Estructura medular de la fibra de alpaca



Fuente: (Condori et al., 2023)

2.3.2. Resistencia a la rotura de la fibra de alpaca

La fibra de alpaca, como se ha observado en citas anteriores es una fibra fina cuya resistencia puede ser mayor, así lo indica De la Cruz (2017) quien cita a Choque (2001) quien afirma que la lana tiene 122.8 MPa, el mohair 136.2 MPa y la alpaca 358.5 MPa en cuanto a resistencia, lo que se traduce en que la fibra de alpaca posee mayor resistencia que las fibras previamente mencionadas. En cuanto a resistencia a la extensión (rotura), la raza Huacayo es superior a la Suri tal y como se observa en la **Tabla 1**.

Tabla 1

Elongación y resistencia máxima previa a la rotura de fibras de alpaca

CARACTERÍSTICAS	SURI		HUACAYO	
	SECO	EN AGUA	SECO	EN AGUA
Diámetro medio μ (1)	25,6	23,1	25,3	28,9
Máxima resistencia (2) a la rotura g/cm² x 10^6	1,53	0,9	2,23	1,38
Elongación %	33,8	43,5	37,3	51,2

Fuente: (De la Cruz, 2017)

En este caso se observa que la fibra proveniente de la especie Suri resulta ser la que alcanza una menor longitud previa a la rotura que las provenientes de la raza Huacayo en la medición realizada en seco, no sucede lo mismo en el ensayo con las muestras en húmedo. Sin embargo, no sucede lo mismo en el caso de la resistencia a la rotura en la que tanto en húmedo como en seco las fibras de la raza Huacayo presentan una mayor resistencia que las provenientes de la raza Suri.

De este modo, las razas inciden en cuanto a la calidad y resistencia, por lo que resulta imprescindible conocer el origen y la raza de alpaca con la que se va a tratar para considerar su valor y maleabilidad en los procedimientos de tratamiento de la fibra de alpaca, considerando cuál de estas resulta mejor para someter a tratamientos químicos que alteran su composición natural.

2.3.3. Parámetros de Hilatura

2.3.3.1.Título

El título en el hilado de las fibras conlleva la longitud y el peso que servirán de base para la definición del grosor y a su vez, la finura de este, que se calcula considerando los parámetros establecidos y conforme a los lineamientos dentro de la industria textil propuestos de acuerdo con dos sistemas.

De este modo, se conoce que el grosor del hilo está relacionado con su peso y longitud, clasificándose en sistemas directos e indirectos. SegúnAguilar Figueroa & Beltrán Cañari (2022), el sistema directo usa el Tex y el denier; el primero mide el peso en gramos de 1000 m y el segundo, de 9000 m; mientras que el sistema inverso comprende el número métrico (Nm) y el número inglés (Ne), donde un número mayor indica un hilo más delgado y mide longitud en metros o yardas.

2.3.3.2. Torsión

La torsión de hilos es un proceso textil que implica retorcer fibras, en este caso de la alpaca para la formación de hilos con la finalidad de que estos tengan mayor resistencia y durabilidad, relacionándolo con sus estándares de calidad. El autor Lockuán (2013) expresa de manera conceptual el proceso de torsión:

> La torsión se conoce a la forma de espiral que se le da al hilo, con el objeto de mantener unidas las fibras que lo constituyen, y otorgarle suficiente resistencia para hacer posible su manipulación y ser útil para las numerosas aplicaciones a las que se le destina. (pág. 106)

Según lo planteado por Esparza (2011), las torsiones del pabilo o mecha se cuantifican en función de una velocidad conocida, misma que proviene del árbol motor de la máquina mechera durante el proceso de estirado y torcido. Las torsiones por metro (TPM) representan el número de vueltas del pabilo existentes en un metro; para una medición precisa, la máquina debe operar a una velocidad constante, esto dependerá del uso que se le vaya a dar a la mecha y las especificaciones técnicas solicitadas. En este contexto, Esparza (2011) detalla que el cálculo para las torsiones se determina a través de dividir la velocidad de las arañas o las revoluciones entre el tren de estiraje o desarrollo de los estiradores.

$$\text{TPM} = \frac{\text{Velocidad de las arañas } (\frac{\text{N° vueltas}}{\text{min}})}{\text{Desarrollo de los estiradores (m)}}$$

TPM = Torsiones por metro

Velocidad de las arañas = Velocidad de alimentación (vueltas/min)

Desarrollo de los estiradores = Velocidad de salida (metros)

2.3.4. Hidróxido de sodio (NaOH)

El hidróxido de sodio (NaOH) o sosa cáustica, es un compuesto químico inorgánico ampliamente utilizado en la fabricación de productos de limpieza, tales como detergentes y jabones. Dentro de la cadena de procesamiento textil, el NaOH desempeña un rol fundamental en operaciones de preparación del material y refinado; sin embargo, su impacto fisicoquímico varía acorde a la naturaleza del sustrato.

En fibras celulósicas, las disoluciones alcalinas se aplican en el proceso de mercerizado y descrude para incrementar la afinidad tintórea, mejorar el brillo e incrementar la resistencia a la tracción(Gaibor, 2024). Por el contrario, en fibras como la lana, el uso de medios básicos se ha centrado en eliminar residuos de grasas e impurezas a bajas concentraciones y pH, pues el contacto con medios alcalinos en altas concentraciones o por tiempos prolongados desencadena una rápida degradación de la queratina, afectando de forma drástica la resistencia mecánica del sustrato(Cegarra Sánchez, 2007).

La Universidad Autónoma de México (2008) caracteriza al hidróxido de sodio como un sólido de color blanco y, a nivel industrial, se utiliza como disolución al 50 % debido a su facilidad de manejo. Es soluble en agua, desprendiendo calor. Absorbe humedad y dióxido de carbono del aire y es corrosivo para metales y tejidos (pág. 1).

2.3.4.1. Propiedades químicas del NaOH

Las características fisicoquímicas del hidróxido de sodio (NaOH) determinan tanto sus condiciones de manejo seguro como la reactividad en los tratamientos textiles. De acuerdo con la ficha de datos de seguridad emitida por la Universidad Autónoma de México (2008). En la **Tabla 2** se resumen las principales propiedades físicas y químicas, datos que fueron proporcionados por la empresa Laboratoriumdiscounter, con fecha de emisión el 02/06/2015 y revisión el 03/08/2021, relevantes para su procesamiento e higiene industrial.

Tabla 2

Propiedades físicas y químicas del NaOH

Aspecto	
Estado físico	Sólido (según la descripción del producto)
Color	Traslúcido
Olor	Inodoro
Datos físicos y químicos	
pH (valor)	14 (agua: 100 g/L, 20°C)
Punto de fusión/punto de congelación	319 - 323 °C
Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición e inflamación no es aplicable
Punto de inflamación	
Límites de explosividad	
Densidad	2,13 g/cm³
Solubilidad	
Hidrosolubilidad	>1 000 g/L a 20 °C

Fuente: (Laboratoriumdiscounter, 2021)

2.3.5. Reacciones químicas con la queratina

2.3.5.1. Hidrólisis

De acuerdo con Orjuela J. (2024) "La aplicación de hidrólisis química, ya sea ácida o básica, conlleva la destrucción de la estructura nativa de la queratina y las plumas se vuelven más solubles en agua" (pág. 218). Sin embargo, al aplicar la hidrólisis alcalina con NaOH, es más lenta e incompleta, con una menor pérdida de aminoácidos en la queratina.

2.3.5.2. Ruptura de enlaces

En términos teóricos, la exposición de biomasa o materiales queratinosos a soluciones de sosa cáustica promueve la degradación de la estructura proteica. Este proceso ocurre mediante la hidrólisis y escisión selectiva de los enlaces de disulfuro (-S-S-) que estabilizan la queratina, razón por la cual se conduce a la alteración química y posterior degradación del aminoácido cistina (Orjuela, 2024)**.** En las fibras queratínicas, este mecanismo teórico sustenta la pérdida acelerada de las propiedades mecánicas ante la acción de tratamientos alcalinos fuertes.

2.3.6. Tracción y resistencia a la tracción

Según la Real Academia Española, RAE, (2024) la tracción es el esfuerzo al que está sometido un cuerpo ante la acción de dos fuerzas situadas en sentido longitudinal opuesto que tienden a alargarlo. Por otro lado, la resistencia a la tracción es la fuerza máxima aplicada en sentido longitudinal que puede soportar un material antes de que se deforme o se produzca una rotura. En el sistema internacional se puede medir en cN/tex y representa el punto máximo de la curva de esfuerzo – deformación de ingeniería durante una prueba de tracción (Gavin, 2025). Dicho de otra forma, la resistencia a la tracción es la capacidad que tiene un cuerpo para oponerse a la fuerza aplicada en sentidos opuestos.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

El presente estudio se desarrolló con un enfoque cuantitativo mediante un diseño experimental, con el fin de determinar el efecto del tratamiento alcalino sobre la fibra de la alpaca (Wp). En este proceso, las variables consideradas fueron el tiempo de exposición y la temperatura sometidos a una solución de hidróxido de sodio (NaOH) a pH 9, mientras que las variables de respuestas evaluadas fueron la resistencia a la tracción y, por consiguiente, la elongación del hilado. La unidad experimental estuvo constituida por muestras de hilo 100% alpaca, sobre las cuales se ejecutaron los ensayos dinamométricos de tracción acorde a los lineamientos de la norma NTE INEN ISO 2062:2009.

3.1. Tipos de investigación

3.1.1. Enfoque cuantitativo

La presente investigación es cuantitativa, pues, al tratarse de un proceso sistemático y ordenado permite un análisis a profundidad y facilita la obtención de datos medibles conforme a las variables independientes, tiempo y temperatura, con respecto a las variables dependientes, resistencia a la rotura y elongación del hilo de alpaca. Gallardo (2017), quien cita a Hernández Sampieri et al. (2014) menciona que el enfoque cuantitativo parte del supuesto de la existencia de orden en la naturaleza y de las posibilidades de conocerlo persiguiendo la verificación rigurosa de una hipótesis empleando la observación empírica y el experimento utilizando muestras representativas (p. 21-22).

3.1.2. Investigación Experimental

La investigación se centra en recolectar información y los datos necesarios sobre el tema a investigar y, por consiguiente, el problema a resolver mediante la manipulación de variables independientes, en este caso, el tiempo y la temperatura, y el impacto que ejerce sobre las variables dependientes, la resistencia a la tracción y elongación, manteniendo un pH fijo de 9 con sosa cáustica sobre madejas de hilo de alpaca 100% con título 1,1 Nm. Con el fin de describir de qué manera o motivo se produce una situación o acontecimiento particular, y a diferencia de los otros

tipos de investigación, tanto el objetivo como el tratamiento dependen netamente del investigador y de las decisiones que tome para llevar a cabo el experimento (Ramos-Galarza, 2021).

3.2. Técnicas e instrumentos de investigación

Considerando la confiabilidad, validez y viabilidad se tomaron en cuenta como técnica del enfoque cuantitativo a la observación, en segmentos diferentes para las variables dependientes (resistencia a la tracción y elongación), y pruebas de rendimiento; además, como herramienta de registro y análisis se utilizó Excel, y para llevar a cabo el ensayo se utilizó el dinamómetro TITÁN 5 con una célula de carga de 200 [N], misma que avanza a una velocidad de 250,00 mm/min para obtener una base numérica. Los datos obtenidos fueron trasladados al software Past4 para pruebas de confiabilidad, mientras que para la realización de gráficas se empleó la herramienta Excel.

3.3. Diseño experimental

El diseño experimental evaluó la influencia de los factores tiempo y temperatura como variables independientes sobre las propiedades mecánicas de tracción y elongación del hilo de alpaca, consideradas como variables de respuesta. Dado que el esquema no incluyó controles únicamente en agua caliente sin sosa cáustica para cada combinación de tiempo y temperatura, la muestra patrón (m0, sin tratamiento y mantenida a 22 °C) actúa como una referencia basal global, (estado inicial estandarizado). En consecuencia, los cambios observados en las variables de respuesta reflejan el efecto conjunto del tratamiento alcalino bajo las condiciones de temperatura, mecánicas, de humectación y de secado ensayadas en el proceso, delimitando el análisis causal a la acción combinada de dicho sistema de tratamiento sobre las fibras.

3.4. Población y muestra

Para el desarrollo del presente estudio se contempló la evaluación combinada de dos factores independientes: el tiempo (con cinco niveles: 20 min, 25 min, 30 min, 35 min y 40 min) y la temperatura de tratamiento (con cinco niveles: 35 °C, 45 °C, 55 °C, 65 °C y 75 °C). la interacción de estos niveles constituyó un arreglo factorial 5x5, lo que dio lugar a un total de 25 tratamientos experimentales, a los que se suma una muestra control (m0). Cada unidad

experimental fue representada por una madeja de hilo 100% alpaca sometida de manera independiente a su respectiva condición de baño alcalino con NaOH.

De cada una de las madejas tratadas, así como de la muestra patrón, se extrajeron 8 tramos de hilo de longitud estandarizada, mismos que constituyeron las submuestras o réplicas técnicas destinadas al ensayo dinamométrico de tracción y elongación. De este modo, el estudio evaluó un total de 208 probetas individuales, que permiten capturar el comportamiento de la muestra en instrumentos normados y bajo las directrices de la norma NTE INEN-ISO 2062:2009.

3.5. Normas de referencia

En este estudio, para la caracterización de las propiedades mecánicas de tracción y elongación se tomaron como soporte técnico las directrices de la norma NTE INEN-ISO 2062:2009 (hilos para textiles. Determinación de la fuerza a la rotura y alargamiento en la rotura de los hilos individuales mediante el dinamómetro). Específicamente, se seleccionó el Método C (hilos tomados directamente de las madejas), debido a que se acoplaba de mejor manera a la investigación en curso con hilos 100% alpaca. La aplicación del Método C asegura una evaluación estandarizada de la fuerza de rotura de un solo extremo y del porcentaje de elongación a la rotura ante las eventuales controversias sobre las diferencias mecánicas provocadas por el tratamiento con hidróxido de sodio (NaOH) a pH 9 (ISO, 2009).

Para garantizar la reproducibilidad del ensayo, las condiciones ambientales se estructuraron de acuerdo con los siguientes parámetros:

- Las muestras fueron previamente acondicionadas a condiciones de laboratorio (20 ± 2 °C y a una humedad relativa de 65 ± 4 %, de acuerdo con la norma ISO 139).
- Se fijó una longitud nominal de ensayo de 500 mm o, en su defecto, la longitud adaptada del equipo dinamométrico TITÁN 5 de 250 mm, explicitando la geometría utilizada.
- Se aplicó una velocidad de desplazamiento del cabezal de 250 mm/min.
- Se aplicó una pretensión inicial de 0,5 ± 0,1 cN/tex, que garantiza la linealidad de la muestra al inicio del estiramiento.

- Número de determinaciones: Se ensayaron 8 probetas individuales (réplicas técnicas/submuestras) por cada una de las 25 combinaciones experimentales más la muestra patrón (m0).
- Criterio de validez de rotura: Se descartaron y reemplazaron aquellas muestras en donde la rotura del hilo no superó los 5 mm del borde de las mordazas (rotura en el sector de la sujeción) o por deslizamiento del material.
- Cálculo de variables: La fuerza (F_r) se registró directamente en cN, mientras que el porcentaje de elongación a la rotura se calculó mediante la variación de la longitud (ΔL) entre la longitud inicial (L_o), cuyo valor resultante se multiplicó por 100.

3.6. Flujogramas

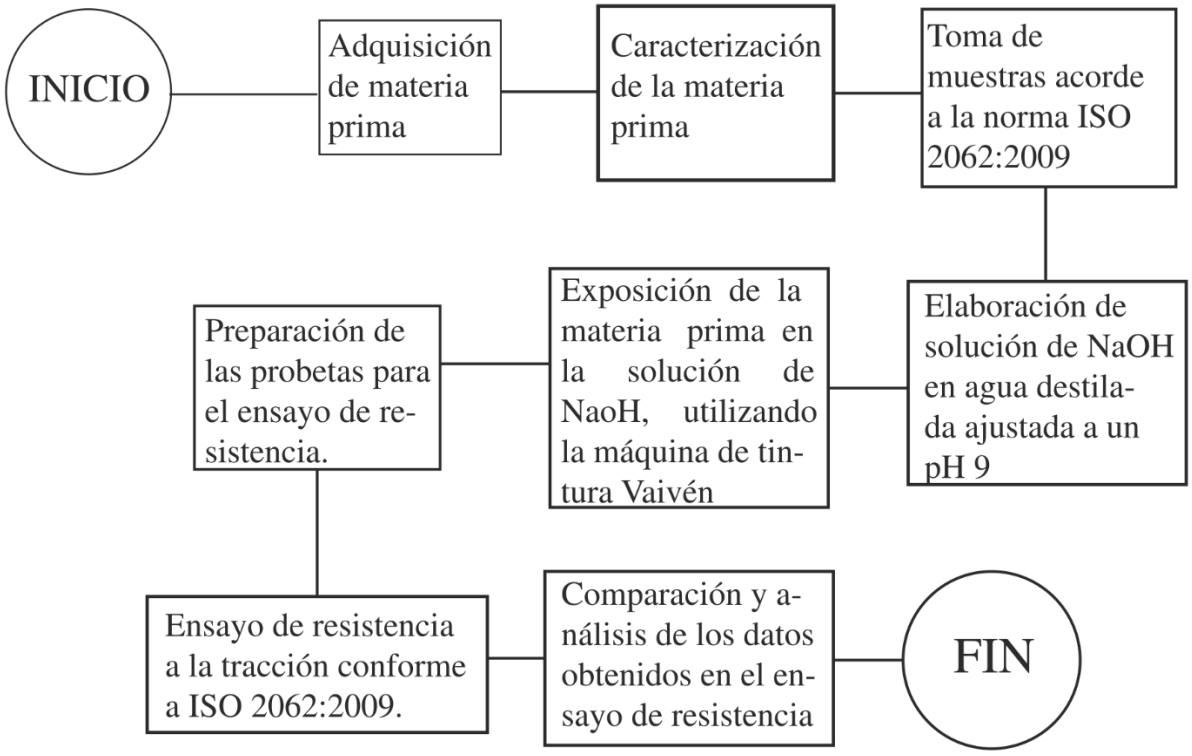
A continuación, se presentan el flujograma general de la investigación y el flujograma del procedimiento muestral. En ambos diagramas se detalla de forma secuencial el proceso metodológico ejecutado para evaluar la degradación de las siguientes propiedades mecánicas en las muestras de hilo de alpaca ante la variación combinada de la temperatura y el tiempo de exposición, manteniendo un pH 9 constante con la adición de hidróxido de sodio (NaOH) en escamas de alta pureza. Dicho esquema ha sido actualizado con el fin de reflejar con precisión la estructura del arreglo factorial 5x5, la muestra patrón o testigo (m0), la extracción de las 8 probetas por tratamiento (réplicas técnicas) para el ensayo dinamométrico bajo la norma NTE INEN-ISO 2062:2009 y la posterior ruta de análisis estadístico.

3.6.1. Flujograma General

El flujograma general permite visualizar de forma sintética la relación entre las variables de estudio, tiempo y temperatura de exposición al hidróxido de sodio, en distintas fases del proceso para facilitar la comprensión de la metodología empleada y la trazabilidad de cada uno de los especímenes analizados bajo la ISO 2062:2009, mediante el uso del equipo TITÁN 5 y el sistema operativo TestWise™.

Figura 3

Flujograma General



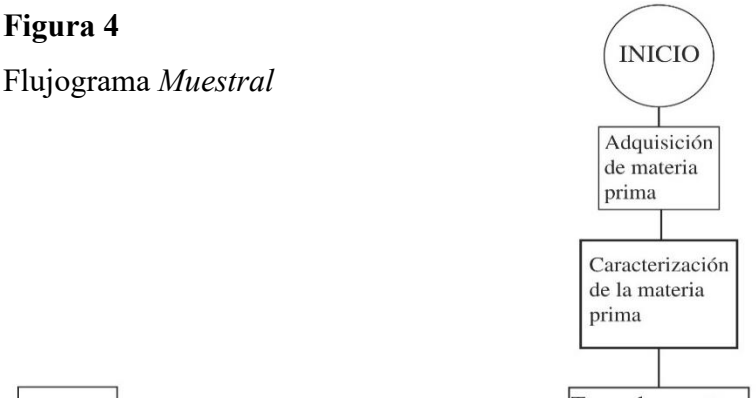
En la **Figura *3*** se observa el inicio del proceso con la obtención de las muestras, bajo la norma ISO 2062. Posteriormente, se procede a tratar las muestras en una solución de NaOH a pH 9 para todas las muestras, configurando los tiempos y temperaturas establecidos; finalmente, se evalúa la resistencia que poseen los hilos de alpaca tratados después del proceso por agotamiento en medios alcalinos.

3.6.2. Flujograma muestral

A continuación, se detalla con mayor claridad el recorrido que sigue cada una de las muestras designadas para el caso de estudio.

Figura 4

Flujograma *Muestral*



En la **Figura *4*** se presenta el diagrama del diseño experimental, en el que se detalla el esquema de codificación y organización de las muestras previo al tratamiento por agotamiento en la solución de sosa cáustica ajustada a pH 9. En el diagrama se ilustra la asignación de las 25 madejas de hilo de alpaca 100% para cada una de las combinaciones resultantes del arreglo factorial de temperatura y tiempo, así como la inclusión de la muestra patrón o control (m0, sin tratar). De igual manera, se precisa decir que cada combinación experimental fue procesada en un

solo baño individual de agotamiento, constituyendo una unidad experimental independiente. De cada una de las 25 madejas tratadas, y de la muestra patrón se extrajeron posteriormente 8 probetas de ensayo, representando las réplicas técnicas destinadas a caracterizar dinamométricamente bajo la normativa NTE INEN-ISO 2062:2009.

3.7. Equipos y materiales

El siguiente apartado consta de los materiales y equipos, de procedimiento y ensayo, que fueron utilizados para llevar a cabo la exposición del hilo de alpaca a una solución alcalina cuyo agente alcalinizante fue el hidróxido de sodio; además, se adjuntan las imágenes ilustrativas para cada elemento.

3.7.1. Materiales

a. Hilo de alpaca 100% con título 1,1 Nm

Los hilos 1,1 Nm se definen como un hilo constituido a partir de la unión de fibras de alpaca en sentido longitudinal. La torsión requerida para elaborar hilos regularmente se realiza en sentido antihorario también conocido como torsión en Z.

Figura 5

Cono de Hilo de Alpaca



b. Sosa Cáustica

Con el fin de llevar a cabo el experimento, se utilizó sosa cáustica en escamas como se observa en la **Figura *6***, misma que posee un porcentaje de concentración del 98% y un peso molecular de 40,01 g/mol, tal y como se muestra en el ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.; fueron necesarios 0,36 mg de sosa cáustica para producir 900 mL de disolución alcalina para alcanzar un pH 9 requerido para el tratamiento de las muestras del proceso experimental. La alcalinidad del agente favorece la modificación de las propiedades mecánicas de las fibras del hilo de alpaca 100%.

Figura 6

Sosa cáustica en escamas



Fuente: (Kemcare, 2019)

c. INSACCARS AGUA CLARA®

Es un tipo de agua destilada obtenida a través de un proceso de destilación por evaporación. Para realizar el tratamiento del hilo se decidió utilizar este tipo de agua destilada debido a su naturaleza carente de agentes y compuestos que influyan negativamente en el proceso y, por consiguiente, alteren los resultados del ensayo en dinamómetro.

Figura 7

Agua grado 3



Fuente: (InsacCars, 2024)

d. Papel pH

Para el control operativo de la alcalinidad en las soluciones de hidróxido de sodio (NaOH), se emplearon tiras indicadoras de papel pH por medio de comparación colorimétrica con un rango de lectura de 0-14 y resolución ordinal de 1 unidad de pH por medición. La medición se ejecutó, en primera instancia, a temperatura ambiente (20 ± 2 °C) previa al inicio de cada proceso por agotamiento térmico, añadiendo poco a poco una solución madre hasta alcanzar la lectura nominal de pH 9. Cabe señalar que se siguieron haciendo mediciones de pH cada 5 minutos durante el tratamiento.

Debido a que el método colorimétrico por papel indicador presenta un margen de incertidumbre propio de la interpretación del observador y carece de compensación automática de temperatura, este procedimiento constituye una aproximación operacional. Por lo tanto, se reconoce como una limitación del estudio la ausencia de una medición potenciométrica instrumental continua (pH-metro digital), por lo cual, el valor de pH 9 debe interpretarse como una condición nominal de trabajo en la preparación de las soluciones y no como un parámetro de control preciso a lo largo del tratamiento térmico.

Figura 8

Papel medidor de pH/ papel pH



Fuente: (Filtración y Análisis, 2024)

3.7.2. Equipos

a. Máquina de Tintura Vaivén

El tratamiento por agotamiento alcalino se llevó a cabo en el equipo de tintura abierta a escala de laboratorio vaivén de la **Figura 9**. Con la finalidad de mantener condiciones operativas constantes durante los ensayos, el equipo se programó a la velocidad de oscilación mínima de 50 ciclos por minuto (cpm). El calentamiento del baño se ejecutó mediante una gradiente continua de 2 °C/min hasta alcanzar las temperaturas objetivas del ensayo (35 °C, 45 °C, 55 °C, 65 °C y 75 °C), manteniendo un control de la temperatura con una tolerancia máxima de ± 1 °C.

Los matraces Erlenmeyer- cargados con la solución de NaOH a pH 9 nominal, y las muestras de hilo de alpaca- se introdujeron de manera consecutiva una vez estabilizado el baño a la temperatura preestablecida. El conteo del tiempo de exposición (20 min, 25 min, 30 min, 35 min y 40 min) se inició estrictamente a partir del momento en el que la totalidad de los matraces de la serie correspondiente ingresaron y se sumergieron en la máquina de tintura. Además, en la **Tabla 3** se pueden observar las especificaciones técnicas de la máquina proporcionadas por el fabricante, en la que figuran datos importantes como la velocidad de oscilamiento de la máquina de tintura, la capacidad máxima, entre otros.

Figura 9

Máquina de tintura abierta (vaivén)



Tabla 3

Especificaciones técnicas de la máquina de tintura abierta Vaivén)

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Voltaje	220 V
Capacidad de producción	Pequeña para teñir
Nombre	Máquina de teñir oscilante L-24C
Temperatura máxima	100 °C
Modelo de calefacción	Calefacción Eléctrica
Dimensiones (L*W*H)	870*440*680 (mm)
Velocidad de sacudida	50-200 ciclo/min
Peso	50 (Kg)

Fuente: (Jingjiang Huaxia Technology Co., 2024)

b. Dinamómetro Titán 5

El dinamómetro James Heal Titán 5 es una máquina universal de ensayos que utiliza un software denominado TestWise™; este equipo es idóneo para probar una gama diversa de aplicaciones del ámbito textil (James Heal, 2019). El modelo de dinamómetro que se utilizó presenta una capacidad nominal de 5 kN con una célula de carga de 1000 [N], la cual ofrece un

rango y resolución adecuados, ideal para fuerzas cercanas a 44-53 [N] para el ensayo de resistencia a la tracción, bajo la normativa ISO 2062:2009. Es decir, este modelo de equipo es ampliamente utilizado dentro de la industria textil, en especial en áreas dedicadas al control de calidad e investigación. A posteriori, en la **Tabla 4** se señalan las especificaciones técnicas del Titán 5.

Tabla 4

Especificaciones del Dinamómetro Titán 5 de James Heal

Especificación	Descripción
Espacio necesario Titán5	Profundidad 56.8cm Anchura 40.0cm Altura 133,9cm
Peso neto aproximado Titán5	82kg
Alimentación	Monofásica Sí Potencia por fase (A) 1,0A Vatios 60
Aire comprimido	Presión 7-10 bar, 700-1000 kPas, 100-145 psi Caudal mínimo 17 litros por minuto Filtración 5 micras o mejor para eliminar el aceite y la humedad
Ordenador personal (PC) - Especificación mínima	Sistema Operativo: Windows® 8, Windows® 7, Windows® 10 Se requiere Microsoft.NET 4.0 Framework (incluido en el disco) Disco duro Mínimo 250 GB Puertos Al menos 3 puertos USB 2.0 libres si utiliza el mando a distancia

Nota: Las especificaciones proporcionadas en la tabla están sujetas a cambios, todo corresponderá a las solicitadas por el cliente. **Fuente:** (James Heal, 2019).

En la **Tabla 4** se denotan las características de funcionamiento y espacio proporcionados por el fabricante en las que se detallan las dimensiones y los requerimientos necesarios que debe tener un lugar para su correcto funcionamiento, tal es el caso del sistema operativo, el amperaje la cantidad necesaria de aire comprimido, el espacio que ocupa el equipo; además de necesitar un ambiente acondicionado y libre de agentes que pudieren dañar el equipo y/o alterar de alguna manera el correcto funcionamiento de la máquina de medición de resistencias mecánicas.

Figura 10

Dinamómetro Titán 5 del Laboratorio de la Carrera de Textiles



3.8. Procedimiento

3.8.1. Proceso por agotamiento

El proceso experimental se llevó a cabo en los laboratorios de la Carrera de Textiles. El tratamiento por agotamiento de las muestras se ejecutó mediante el uso del equipo de tintura abierta tipo vaivén. Previo a la preparación de muestras, se estableció un protocolo estandarizado de devanado e independización para evitar sesgos asociados a la posición del hilo en el lote de origen. Para ello, se descartaron los primeros metros de hilo de alpaca pura con el fin de eliminar porciones expuestas a degradación ambiental o a una tensión irregular del hilado.

Posteriormente, el devanado de las 26 madejas se realizó de manera alternada y continua a lo largo del cono, garantizando, de esta manera, una densidad lineal y un grado de torsión homogéneos entre las muestras. Las 25 madejas destinadas al tratamiento químico con sosa cáustica fueron asignadas de forma aleatoria a los 25 matraces Erlenmeyer y a sus respectivas combinaciones de temperatura (35 °C, 45 °C, 55 °C, 65 °C y 75 °C) y tiempo (20 min, 25 min, 30 min, 35 min y 40 min). Cada muestra se procesó de manera independiente en un solo tratamiento, sin reutilización ni recirculación del licor de baño.

Con el propósito de salvaguardar la bioseguridad e higiene industrial en el manejo de la sosa cáustica, la preparación de la solución básica y la respectiva manipulación del álcali fueron realizadas con pinzas, gafas y mandil. Al culminar el ensayo, los licores de baño residuales se recolectaron y neutralizaron con ácido acético (vinagre) hasta alcanzar un pH neutro (6,5-7,5), para su posterior desecho al alcantarillado, conforme a la normativa ambiental de vertidos de laboratorio.

Agotamiento en la Máquina de Tintura de Vaivén: Para el tratamiento realizado en esta máquina se siguieron los siguientes pasos:

a) Obtención de las muestras por madeja, cada madeja de 5 m con un peso promedio 4,493 g como se observa en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

b) Codificación de las muestras.

c) Preparación de una solución de sosa cáustica cuyo peso molecular fue de 40,01 g/mol con una pureza del 98% en agua destilada, para lo cual se añaden 0,125 g de NaOH en 125 mL de agua destilada para la elaboración de una solución madre. Finalmente, se colocan 9 mililitros de la solución madre en 171 mL de agua destilada. Lo que vendría a ser una relación de baño de 1:14,4. (mirar el **Anexo 3**)

d) Encendido de la máquina de vaivén.

e) Programación del equipo de tintura de vaivén con la temperatura y velocidad de oscilamiento, un ejemplo de ello se encuentra en el **Anexo 4**

f) Humectación de las muestras a tratar en la solución alcalina.

g) Ingreso de las unidades experimentales: Colocación de una madeja por matraz Erlenmeyer, correspondiente a una combinación específica de temperatura y a uno de los cinco niveles de tiempo de exposición (20 min, 25 min, 30 min, 35 min y 40 min).

h) Adición de 180 mL de la solución de hidróxido de sodio (NaOH) a pH 9 nominal, con una temperatura inicial de 20 ± 2 °C, en cada uno de los cinco matraces seleccionados por nivel térmico. Las madejas registraron una masa promedio de 4,493g (CV = 1,62%), cuyas masas exactas individuales por muestra se detallan en el **Anexo 5**. Al mantener un volumen constante de solución (180 mL), la relación de baño (RB) nominal fue de 1:14,4 en la que se presentan ligeras variaciones proporcionales según la masa exacta de cada madeja. Los matraces se sellaron con

tapones de madera adaptados para evitar pérdidas de masa por evaporación durante la rampa de precalentamiento y la fase isotérmica de agotamiento.

i) Inmersión completa de cada madeja en los 180 mL de solución para asegurar la humectación homogénea del del material, seguida del sellado inmediato de los matraces mediante tapones para evitar la evaporación durante el proceso (figura referencial en el **Anexo 5**). Al finalizar estrictamente el tiempo de exposición programado para cada combinación (20 min, 25 min, 30 min, 35 min y 40 min), la reacción de agotamiento alcalino se interrumpió de manera inmediata para evitar la degradación residual durante las fases posteriores.

Para ello, cada madeja fue extraída del baño térmico e inmersa de forma instantánea en un baño de parada rápido con agua destilada a 15 ± 2 °C por un período de 30 s, deteniendo la acción cinético-térmica del reactivo del reactivo. Posteriormente, se aplicaron tres enjuagues sucesivos por inmersión de 3 min cada uno bajo agitación constante, utilizando un volumen de 500 mL de agua destilada por lavado, hasta verificar la neutralidad del líquido extraído (pH 6,8-7,2 medido con el papel indicador). Finalmente, las muestras fueron sometidas a un proceso de escurrido por gravedad para eliminar el exceso de humedad libre y se secaron a la sombra a temperatura ambiente, garantizando un punto final controlado e idéntico para la totalidad de las unidades experimentales.

j) Colocación de los matraces en la máquina de tintura de laboratorio Vaivén sellados como se visualiza en el **Anexo 6**.

k) Extracción de los recipientes de tintura de la máquina de tintura abierta oscilante (Vaivén) con las precauciones correspondientes.

l) Remoción de las muestras expuestas de los recipientes, evitando mezclarlas.

m) Lavar las muestras expuestas en agua a temperatura ambiente.

n) Secar las muestras a la sombra. Imagen referencial en el **Anexo 7**.

3.9. Pruebas de laboratorio

Las pruebas de laboratorio se llevaron a cabo en las instalaciones de la Carrera de Textiles, en el año 2026. Los ensayos de tracción se realizaron conforme a los lineamientos de la norma ISO 2062:2009, empleando el equipo dinamométrico de laboratorio Titán 5, como una longitud de

referencia de 250 mm, velocidad de ensayo de 250 mm/min, una pretensión de 5 cN y una celda de carga de 200 [N]. Los datos obtenidos para cada una de las muestras expuestas y sin tratar se registraron mediante el software TestWise™. A continuación, se detallan los pasos seguidos durante el procedimiento.

a) Encendido de computador.

b) Comienzo el S. O. TestWise™.

c) Encendido de dinamómetro.

d) Calibración del dinamómetro.

e) Preparación de probetas.

f) Programación del equipo dinamómetro.

g) Elaboración de pruebas de normalidad.

h) Práctica del ensayo de resistencia a la tracción por paquete tanto de la muestra guía como de las muestras expuestas, tal y como se observa en el **Anexo 8**.

i) Registro de los datos obtenidos como se observan en el **Anexo 8**.

j) Tabulación de datos y análisis.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se aborda de forma detallada la exposición de los resultados y el correspondiente análisis crítico referente a la incidencia del hidróxido de sodio sobre las propiedades mecánicas de los hilos de alpaca con una titulación de 1,1 Nm. El enfoque principal radica en evaluar las diferentes variaciones experimentadas en cuanto a la resistencia a la tracción, todo esto tras el uso de los insumos químicos aplicados, permitiendo una interpretación con un nivel técnico de los resultados obtenidos durante el proceso de ensayo dinamométrico. Además, se busca analizar el comportamiento del hilado tratado en función de la temperatura, el tiempo de exposición del hilo de alpaca en la solución con sosa cáustica y de los datos registrados en su resistencia a la tracción, con base en los resultados obtenidos mediante el ensayo dinamométrico.

A través de este análisis, se busca determinar si las propiedades mecánicas de la fibra de alpaca se mantienen o se degradan de forma significativa, para la debida obtención de conclusiones fundamentales sobre la influencia técnica dentro de un proceso productivo. Tomando como punto de partida la sistematización de la información obtenida en el laboratorio, se procedió con la elaboración de tablas comparativas y representaciones gráficas que permiten visualizar de una forma más sencilla y precisa los hallazgos encontrados en la fase de experimentación.

La aplicación de la media aritmética, la mediana , la desviación estándar y el coeficiente de variación permite describir de forma objetiva el comportamiento de los datos obtenidos en las probetas y facilita identificar tendencias y dispersión de los resultados, No obstante, la objetividad y reproducibilidad del análisis no dependen únicamente de estos estados estadísticos descriptivos, sino del rigor con que se diseñó y llevó a cabo el experimento, en los que se incluyen la independencia de las réplicas, la calibración del equipo y el control de las condiciones de ensayo. Es decir, estas medidas estadísticas constituyen una herramienta de apoyo interpretativo, cuya validez depende de dichos controles experimentales, lo que contribuye a la confiabilidad de los resultados y su comparación con estudios parecidos.

4.1. Resultados

Se proporcionan los resultados extraídos en concordancia bajo la norma ISO 2062:2009 con el fin de llevar a cabo los ensayos de resistencia a la tracción a partir de las muestras analizadas. Para realizar la interpretación estadística de los datos obtenidos se los realizó mediante el software estadístico Past4, con el que se efectuaron pruebas de verificación de confiabilidad y varianza de las pruebas y, a posteriori, se procesaron los datos resultantes de los ensayos para una subsecuente tabulación de tablas y gráficos para un análisis y evaluación más sencilla y precisa.

4.2. Resistencia a la tracción

Con respecto a la evaluación de la resistencia a la tracción se utilizó el mismo lote de hilo, del cual se extrajeron las muestras sometidas a distintos tiempos y temperaturas de tratamiento, garantizando las mismas TPM, composición y características de origen. Proceder con un único cono reduce la variación atribuible a diferencias de partida entre lotes; sin embargo, esto no garantiza homogeneidad total, pues la **Tabla 5** denota un título variable que va desde 1,04 Nm hasta 1,13 Nm. Para evitar que esta variación se confunda con el efecto de la temperatura y el tiempo, la asignación de los segmentos de cada condición experimental se realizó de manera completamente aleatoria, distribuyendo de forma homogénea las diferencias de título entre tratamientos. Dada esta variación, los resultados de resistencia a la tracción se reportan en cN, lo que permite una comparación rigurosa entre probetas.

4.2.1. Datos de la resistencia a la tracción de los hilos de alpaca expuestos a hidróxido de sodio a diferentes tiempos y temperaturas previamente definidos

Con referencia a la resistencia a la tracción del hilo que se empleó como materia prima para la investigación que, después de un análisis de regularidad del hilo de alpaca 100% mediante el peso de los especímenes a tratar como se muestra en la **Tabla *5***, se pueden observar cinco tablas por cada muestra correspondiente a la influencia de la sosa cáustica a diferentes temperaturas y tiempos de exposición preestablecidos, considerando la calibración y programación del equipo dinamométrico.

Se adjunta la correspondiente ficha técnica de datos informativos sobre el acondicionamiento necesario para llevar a cabo el ensayo en el equipo dinamométrico de la resistencia a la tracción de los hilos por paquete en la **Tabla *6***. A posteriori, se muestran las tablas con los valores más representativos concebidos dentro de cada una de las temperaturas aplicadas, contemplando los valores de forma descendente, es decir, desde el mayor grado de resistencia a la tracción hasta la que presenta la de menor grado de resistencia. De igual manera, se muestran los valores importantes contemplados bajo la ISO 2062:2009 (adaptada) y el método utilizado.

Tabla 5

Peso de las muestras a tratar

REGULARIDAD DEL HILO 100% WP

Cód. muestra	g/m	Nm	Cód. muestra	g/m	Nm
m1	0,931	1,07	m14	0,898	1,11
m2	0,916	1,09	m15	0,932	1,07
m3	0,891	1,12	m16	0,925	1,08
m4	0,921	1,09	m17	0,911	1,10
m5	0,900	1,11	m18	0,958	1,04
m6	0,898	1,11	m19	0,924	1,08
m7	0,905	1,11	m20	0,930	1,08
m8	0,912	1,10	m21	0,911	1,10
m9	0,931	1,07	m22	0,898	1,11
m10	0,916	1,09	m23	0,962	1,04
m11	0,895	1,12	m24	0,905	1,10
m12	0,902	1,11	m25	0,931	1,07
m13	0,883	1,13	Promedio		1,10
			% CV		2,1%

Como se puede observar en la **Tabla 5**, el peso de cada una de las muestras es crucial para tener en consideración la irregularidad presente en el hilado de alpaca 100% utilizado para el desarrollo de la investigación, el cual puede influir en los resultados de esta.

Tabla 6

Ficha técnica para la evaluación de resistencia a la tracción del cono de hilo con título 1,1 Nm.

<table>
<tr><td colspan="2">FECHA DEL ENSAYO:</td><td colspan="2">16 de enero del 2026</td></tr>
<tr><td colspan="2">FECHA DE SOLICITUD DEL ENSAYO:</td><td colspan="2">28 de noviembre del 2025</td></tr>
<tr><td colspan="2">NÚMERO DE LA SOLICITUD:</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>ENSAYO SOLICITADO:</td><td colspan="3">Textiles - Hilados de paquetes - Determinación de la fuerza de rotura y el alargamiento a la rotura usando tasa constante de extensión (CRE) probador</td></tr>
<tr><td>NORMA UTILIZADA</td><td colspan="3">NTE INEN-ISO 2062:2009</td></tr>
<tr><td colspan="4">MUESTRAS</td></tr>
<tr><td>CÓDIGO</td><td colspan="2">DESCRIPCIÓN</td><td>CANTIDAD</td></tr>
<tr><td>M0, m1, m2, m3, m4, m5, m6, ,7, m8, m9, m10, m11, m12, m13, m14, m15, m16, m17, m18, m19, m20, m21, m22, m23, m24, m25</td><td colspan="2">HILO 100% ALPACA 1,1 Nm</td><td>1 cono</td></tr>
<tr><td colspan="4">RESULTADOS DEL ENSAYO</td></tr>
<tr><td>TEMPERATURA INICIAL</td><td>17 °C</td><td>HUMEDAD RELATIVA INICIAL (%)</td><td>±62%</td></tr>
<tr><td>TEMPERATURA FINAL</td><td>21 °C</td><td>HUMEDAD RELATIVA FINAL (%)</td><td>±65%</td></tr>
<tr><td rowspan="2">FECHA Y HORA DE AMBIENTACIÓN</td><td>INICIO</td><td>15/01/2026; 07H00</td><td rowspan="2">RECOMENDACIÓN: 24 horas</td></tr>
<tr><td>FIN</td><td>16/01/2026; 07H00</td></tr>
<tr><td colspan="4">EQUIPO:
- Dinamómetro: James Heal. Modelo: Titán 5.
- Celda de carga: 200 N
ESPECIFICACIONES
- Separación de mordazas: 250 mm - Pretensión: 5 cN
-
- Detección de la rotura: 20% - Material: WP 100%
- Velocidad: 250 mm/min
- Estado de las probetas: Acondicionadas
- Número de probetas: 8
- Título Hilo: 1,1 Nm</td></tr>
</table>

En la **Tabla 6** se muestra una ficha técnica sobre el acondicionamiento de los hilos de alpaca 100% provenientes de las muestras expuestas, así como también la muestra cero o muestra guía a condiciones de laboratorio.

4.3. Tablas de resultados.

Tabla 7

Resultados de evaluación de la resistencia a la tracción 100%

TEMPERATURA	TIEMPO (min)	MUESTRA	FUERZA MÁX. MEDIA [CN]	ELONGACIÓN MEDIA (%)
22 °C	**0**	**m0**	**5129,50**	**34,67**
35 °C	20	m1	5103,92	48,56
	25	m2	5253,47	45,04
	30	m3	4961,50	49,48
	35	m4	4998,62	45,34
	40	m5	4959,03	45,01
45 °C	20	m6	5143,82	47,09
	25	m7	5055,54	40,67
	30	m8	4684,94	44,88
	35	m9	4842,61	43,82
	40	m10	5002,41	40,56
55 °C	20	m11	4445,47	36,65
	25	m12	4581,98	39,22
	30	m13	4750,80	40,84
	35	m14	4469,57	41,68
	40	m15	4433,25	42,06
65 °C	20	m16	5014,61	43,02
	25	m17	4743,88	39,48
	30	m18	5231,56	40,90
	35	m19	5116,20	44,26
	40	m20	4989,80	39,42
75 °C	20	m21	4979,97	42,12
	25	m22	4685,41	43,46
	30	m23	4991,04	39,20
	35	m24	4854,61	41,72
	40	m25	4957,47	42,00
		PROMEDIO	4890,06	42,66

La **Tabla 7** señala la correspondiente codificación de las probetas tratadas con una solución de NaOH ajustada a un pH de 9, mismas que fueron sometidas al ensayo de resistencia a la tracción. En ella se detalla la fuerza máxima aplicada expresada en centinewtons [cN]; además, se incluyen los resultados de elongación máxima en función de la fuerza máxima aplicada expresados en porcentaje. Estos valores permiten evaluar el comportamiento mecánico del material bajo las condiciones previamente establecidas.

4.3.1. Análisis de confiabilidad de los datos

Con fines de llevar a cabo este estudio, se analizaron los resultados de los ensayos de resistencia a la tracción según la norma ISO 2062:2009, evaluando las propiedades mecánicas del hilo de alpaca 1,1 Nm, resistencia y elongación, en las ocho probetas de cada combinación temperatura-tiempo y tratadas con NaOH a pH 9. Cabe destacar que cumplir la norma y obtener $p>0,05$ no garantiza por sí solo la confiabilidad de los datos: depende también de la repetibilidad del equipo, la variabilidad dentro de cada condición, la validez del diseño de muestreo y la incertidumbre de medición. Es por ello que se representan los datos crudos de las ocho determinaciones por muestra, los criterios usados para excluir roturas no representativas y los valores estadísticos descriptivos completos de cada combinación. El software requerido para procesar los datos fue Past4, debido a su accesibilidad y fácil manejo.

a) Pruebas de Normalidad

En este apartado se evaluó si los datos de resistencia a la tracción y elongación de los hilos de alpaca tratados con una solución de NaOH a pH 9 cumplían el supuesto de normalidad, paso necesario para elegir las pruebas estadísticas adecuadas antes de comparar las medias entre los tratamientos de temperatura y tiempo de exposición. Se revisaron, en cada muestra, los coeficientes de asimetría y curtosis en conjunto con las pruebas de homogeneidad de varianza proporcionadas por la prueba de Levene y de igualdad de medias (Welch). Estas permiten identificar cuáles son las desviaciones relevantes de la normalidad y su posible efecto sobre la validez del ANOVA. Para los grupos con asimetría se usaron pruebas no paramétricas (Kruskal-Wallis, Dunn), al no depender del supuesto de normalidad. Los resultados a continuación son diferenciados por variable de respuesta y condición experimental.

Figura 11

Prueba de normalidad de datos con ANOVA– Resistencia a la tracción

One-way ANOVA | Residuals | Tukey's pairwise | Kruskal-Wallis | Mann-Whitney pairwise | Dunn's post hoc

Test for equal means

	Sum of sqrs	df	Mean square	*F*	*p* (same)
Between groups:	1,10505E07	25	442019	1,405	0,1061
Within groups:	5,72746E07	182	314696		**Permutation *p* (n=99999)**
Total:	6,83251E07	207			0,1048

Components of variance (only for random effects):

Var(group):	15915,4	**Var(error):**	314696	**ICC:**	0,0481392

***omega*²:** 0,04637

Levene´s test for homogeneity of variance, from means	***p* (same):**	0,5517
Levene´s test, from medians	***p* (same):**	0,9394

Welch *F* test in the case of unequal variances: *F*=1,235, df=65,44, *p*=0,245

La **Figura 11**, mediante el uso de ANOVA, demostró que la prueba de Levene (p = 0,5517 desde medias; p = 0,9394 desde medianas) indica que las varianzas entre las muestras son homogéneas, es decir, que ningún grupo de muestras presenta una dispersión de datos anormalmente distinta a los demás, lo que es un requisito importante para que el ANOVA sea válido. En cuanto a la comparación general, el ANOVA (F = 1,405; p = 0,1061) y el test de Welch (p = 0,245) en conjunto con la prueba de permutación (p = 0,103), concuerdan en que no persisten diferencias de relevancia entre los 26 grupos (patrón más los 25 tratamientos). Además, el omega² (0,046) confirma que el tipo de tratamiento tiene menos del 5% de la variación total observada, esto se traduce en que la resistencia del hilo se mantuvo, en términos generales, estable frente a la muestra patrón (m0).

Se observa además que, al revisar las comparaciones específicas en Dunn frente a la muestra patrón (m0), la mayoría de los tratamientos no varían de forma significativa de la muestra sin tratar (p > 0,05), salvo en los casos de las muestras m11(p = 0,008985), m12 (p = 0,04352), m14 (p = 0,03486) y m15 (p = 0,008249), las que fueron tratadas a 55 °C, mismas que si presentaron diferencia frente a m0.

Figura 12

Prueba de normalidad de datos - Elongación

One-way ANOVA | Residuals | Tukey's pairwise | Kruskal-Wallis | Mann-Whitney pairwise | Dunn's post hoc

Test for equal means

	Sum of sqrs	df	Mean square	*F*	*p* (same)
Between groups:	2308,14	25	92,3257	1,38	0,118
Within groups:	12173,3	182	66,8864		**Permutation *p* (n=99999)**
Total:	14481,5	207			0,1155

Components of variance (only for random effects):

Var(group):	3,17991	**Var(error):**	66,8864	**ICC:**	0,0453843

***omega*²:** 0,04372

Levene´s test for homogeneity of variance, from means	***p* (same):**	0,001242
Levene´s test, from medians	***p* (same):**	0,1604

Welch *F* test in the case of unequal variances: *F*=1,458, df=65,43, *p*=0,1139

En la **Figura 12** , el ANOVA global (F = 1,38; p = 0,118) demostró que, en conjunto, no existen diferencias relevantes entre la muestra patrón (m0) y los 25 tratamientos. Estos datos se confirman mediante el uso de la prueba de permutación (p = 0,1155) y la prueba de Welch (p = 0,1139), robusta frente a varianzas desiguales. En este caso en particular, el omega² (0,0044) muestra que el tratamiento con hidróxido de sodio refleja menos del 5% en cuanto a la variación total en la elongación. Por otra parte, la prueba de Levene desde las medias sí detecta heterogeneidad de varianzas (p = 0,1604). Esto sugiere que algunos grupos tienen datos más dispersos que otros, lo cual justifica el uso del test de Welch como respaldo, siendo, para este ensayo, más confiable cuando las varianzas no son iguales.

b) Valores estadísticos

En esta sección se observan los valores correspondientes a la varianza y el coeficiente de variación que presentan las medias obtenidas de la exposición del hilo de alpaca a diferentes temperaturas y tiempos de exposición, manteniendo como constante el pH 9 para cada una de las probetas.

Figura 13

Valores estadísticos – resistencia a la tracción

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (cN)

	20 ± 2 °C	35 °C						45 °C						55 °C				
	CONTROL (m0)	m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8	m9	m10	m11	m12	m13	m14	m15
N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Min	4793,24	4471,77	4820,80	3665,68	4315,92	3761,34	4417,62	4565,08	3202,51	4291,75	3778,20	2802,78	3386,43	2836,69	2805,70	2745,2
Max	5411,51	6368,58	5715,94	5906,88	5684,38	5657,63	5837,87	5482,85	5506,63	5278,66	5412,60	4987,52	5212,93	5418,71	5210,84	5012,88
Sum	41036,01	40831,35	42027,76	39692,00	39988,97	39672,26	41150,54	40444,28	37479,57	38740,88	40019,27	35563,79	36655,83	38006,38	35756,56	35465,96
Mean	5129,50	5103,92	5253,47	4961,50	4998,62	4959,03	5143,82	5055,54	4684,95	4842,61	5002,41	4445,47	4581,98	4750,80	4469,57	4433,245
Std. error	73,64	209,25	107,82	249,55	147,80	198,89	171,69	110,70	320,25	133,87	184,42	243,29	213,50	289,72	277,56	248,4382
Variance	43384,25	350281,80	93002,64	498188,90	174756,10	316451,50	235832,60	98032,64	820504,40	143368,20	272091,90	473520,50	364668,30	671479,20	616324,70	493772,3
Stand. dev	208,29	591,85	304,96	705,83	418,04	562,54	485,63	313,10	905,82	378,64	521,62	688,13	603,88	819,44	785,06	702,6893
Median	5110,20	5037,18	5272,22	5095,45	5040,89	5106,73	5211,83	5144,11	4980,83	4906,17	5094,97	4588,80	4714,35	5030,07	4591,50	4635,17
25 prcntil	4980,83	4628,61	4945,66	4467,35	4654,59	4748,09	4652,31	4743,69	3711,30	4472,86	4979,58	4459,64	4217,91	4603,78	4160,01	4476,988
75 prcntil	5341,35	5278,99	5480,12	5471,49	5218,70	5260,33	5521,36	5278,33	5346,68	5212,99	5350,38	4816,31	5071,03	5226,00	5111,84	4737,523
Skewness	-0,09	1,47	-0,15	-0,70	-0,18	-1,43	-0,28	-0,44	-1,15	-0,30	-2,27	-2,43	-1,13	-2,25	-1,47	-2,493665
Kurtosis	-0,46	2,95	-0,56	0,42	0,52	3,03	-0,78	-0,87	-0,36	-1,67	5,75	6,43	1,13	5,54	2,59	6,705598
Geom. mean	5125,79	5075,96	5245,67	4914,46	4983,12	4928,24	5123,37	5046,92	4597,18	4829,47	4975,16	4386,74	4543,79	4671,73	4397,97	4371,064
Coeff. var	4,06	11,60	5,80	14,23	8,36	11,34	9,44	6,19	19,33	7,82	10,43	15,48	13,18	17,25	17,56	15,85045

	65 °C						75 °C				
	m16	m17	m18	m19	m20	m21	m22	m23	m24	m25	
N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
Min	3754,66	3161,23	4590,36	4571,42	4228,69	4448,92	3707,76	3817,27	4152,22	4266,63	
Max	5563,26	5429,43	5703,71	5599,16	5503,67	5302,84	5235,38	5560,47	5797,54	5483,65	
Sum	40116,92	37951,04	41852,46	40929,61	39918,4	39839,78	37483,29	39928,36	38836,83	39659,73	
Mean	5014,615	4743,88	5231,558	5116,201	4989,8	4979,973	4685,411	4991,045	4854,604	4957,466	
Std. error	198,3564	244,0067	140,947	135,3705	150,7381	94,05396	201,9458	203,8488	218,2484	126,2593	
Variance	314762	476314,3	158928,5	146601,3	181775,7	70769,18	326256,9	332434,6	381058,9	127531,2	
Stand. dev	561,0366	690,1552	398,6583	382,8855	426,3517	266,0248	571,189	576,5714	617,2997	357,1152	
Median	5137,91	4805,29	5268,44	5206,275	5028,095	4984,26	4889,18	5104,09	5028,8	5002,295	
25 prcntil	4910,368	4730,95	4895,948	4728,203	4727,91	4860,52	4103,818	4630,543	4180,978	4776,16	
75 prcntil	5354,978	5203,995	5633,29	5439,773	5339,148	5208,4	5132,875	5428,973	5299,56	5183,775	
Skewness	-1,880375	-2,01467	-0,3297513	-0,3040812	-0,6187269	-1,003056	-1,070357	-1,410307	0,03677448	-0,7275719	
Kurtosis	4,239306	5,037862	-0,9842914	-1,668292	-0,3014021	1,645519	-0,3059441	1,718736	-1,32138	1,679246	
Geom. mean	4983,55	4691,211	5218,051	5103,489	4973,346	4973,567	4652,574	4958,988	4820,06	4945,844	
Coeff. var	11,18803	14,54833	7,620261	7,483785	8,544464	5,341893	12,1908	11,55212	12,71576	7,203582	

En la **Figura 13**, el hilo de alpaca sin tratar mostró un promedio de 5129,50 cN y un coeficiente de variación (CV) del 4,06%, lo que se traduce en que las 8 mediciones de la muestra control (m0)

Figura 13

Valores estadísticos – resistencia a la tracción

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. fueron muy parecidas entre sí, es decir, es un grupo muy uniforme y confiable como punto de comparación. Al revisar los grupos tratados, se observó una dispersión que aumentó con respecto a m0, especialmente en la temperatura de 55 °C, donde el coeficiente de variación promedio llegó a 15,86%, la dispersión relativamente más alta del ensayo. Las demás temperaturas mostraron dispersiones más moderadas: 35 °C (10,27%), 45 °C (10,64%), 65 °C (9,88%) y 75 °C (9,80%).

Este resultado es de vital importancia debido a que, a mayor dispersión dentro de un grupo de datos, resulta más difícil confiar en que el promedio de los datos represente fielmente lo que ocurre. En los grupos que pertenecen a 55 °C (m11 a m15) se detectó, además, una forma de distribución muy alejada de lo esperado: valores de asimetría negativos (hasta -2,49 en la muestra m15) y una curtosis elevada (hasta 6,71), lo que indica presencia de datos atípicos que jalan los resultados hacia valores por debajo de lo habitual. En contraste, grupos como el de la muestra m21 (75 °C; 20 min; CV = 5,34%) y los de la muestra m2 (35 °C; 25 min; CV = 5,80%) mostraron la menor dispersión entre los tratamientos, siendo las condiciones experimentales más consistentes y confiables del estudio.

En conjunto, esta variabilidad heterogénea entre las muestras mostró en las muestras de 55 °C la mayor caída de resistencia a la tracción con el grado de dispersión de datos más grande. Esta diferencia se explica principalmente por la variabilidad del material fibroso del hilo.

Figura 14

Valores estadísticos – Elongación

ELONGACIÓN (%)

	20 ± 2 °C	35 °C						45 °C						55 °C					
	CONTROL (m0)	m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8	m9	m10	m11	m12	m13	m14	m15
N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Min	24,99	34,24	36,61	33,88	36,31	34,59	34,66	34,29	31,43	37,28	33,93	30,09	33,95	31,83	33,85	30,41
Max	52,67	71,89	60,63	74,33	69,07	68,84	73,41	48,43	67,62	54,01	45,67	40,3	44,13	53,66	53,12	50,53
Sum	277,38	388,48	360,33	395,83	362,75	360,1	376,74	325,36	359,03	350,59	324,46	293,19	313,79	326,69	333,42	336,48
Mean	34,6725	48,56	45,04125	49,47875	45,34375	45,0125	47,0925	40,67	44,87875	43,82375	40,5575	36,64875	39,22375	40,83625	41,6775	42,06
Std. error	3,047938	4,76688	3,148234	4,649655	3,595963	4,006786	4,259551	1,850339	4,241275	1,86371	1,511367	1,126183	1,185462	2,246449	2,102132	1,971853
Variance	74,31942	181,7852	79,29101	172,9543	103,4476	128,4347	145,1502	27,39003	143,9073	27,78731	18,27385	10,1463	11,24257	40,37226	35,35168	31,10563
Stand. dev	8,620871	13,48277	8,90455	13,15121	10,17092	11,3329	12,04783	5,233548	11,99614	5,271367	4,274792	3,185325	3,352994	6,353917	5,945728	5,577242
Median	33,4	42,09	41,49	47,64	43,57	42,08	43,15	40,015	41,115	42,66	41,06	36,985	39,37	39,715	40,995	42,38
25 prcntil	28,2825	38,755	37,3125	38,33	38,995	36,39	39,4575	36,415	34,8125	40,35	36,355	35,265	36,4375	37,7475	37,09	41,2125
75 prcntil	38,7825	60,7275	53,26	58,5	46,2475	51,2675	51,33	45,8425	52,99	47,485	44,765	39,0525	41,65	43,9	45,195	44,3825
Skewness	1,382842	0,8193396	0,8731233	0,8990997	2,205367	1,542915	1,694182	0,3719454	0,9258269	1,07946	-0,415131	-1,24957	-0,193067	1,032668	0,8463481	-1,046933
Kurtosis	2,404969	-0,789674	-0,607801	0,7551617	5,55737	2,351684	3,407317	-1,480052	0,521265	1,101973	-0,812734	2,076487	-0,728867	2,267543	1,15034	3,469787
Geom. mea	33,8385	47,04387	44,32053	48,04723	44,52115	43,9315	45,93957	40,38012	43,57686	43,56067	40,35459	36,51976	39,0967	40,42673	41,32182	41,70365
Coeff. var	24,86371	27,76518	19,76977	26,57951	22,4307	25,17723	25,58333	12,86833	26,73011	12,02856	10,54008	8,691498	8,548377	15,5595	14,26604	13,2602

	65 °C						75 °C				
	m16	m17	m18	m19	m20	m21	m22	m23	m24	m25	
N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
Min	33,07	35,41	29,36	33,43	35,45	36,58	34,51	29,02	31,64	33,63	
Max	50	43,88	47,41	59,51	43,59	49,9	48,07	49,9	72,38	54,48	
Sum	344,13	315,85	327,22	354,07	315,39	336,99	347,68	313,6	333,76	336,03	
Mean	43,01625	39,48125	40,9025	44,25875	39,42375	42,12375	43,46	39,2	41,72	42,00375	
Std. error	1,864186	1,037916	1,869814	3,782613	1,10931	1,663878	1,683126	2,997729	4,583946	2,079231	
Variance	27,80151	8,618155	27,96965	114,4653	9,844541	22,14791	22,66331	71,89103	168,1005	34,5856	
Stand. dev	5,272714	2,935669	5,288634	10,69885	3,137601	4,706157	4,7606	8,478858	12,96536	5,880952	
Median	42,82	39,64	41,715	40,765	39,795	42,96	45,105	40,1	37,67	41,345	
25 prcntil	40,3825	36,715	39,8825	35,385	36,175	37,3375	39,395	29,9825	34,8125	39,3675	
75 prcntil	47,0875	42,155	43,6275	56,725	42,155	45,04	46,4425	47,9575	42,5775	43,185	
Skewness	-0,7048961	0,1287888	-1,568468	0,6513986	-0,092291	0,2380474	-1,342033	-0,03246	2,353925	1,240081	
Kurtosis	0,7727169	-0,927889	3,718708	-1,348852	-1,818975	-0,860616	0,5646804	-1,791681	6,016029	3,479436	
Geom. mea	42,71654	39,38589	40,56313	43,18677	39,31381	41,89509	43,21215	38,37834	40,37481	41,66538	
Coeff. var	12,25749	7,435604	12,92986	24,1734	7,958657	11,17222	10,95398	21,62974	31,07708	14,00102	

En la **Figura 14**, el grupo control presentó una desviación estándar de 8,62 y una varianza de 74,32, lo que se traduce en un coeficiente de variación (CV) de 24,86%. Este valor, relativamente elevado para una muestra de referencia, sugiere una dispersión intrínseca considerable de la fibra de alpaca previa al tratamiento químico.

Al comparar las medias de elongación de los grupos tratados frente al control, se evidenció un aumento sistemático en todas las temperaturas y tiempos evaluados que oscilan entre +15,6 (55 °C) y +34,7 (35 °C). No obstante, el análisis del coeficiente de variación por temperatura reveló un comportamiento no lineal: mientras que a temperaturas de 35 °C y 75 °C los grupos mantuvieron un CV promedio cercano al 20 y 25 %, mientras que a 55 °C y 65 °C se observó una reducción relativa de la dispersión con un CV promedio ≈ 13 – 14%.

Cabe destacar que, para la confiabilidad del análisis, fue la identificación de asimetrías y curtosis alejadas de los valores esperados en una distribución normal en determinados grupos. En particular, la muestra m4 (35 °C; 35 min), con 2,21 de asimetría y 5,56 de curtosis, mientras que la muestra m24 (75 °C: 35 min) registró los valores más extremos del ensayo (asimetría = 2,35; curtosis = 6,02; varianza = 168,10), lo que evidenció la presencia de valores atípicos que incrementan tanto el error estándar como la dispersión absoluta de dichos grupos. En contraste, los grupos de la muestra m11 y la muestra m12 (55 °C) exhibieron menores coeficientes de variación (8,69% y 8,55%, respectivamente), constituyendo las condiciones experimentales de mayor precisión del ensayo.

Esto quiere decir que, si bien las diferencias porcentuales observadas en las medias sugieren una tendencia hacia el incremento de la elongación con el tratamiento alcalino, la magnitud de la varianza intragrupo introduce un nivel de estadística que impide atribuir dicho aumento al efecto de NaOH.

4.4. Discusión de resultados.

En este apartado se presenta el análisis de los resultados obtenidos en hilos de alpaca 100% con título 1,1 Nm tratados con hidróxido de sodio (NaOH) a diferentes temperaturas (35 °C, 45 °C, 55 °C, 65 °C y 75 °C) y tiempos de exposición (20 min, 25 min, 30 min, 35 min y 40 min),

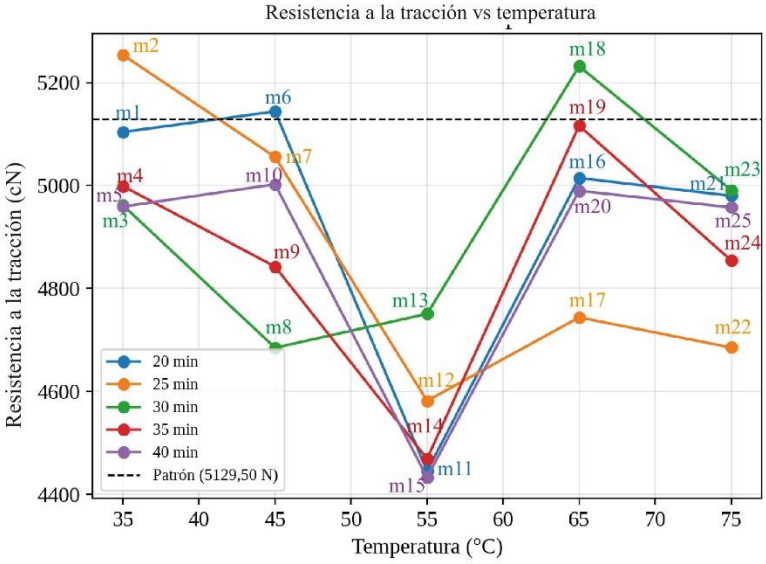
manteniendo un pH constante de 9, para lo cual se consideró la media aritmética de los ensayos realizados en el dinamómetro Titán 5. El método empleado para el análisis y discusión consistió en contrastar los hallazgos obtenidos en cada combinación de temperatura y tiempo. De igual manera, se discuten las limitaciones metodológicas del estudio, particularmente la variación del título del hilo a lo largo del lote (1,04-1,13 Nm) y la ausencia de réplicas independientes por combinación temperatura-tiempo, factores que podrían haber influido en la magnitud y consistencia de los resultados obtenidos.

4.4.1. Análisis de los datos de resistencia a la tracción de los especímenes

En el siguiente apartado se detalla el comportamiento de los especímenes expuestos a una disolución de sosa cáustica ajustada a un pH 9 a temperaturas de 35, 45, 55, 65 y 75 °C por tiempos de 20, 25, 30, 35 y 40 minutos haciendo una comparación entre cada una de las muestras con respecto a la muestra patrón o muestra control; para ello se optó por gráficas de dispersión de la resistencia a la tracción: una en función de la temperatura y otra a en función del tiempo.

Figura 15

Resistencia a la tracción del hilo de alpaca en función de la temperatura

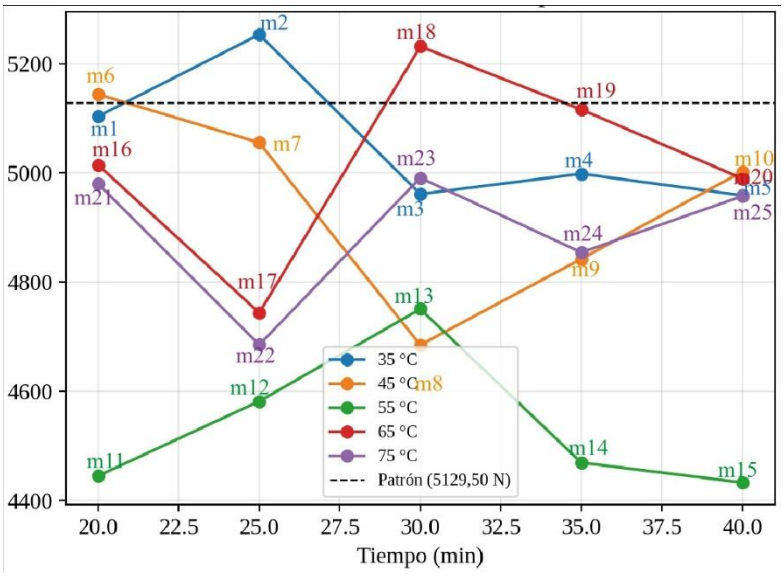


En la **Figura 15** se observan dos valores que superan al de la muestra control (51289,5 cN) en la muestra m2 (35 °C; 25 min) con el valor más alto del ensayo, situado en 5253,47 cN, seguido de la muestra m18 (5231,56 cN), tratada a 65 °C por 30 minutos. A 55 °C se registra el valor con mayor pérdida de resistencia del ensayo en la muestra m15 (4433,25 cN), cuyo tiempo de inmersión fue de 40 min en la solución de sosa cáustica, además, presenta el grupo de mayor dispersión y asimetría del experimento. Los datos muestran un patrón descendente de la resistencia a la tracción conforme aumenta la temperatura hasta los 55 °C, seguido de valores más altos a 65 °C y una nueva disminución a 75 °C.

Sin embargo, dado que el diseño experimental no contó con réplicas independientes por combinación temperatura-tiempo y que se identificó variación en el título del hilo a lo largo del lote (1,04-1,13 Nm), este patrón no puede interpretarse como evidencia de degradación progresiva ni de recuperación real a 65 °C. Algunas explicaciones alternativas plausibles incluyen la variabilidad natural entre segmentos y madejas del mismo cono, el efecto residual de las diferencias de título entre probetas e incluso algún error experimental del procedimiento de ensayo.

Figura 16

Resistencia a la tracción del hilo de alpaca en función del tiempo



En la **Figura 16** se evidencia que la resistencia a la tracción del hilo de alpaca en función del tiempo no presenta una tendencia lineal con el incremento del tiempo de inmersión. Lo que determina es que a 25 minutos se alcanza el punto más alto con 5253,47 cN en la muestra m2, y un segundo valor a 30 minutos en la muestra m18 con 5231,56 cN, por encima de la muestra patrón con 5129,50 cN. Pese a que las muestras m11 a m15, que son aquellas tratadas a 55 °C, registran los valores más bajos de la resistencia a la tracción.

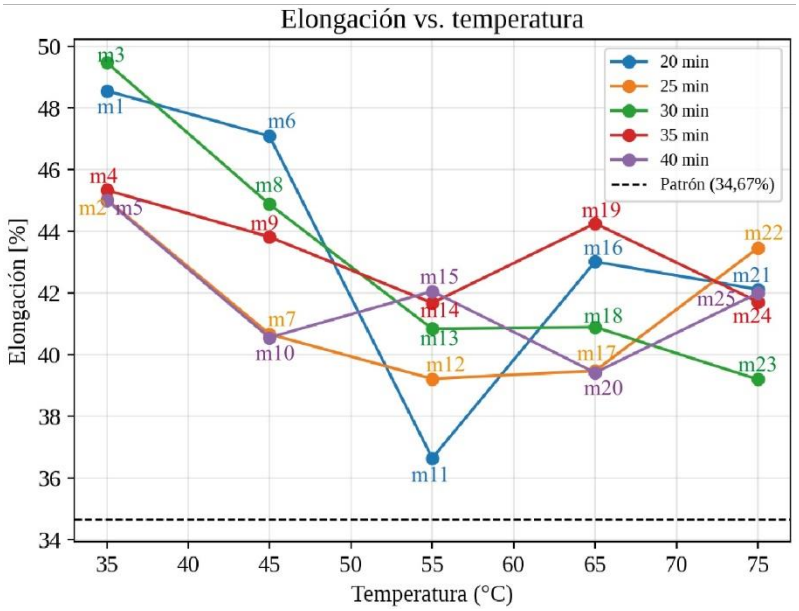
En síntesis, en la figura de la resistencia a la tracción en función de la temperatura se muestra una tendencia clara, pues presenta una pérdida de resistencia a la tracción hasta los 55 °C, para posteriormente presentarse una aparente recuperación del hilo de alpaca. En contraparte, la figura de la resistencia a la tracción en función del tiempo no presenta una tendencia clara para ninguno de los tiempos evaluados.

4.4.2. Análisis de los datos de la elongación de los especímenes

A continuación, se analiza el comportamiento de la elongación de los especímenes tratados con NaOH a pH 9 en comparación con la muestra control. Para representar las variaciones encontradas en la investigación, se emplearon diagramas de dispersión en función de la temperatura y del tiempo de inmersión de los hilos de alpaca 100% con título 1,1 Nm.

Figura 17

Elongación del hilo de alpaca en función de la temperatura

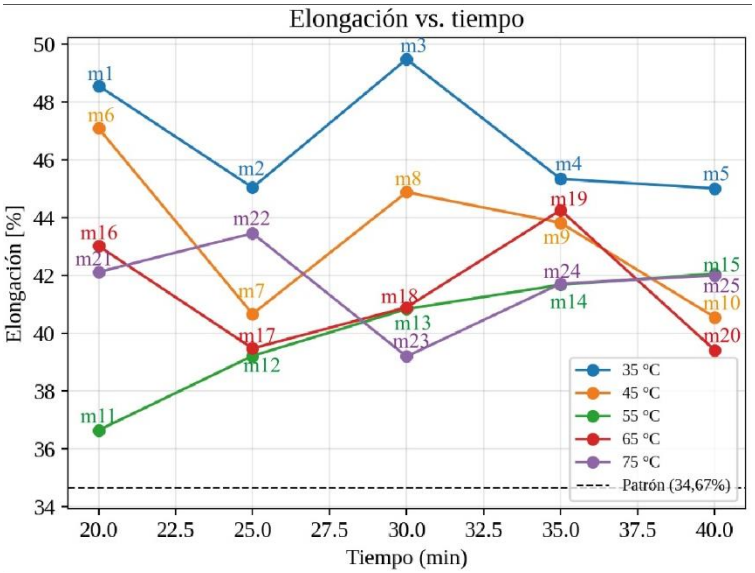


La dispersión generada en la elongación (**Figura 17**), muestra una tendencia decreciente entre 35 y 55 °C; la temperatura de 55 °C constituye el punto crítico de elongación del hilado, en donde la muestra m11 (tratada durante 20 minutos) alcanza el valor más bajo de elongación en todo el ensayo, con 36,65%, cifra que se distancia tanto del resto de tiempos de exposición del mismo grupo como del promedio general a 55 °C (40,09%); esto demuestra una marcada sensibilidad a la pérdida de la elongación de la fibra de alpaca frente al tiempo de tratamiento alcalino con sosa cáustica a esta temperatura.

En resumen, la elongación desde un punto de vista de la temperatura presenta una tendencia decreciente desde 35 °C hacia los 55 °C, siendo 55 °C la temperatura crítica de tratamiento para el hilo de alpaca. Cabe destacar que la elongación en cada una de las temperaturas supera el valor de la muestra control.

Figura 18

Elongación del hilo de alpaca en función del tiempo



La **Figura 18** indica que las 25 muestras tratadas con NaOH presentaron medias de elongación superiores a la muestra patrón (34,67% ± 8,62; CV = 24,86%), independientemente del tiempo de exposición (20 min, 25 min, 30 min, 35 min y 40 min), sin presentar una tendencia lineal definida. Cabe señalar que esta comparación se basa en valores promedio y no en diferencias significativas, dado que el análisis de varianza no confirmó diferencias robustas frente al de la muestra patrón, se registró que a 30 minutos de exposición al medio alcalino la elongación alcanzó el nivel máximo de 49,48% en la muestra m3 (35 °C). Sin embargo, la curva generada con los datos de las muestras m11 a m15, tratadas a 55 °C (CV promedio ≈ 13,2%), presentó una tendencia creciente y casi lineal, iniciando en m11 con el valor más bajo del grupo (36,65%) e incrementándose de forma progresiva hasta alcanzar una estabilización entre la muestra m14 (41,68%) y la muestra m15 (42,06%)

En general, tanto en elongación en función de la temperatura como en la elongación en función del tiempo, los resultados indican que; la elongación muestra un incremento en la totalidad de las muestras en comparación con la muestra patrón. Además, se denota que la gráfica de la elongación en función de la temperatura presenta una tendencia clara, al registrarse una caída a los 55 °C y una aparente recuperación hacia los 65 °C. Por otro lado, la gráfica de la elongación en

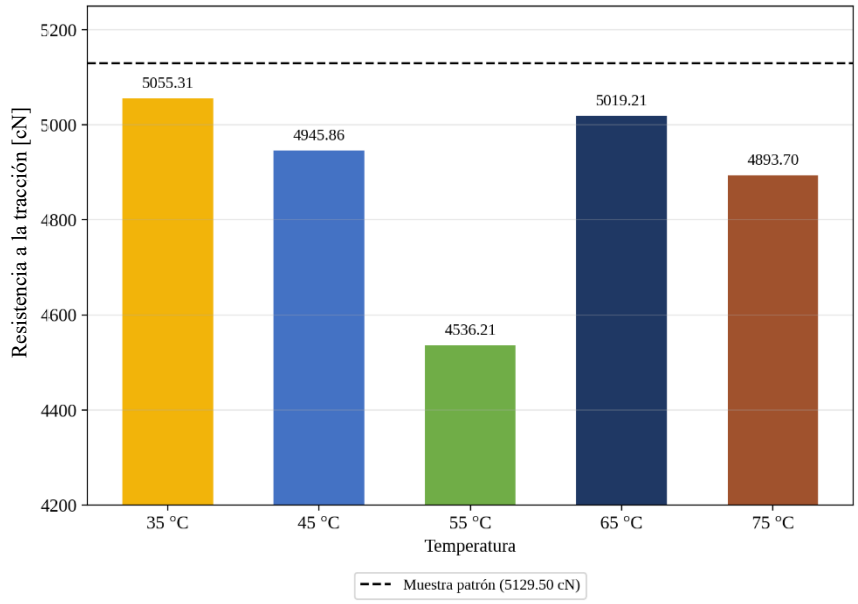
función del tiempo no presenta una tendencia clara, salvo el caso particular de la curva generada por las muestras tratadas a 55 °C (m11-m15), que tiene una tendencia creciente de la elongación para los tiempos evaluados.

4.4.3. Análisis general del experimento de resistencia a la tracción en el que consta: resistencia a la tracción y elongación

Para finalizar el análisis del estudio, se evaluó el comportamiento mecánico de los especímenes de hilo de alpaca resultantes del proceso de inmersión en sosa cáustica a pH 9, se utilizó el valor de perfiles descriptivos por combinación. Con el fin de visualizar de manera clara y comparativa las tendencias del material, se seleccionó una representación mediante gráficos de barras, permitiendo contrastar simultáneamente la respuesta en fuerza máxima y en elongación frente al tratamiento térmico aplicado.

Figura 19

Resistencia a la tracción promedio del hilo de alpaca a diferentes temperaturas



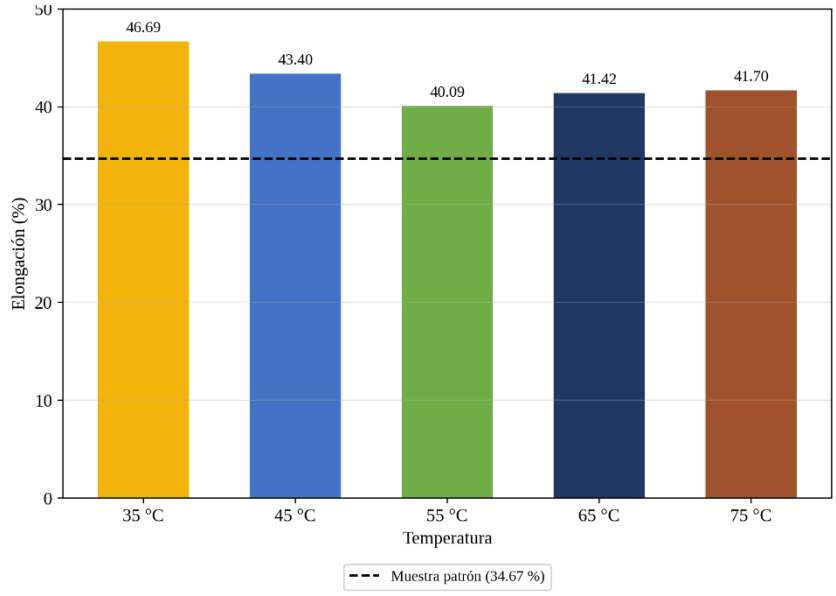
La

Figura *19* se establece que el promedio de la resistencia a la tracción de las cinco temperaturas evaluadas no alcanzó ni superó la resistencia a la tracción de la muestra control, que es de 5129,50 cN, lo que evidencia que el tratamiento con NaOH a pH 9 disminuyó la resistencia a la tracción del hilo de alpaca en todas las temperaturas evaluadas. A 35 °C con 5055,31 cN se registró el valor promedio más cercano de la resistencia a la tracción con respecto al valor de la muestra patrón, seguido por 65 °C con sus 5019,21 cN.

En contraste, la barra correspondiente a 55 °C presentó el menor grado de resistencia a la tracción promedio con 4536,21 cN. Asimismo, se identificó una recuperación parcial de la fuerza máxima a 65 °C con 5019,21 cN y a 75 °C con 4893,70 cN, aunque ninguna condición experimental logró igualar el comportamiento mecánico de la muestra sin tratamiento. En los promedios observados, la mayor disminución de la resistencia a la tracción ocurrió a 55 °C, patrón que se mantuvo relativamente consistente entre distintos tiempos de exposición evaluados en esa temperatura.

Figura 20

Elongación promedio del hilo de alpaca a diferentes temperaturas



La **Figura 20** muestra que en todas las temperaturas evaluadas (35, 45, 55, 65 y 75 °C), los valores de elongación de los tratamientos con NaOH a pH 9 fueron superiores a los de la muestra de control, correspondiente a 34,67%. La temperatura de 35 °C presenta el mayor promedio observado con 46,69% de elongación; a partir de esta temperatura se observó una tendencia descendente y una relativa estabilidad en los valores de elongación. En síntesis, la sosa cáustica incrementa la elongación del hilo bajo cualquier temperatura, presentando la máxima longitud previa a la rotura a 35 °C y un comportamiento considerablemente más estable y menos severo en temperaturas medias y altas que el registrado para la resistencia a la tracción.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

- A partir de la revisión de fuentes científicas sobre el efecto del hidróxido de sodio (NaOH) en las fibras queratínicas, particularmente en el hilo de alpaca, se identificó una limitada evidencia en las fuentes consultadas sobre el efecto de los tratamientos alcalinos en la resistencia a la tracción y elongación de hilados de alpaca. La literatura revisada permitió reconocer que los tratamientos alcalinos pueden modificar las propiedades de las fibras proteicas, lo que sustenta la pertinencia de analizar experimentalmente su comportamiento mecánico en hilados de alpaca bajo condiciones controladas.
- Al someter las muestras de hilo de alpaca a un tratamiento alcalino con hidróxido de sodio (NaOH) a pH 9, mediante un proceso por agotamiento en una máquina de tintura tipo laboratorio de vaivén, se evaluó el efecto de la temperatura (35, 45, 55, 65 y 75 °C) y del tiempo de exposición (20, 25, 30, 35 y 40 minutos) sobre las propiedades mecánicas del hilo. De acuerdo con los resultados obtenidos, la muestra m2, tratada a 35 °C por 25 minutos, presentó el mayor valor de resistencia a la tracción, con 5253,47 cN, superando el valor de la muestra patrón de 5129,50 cN. En cuanto a la elongación, la muestra m1, sometida igualmente a 35 °C por 20 minutos, alcanzó un valor de 48,54%, mientras que la mayor elongación observada correspondió a la muestra m3, tratada a 35 °C por 30 minutos, con 49,48%. Por tanto, las condiciones evaluadas a 35 °C presentaron los valores más favorables observados para las propiedades mecánicas analizadas.
- Mediante el empleo del dinamómetro TITÁN 5 y del sistema operativo TestWise™ bajo la norma ISO 2062:2009, se evaluó el comportamiento de la resistencia a la tracción de los hilos de alpaca sometidos al tratamiento alcalino con hidróxido de sodio. Los resultados evidenciaron un comportamiento no lineal en función de la temperatura y el tiempo de tratamiento. La muestra m2 presentó el mayor valor de resistencia, alcanzando 5253,47 cN bajo las condiciones de 35 °C por 25 minutos de inmersión, mientras que, la muestra m15, presentó un menor valor con 4433,25 cN a 55 °C durante 40 minutos. Dentro de la matriz de experimentación, las condiciones de 35 °C

durante 25 y 30 minutos presentaron los valores más favorables de resistencia, mientras que a 55 °C durante 40 minutos se registró la mayor pérdida de resistencia a la tracción. Estos resultados caracterizan el comportamiento de la resistencia a la tracción bajo las condiciones evaluadas, sin establecer condiciones óptimas generales, por lo que se pudo observar que el incremento de la temperatura en este análisis genera un efecto desfavorable en las propiedades mecánicas del hilo.

- Con respecto al porcentaje de elongación, los resultados obtenidos evidenciaron un incremento de esta propiedad en todas las muestras sometidas al tratamiento con sosa cáustica, en comparación con la muestra patrón, cuyo valor de elongación fue de 34,67%. La mayor elongación se registró en la muestra m3 tratada a 35 °C durante 30 minutos, alcanzando un valor de 49,48%, lo que representa un incremento de 14,81 puntos porcentuales, lo que se traduce en un 42,72% más que el de la muestra patrón. Por otra parte, el menor porcentaje de elongación se obtuvo en la muestra m11, tratada a 55 °C durante 20 minutos, con un valor de 36,65%. A pesar de que presenta el menor valor entre las muestras tratadas, este valor se mantiene por encima del registrado en la muestra patrón. En términos generales, las muestras tratadas presentaron valores de elongación superiores a la muestra patrón en las condiciones experimentales evaluadas
- El análisis de la resistencia a la tracción del hilo de alpaca, considerando los 5 tiempos de tratamiento para cada una de las cinco temperaturas evaluadas, evidenció una pérdida promedio de 239,44 cN con respecto a la muestra patrón cuyo valor de resistencia fue 5129,50 cN, obteniéndose una resistencia promedio de 4890,06 cN, en las muestras tratadas. Por otro lado, el comportamiento presentó una tendencia irregular en función de la temperatura y el tiempo de tratamiento, identificándose la mayor pérdida de resistencia promedio a 55 °C con una disminución de 593,29 cN respecto a la muestra patrón. En cuanto al porcentaje de elongación, el promedio global de las 25 mediciones fue de 42,66%, frente al 34,67% de la muestra patrón, lo que representa una diferencia de 7,99 puntos porcentuales, en comparación con el valor de la muestra patrón que fue de 34,67%. A 35 °C, se presentaron los valores de elongación más elevados, registrando un valor máximo individual de 49,48%, mientras que el menor valor promedio entre las temperaturas evaluadas fue de 40,09%.
- Al analizar las propiedades mecánicas evaluadas, se observó que la temperatura de 35 °C presentó el mejor equilibrio entre elongación y resistencia a la tracción dentro de la matriz

estudiada, al favorecer la elongación del hilo de alpaca y, simultáneamente, presentar la menor pérdida promedio de resistencia a la tracción, con un valor de 5055,31 cN. En este sentido, 35 °C puede considerarse la condición con el mejor equilibrio que se ha observado, principalmente por el comportamiento conjunto de las propiedades mecánicas evaluadas, constituyendo una referencia preliminar del tratamiento del hilo de alpaca. Esta apreciación debe interpretarse en función de las condiciones experimentales analizadas, debido a las limitaciones en el número de réplicas, a la ausencia de controles sin tratamiento alcalino bajo las mismas condiciones de tiempo y temperatura, a la precisión del control y medición del pH.

5.2. Recomendaciones

- Ampliar la revisión bibliográfica relacionada con la modificación alcalina de fibras proteicas, incorporando investigaciones sobre la cinética de degradación alcalina y la formación de L-lantionina en fibras de camélidos sudamericanos. Aunque existen estudios ampliamente documentados para la lana, persiste un número limitado de investigaciones enfocadas específicamente en la fibra de alpaca, lo que representa una oportunidad para fortalecer el conocimiento científico.
- Desarrollar replicas experimentales independientes para cada combinación de condiciones, además, se recomienda incorporar controles sin NaOH, sometidos al mismo tiempo y temperatura, que los tratamientos alcalinos. Asimismo, efectuar procedimientos de aleatorización en el orden de medición de ensayos, realizar una medición instrumental del pH y registrar de manera sistémica la concentración del NaOH y la relación de baño empleada en cada tratamiento. Estas acciones permitirán darle sustento a la validez y replica de los resultados obtenidos. Una vez asegurada esta base experimental, futuras investigaciones podrán incorporar un mayor número de temperaturas intermedias especialmente entre 45 °C y 65 °C. Esto permitirá definir con mayor precisión el intervalo térmico en el que ocurre la transición entre la disminución y la recuperación parcial de la resistencia a la tracción, además de incrementar la robustez estadística de los resultados
- Es recomendable que se complemente la evaluación mecánica realizada conforme a la NTE INEN-ISO 2062:2009 con técnicas de caracterización química y morfología estructural, tales como espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) o microscopía electrónica de

barrido (SEM) como parte de futuras indagaciones orientadas a la validación de posibles cambios asociados al tratamiento alcalino. Esto permitiría profundizar la relación entre las variaciones observadas en las propiedades mecánicas y posibles cambios químicos y morfológicos en el material, aportando evidencia complementaria para sustentar futuras interpretaciones sobre el efecto del tratamiento alcalino en hilado de alpaca.

- Se recomienda ampliar la presente investigación mediante la evaluación de distintos niveles de alcalinidad, concentraciones de NaOH y diferentes títulos de hilo de alpaca 100%, a fin de determinar con mayor precisión los límites de estabilidad mecánica de la fibra frente a tratamientos alcalinos. Asimismo, estos estudios permitirán establecer condiciones de procesamiento que optimicen propiedades específicas del hilado, preservando su integridad estructural y favoreciendo su potencial aplicación en procesos textiles.
- Se recomienda que los resultados obtenidos en esta investigación sean considerados como referente preliminar para futuras investigaciones que contemplen tratamientos alcalinos en hilados de alpaca, particularmente en aplicaciones donde se requiera un equilibrio entre la resistencia mecánica y capacidad de deformación. La información generada constituye un aporte técnico inicial que puede servir como base para el desarrollo de estudios posteriores que incorporen: distintas formulaciones, niveles de pH, condiciones de tratamiento, control experimental, etc. con la finalidad de evaluar la reproducibilidad y establecer pertinencia en procesos de acabado textil.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adrian, I. (2019, May 29). *Proceso que no deja huella ecológica en los Andes del Perú* . Cambridge University Press (CUP). Producción de Fibra de Alpaca, Ejemplo de Sostenibilidad. https://doi.org/10.1017/S0014479702211059

Aguilar Figueroa, F., & Beltrán Cañari, Y. (2022). Efecto del mordiente y el tiempo en la solidez del teñido de hilo de ovino y alpaca con flores de manzanilla (Matricaria chamomilla L.). *Repositorio UNSAAC*. https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/6919/253T20220383_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Archiniega, S. (2013). *Mejoramiento de la productividad en la hilatura manual de fibra de alpaca en la comunidad Morochos-Cuycocha-Cotacachi*.

Asamblea Constituyente. (2008). CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. In *Registro Oficial* (Vol. 449, Number 20, pp. 25–2021). https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf

Cáceres, S. (2020). *Sistemas biodegradables en el lavado ecológico de fibra de alpaca*. https://dspace.espoch.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/7557770a-6915-4a3d-9a3d-ce4e69335556/content

Cegarra Sánchez, D. J. (2007). Solubilidad alcalina de la lana*. *Repositorio UPC*, 47. https://upcommons.upc.edu/server/api/core/bitstreams/efab83af-1656-44ba-89dc-80289d1cba03/content

Condori, G., Maldonado, A., Mamaní, L., Pacompia, W., Quea, Á., Rodrigo, M., Rojas, M., & Sumi, D. (2023). Análisis de finura y medulación de la fibra de alpaca y llama en las ferias de exposición de camélidos sudamericanos agropecuarias y artesanales a nivel de la provincia de Carabaya. *Portal Universitario UNAJ*.

https://www.portal.unaj.edu.pe/sites/default/files/proyeccion-social-informes2024/5%20Informe%20final%20grupo%20Alto%20Andina.pdf

De la Cruz, L. (2017). Rendimiento de la fibra de alpaca categorizada a la clasificación en cuatro asociaciones de productores en la provincia de Lucanas y Sucre – Región Ayacucho. *Repositorio Digital UNPC*. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/2896/De%20La%20Cruz%20Rojas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Esparza, D. (2011). Hilatura de Fibras Largas. *Repositorio Digital UTN*, 32. https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/730/6/04%20IT%20001%20CAPITULO%20V.pdf

Filtración y Análisis. (2024). *Papel Indicador de Ph 0-14 Varill | Laboratorio*. https://filtracionyanalisis.com/producto/papel-indicador-de-ph-0-14-varill/

Gacén, J. (2007). Aspectos químicos del blanqueo de la lana con peróxido de hidrógeno: Modificación química de la queratina. *Universidad Politécnica de Catalunya* , 43–69. https://upcommons.upc.edu/server/api/core/bitstreams/998a579e-3a40-4e04-aa3b-c8d44f80813a/content

Gaibor, E. (2024). Evaluación de la resistencia a la tracción de un tejido plano de algodón 100% al aplicar sosa cáustica (NaOH) por el método de agotamiento. *Repositorio UTN*. https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/15810/2/04%20IT%20380%20TRABAJO%20GRADO.pdf

Gallardo, E. (2017, July). *Metodología de la investigación*. Primera Edición. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/4278/1/DO_UC_EG_MAI_UC0584_2018.pdf

Gavin Leo. (2025, February 10). *Resistencia máxima a la tracción explicada*. https://www.madearia.com/es/blog/ultimate-tensile-strength-explained/

Google Maps. (2023). *Estadio UTN* . https://www.google.com/maps/place/Estadio+UTN,+Morona+Santiago+y+Luciano+Solano

+Sala+3-31+Y,+Ibarra/@0.3779849,-78.1340172,3216m/data=!3m2!1e3!4b1!4m6!3m5!1s0x8e2a3b450cb717ad:0x5c4df0dbf9eded20!8m2!3d0.377985!4d-78.123696!16s%2Fg%2F11yh3r3vby?hl=es&entry=ttu&g_ep=EgoyMDI2MDkwMi4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D

Granados, P. (2017). *Estado del arte del conocimiento de la histofisiología del folículo piloso*.

Hernández Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). McGRAW-HILL. https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf

Huaman, W. (2023). *Características de la fibra de alpaca (Vicugna pacos) de la comunidad Huanacopampa de Nuñoa-Melgar*.

InsacCars. (2024). *AGUA DESTILADA archivos | InsacCars*. https://insaccars.com/categoria-producto/mantaut/ad/

ISO, O. I. de N. (2009). *ISO 2062:2009 - Textiles — Hilos de paquetes — Determinación de la fuerza de rotura de un solo extremo y la elongación a la rotura mediante un probador de velocidad de extensión constante (CRE).* Edición 3. https://www.iso.org/standard/45642.html

James Heal. (2019). *Titán | James Heal*. https://www.jamesheal.com/es/instrument/titan5

Jingjiang Huaxia Technology Co., Ltd. (2024). *Máquina de teñido de alta temperatura y alta presión (HTHP) RJ*. http://www.jjhuatai.com/en/ProductShow.asp?ID=14&ClassID=2

Kemcare. (2019). *Sosa Escamas*. https://kemcare.com.mx/product/sosa-escamas/

Laboratoriumdiscounter. (2021). *Ficha de datos de seguridad del hidróxido de sodio >99%*. 1–16. https://cdn.webshopapp.com/shops/286851/files/378112574/sdb-9356-es-es.pdf

Lakshmanan, A., Jose, S., & Chakraborty, S. (2016). Fibras capilares de lujo para la industria de la moda. *Environmental Footprints and Eco-Design of Products and Processes*, 1–38. https://doi.org/10.1007/978-981-10-0522-0_1/SAVE-RESEARCH

Larios, R., Cárdenas, O., Rodríguez, F. H., Ccopa, J., Condori, A., Hernández, W., Chaves, L., Díaz, B., Chavez, R., Sanchez, J., & Galvez, C. (2023). Características textiles de la fibra de alpaca Huacaya, según zonas agroecológicas, sexo y edad en la Región Puno (Perú). *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, *34*(2). https://doi.org/10.15381/rivep.v34i2.21356

Lindberg, M. R., & Lamps, L. W. (2018). Introducción a la histología. *Diagnostic Pathology: Normal Histology*, 12–21. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-54803-8.50008-5

Lockuán, F. (2013, May 15). *III. La industria textil y su control de calidad*. https://archive.org/details/III.LITYSCDC/mode/2up

McGregor, B. A., & Quispe Peña, E. C. (2018). Morfología de la cutícula y de las células corticales de la alpaca y otras fibras animales poco comunes. *The Journal of The Textile Institute*, *109*(6), 767–774. https://doi.org/10.1080/00405000.2017.1368112

Ministerio del Ambiente, A. y T. E. (2017, April 6). *Código Orgánico del Ambiente - Repositorio digital*. https://sustanciasyresiduos.ambiente.gob.ec/producto/codigo-organico-del-ambiente/

Mucha, A., & Janeczek, M. (2018). Morphological and elemental analysis of alpaca hair using scanning electron microscopy with energy-dispersive X-ray spectroscopy (SEM-EDX). *Medycyna Weterynaryjna*, *74*(5), 295–300. https://doi.org/10.21521/MW.6046

Orjuela, J. (2024). Desarrollo de metodologías para la obtención de productos a base de queratina a partir de residuos de la industria avícola: caracterización fisicoquímica y aplicaciones tecnológicas ambientales. *Repositorio Institucional de La UNLP*. https://doi.org/10.35537/10915/163171

Paucar, R., Alfonso, L., Soret, B., Mendoza, G., & Alvarado, F. (2019). Características textiles de la fibra de alpaca Huacaya (Vicugna pacos). *Scientia Agropecuaria*, *10*(3), 429–432. https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2019.03.14

Quispe Coaquira, J. E., Apaza Zúñiga, E., & Olarte Daza, C. U. (2021). Características físicas y perfil de diámetro de fibra de alpacas Huacaya del Centro Experimental La Raya (Puno, Perú),

según edad y sexo. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, *32*(2). https://doi.org/10.15381/rivep.v32i2.20004

Ramos-Galarza, C. (2021). Diseños de investigación experimental. *CienciAmérica*, *10*(1), 1–7. https://doi.org/10.33210/ca.v10i1.356

Real Academia de la lengua Española. (2024). *Tracción | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE*. https://dle.rae.es/tracci%C3%B3n

Sepúlveda Arias, J. C., Melchor Cárdenas, J. J., Socarrás Cárdenas, A., Mantilla Muriel, L. E., & Mancilla Estancio, L. I. (2020). Biotecnología y sus aplicaciones en el sector salud. *Universidad Tecnológica de Pereira*. https://doi.org/10.22517/9789587224399

T. Kopsic, Dr. G. Malek, & Ing. Qco. A. Hack. (1965). *Lantionina. Conceptos modernos. Importancia. Contenidos en lanas argentinas.* https://digital.cic.gba.gob.ar/server/api/core/bitstreams/f3d6576b-0f57-4bc1-8c71-882b8aaef5b5/content

Universidad Autónoma de México UNAM. (2008). *Hoja de seguridad II: hidróxido de sodio*. 1–4.

Universidad Técnica del Norte. (2022). *Convocatoria Investiga UTN 2022*. https://www.utn.edu.ec/investiga2022/

Valentino, M., Behal, J., Tonetti, C., Carletto, R. A., Itri, S., Memmolo, P., Stella, E., Miccio, L., Bianco, V., & Ferraro, P. (2024). Identificación de fibras textiles mediante un microscopio holográfico digital sensible a la polarización y el aprendizaje automático. *Optics and Lasers in Engineering*, *181*, 108395. https://doi.org/10.1016/J.OPTLASENG.2024.108395

ANEXOS

Anexo 1

Ficha técnica del hidróxido de sodio (NaOH)

HOJA DE SEGURIDAD II
HIDROXIDO DE SODIO

FORMULA: NaOH.
PESO MOLECULAR: 40.01 g/mol
COMPOSICION: Na: 57.48 %; H: 2.52 % y O:40.00%

GENERALIDADES:

El hidróxido de sodio es un sólido blanco e industrialmente se utiliza como disolución al 50 % por su facilidad de manejo. Es soluble en agua, desprendiéndose calor. Absorbe humedad y dióxido de carbono del aire y es corrosivo de metales y tejidos.

Es usado en síntesis, en el tratamiento de celulosa para hacer rayón y celofán, en la elaboración de plásticos, jabones y otros productos de limpieza, entre otros usos.

Se obtiene, principalmente por electrólisis de cloruro de sodio, por reacción de hidróxido de calcio y carbonato de sodio y al tratar sodio metálico con vapor de agua a bajas temperaturas.

NUMEROS DE IDENTIFICACION:

CAS: 1310-73-2
UN: sólido:1823
disolución: 1824
NIOSH: WB 4900000
NOAA: 9073
STCC: 4935235

RTECS: WB4900000
NFPA: Salud:3 Reactividad:1 Fuego: 0
HAZCHEM CODE: 2R
El producto está incluido en : CERCLA, EHS, SARA, RCRA.
MARCAJE:SOLIDO CORROSIVO.

SINONIMOS:

SOSA
SOSA CAUSTICA
LEJIA
Otros idiomas:
HYDROXYDE DE SODIUM (FRANCES)
NATRIUMHYDROXID (ALEMAN)
AETZNATRON (ALEMAN)
NATRIUMHYDROXYDE (HOLANDES)
SODIO(IDROSSIDO DI) (ITALIANO)

En inglés:
ASCARITE
CAUSTIC SODA
COLLO-GRILLREIN
COLLO-TAPETTA
LEWIS-RED DEVIL LYE
SODIUM HYDRATE
SODIUM HYDROXIDE
LYE
SODA LYE
WHITE CAUSTIC

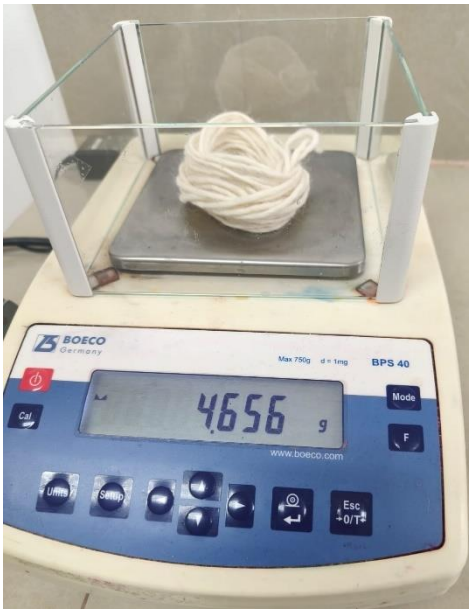
PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS:

Punto de ebullición: 1388ºC (a 760 mm de Hg)
Punto de fusión: 318.4 ºC
Indice de refracción a 589.4 nm: 1.433 (a 320 ºC) y 1.421 (a 420 ºC)
Presión de vapor: 1mm (739 ºC)
Densidad: 2.13 g/ml (25 ºC)
Solubilidad: Soluble en agua, alcoholes y glicerol, insoluble en acetona (aunque reacciona con ella) y éter. 1 g se disuelve en 0.9 ml de agua, 0.3 ml de agua hirviendo, 7.2 ml de alcohol etílico y 4.2 ml de metanol.
pH de disoluciones acuosas (peso/peso): 0.05 %:12; 0.5 %: 13 y 5 %: 14

Fuente: (Universidad Autónoma de México UNAM, 2008)

Anexo 2

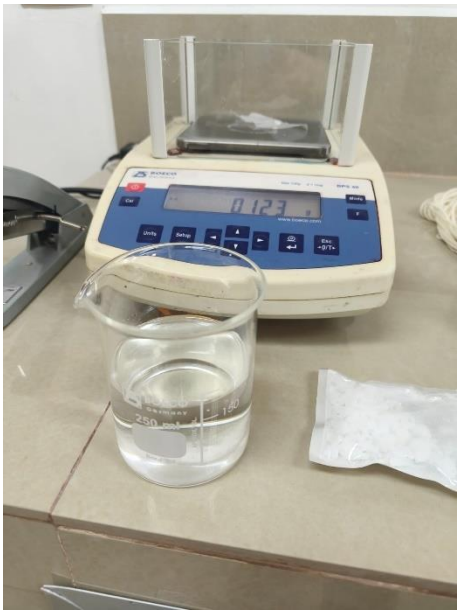
Toma de muestras





Anexo 3

Preparación de la disolución de sosa cáustica









Anexo 4

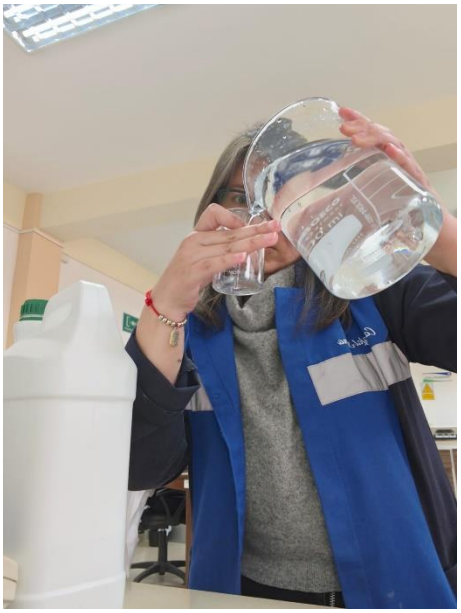
Programación de la máquina de tintura por oscilamiento





Anexo 5

Colocación tanto de la muestra como de la disolución en el matraz





Anexo 6

Inmersión de los matraces en la máquina de tintura de vaivén



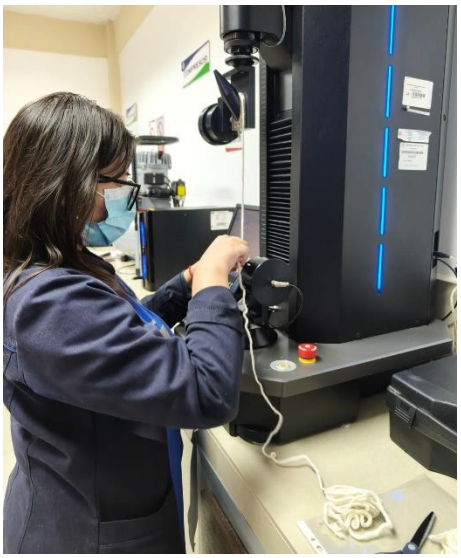
Anexo 7

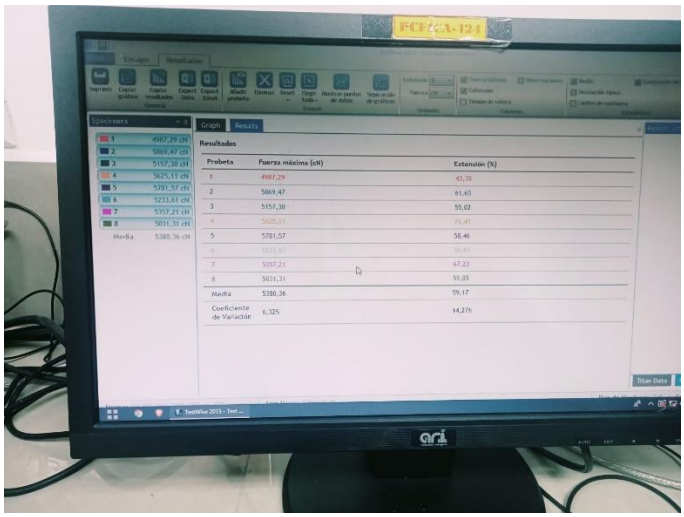
Secado de los especímenes



Anexo 8

Ensayos en el equipo dinamómetro TITÁN 5





.