



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE TEXTILES

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO TEXTIL**

**“CAMBIO DIMENSIONAL DEL DENIM 80% ALGODÓN, 19% POLIÉSTER, 1%
ELASTANO DE 9,5 ONZAS TRATADO CON PERMANGANATO DE POTASIO EN EL
PROCESO DE BAJADO DE TONO”**



Línea de investigación: Producción Industrial y Tecnología Sostenible

AUTOR: Toaing Gavilema Brian Andres

DIRECTOR: MSc. Godoy Collaguazo Omar Vinicio

Ibarra-Ecuador

2026



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la 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:	Toainga Gavilema Brian Andres

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Cambio dimensional del denim 80% algodón, 19% poliéster, 1% elastano de 9,5 onzas tratado con permanganato de potasio en el proceso de bajado de tono.
AUTOR:	Toainga Gavilema Brian Andres
FECHA:	13 de mayo del 2026
PROGRAMA:	GRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Textil
DIRECTOR:	MSc. Godoy Collaguazo Omar Vinicio

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 13 días del mes de mayo de 2026.

EL AUTOR:

Firma:

Nombre: Toaingá Gavilema Brian Andrés

C.I. 1850130749

CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 13 días del mes de mayo del 2026.

MSc. Godoy Collaguazo Omar Vinicio

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.

(f): -----

MSc. Godoy Collaguazo Omar Vinicio

C.C.: 1003083936

(f): -----

MSc. Mora Muñoz Elsa Sulay

C.C.: 0400900452

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificador del Trabajo de Integración Curricular “Cambio dimensional del denim 80% algodón, 19% poliéster, 1% elastano de 9,5 onzas tratado con permanganato de potasio en el proceso de bajado de tono” elaborado por Toaing Gavilema Brian Andres, previo a la obtención de título de INGENIERO TEXTIL, aprueba el siguiente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f): -----

MSc. Godoy Collaguazo Omar Vinicio

C.C.: 1003083936

(f): -----

MSc. Mora Muñoz Elsa Sulay

C.C.: 0400900452

DEDICATORIA

Para los que quiero.

Para los que me quieren.

*Al final somos una mezcla de todas las personas que han sido parte de este camino. Me
alegra saber que algunas personas son parte esencial de quién soy.*

Andres Toainga

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por darme salud y vida.

A mis padres Luis Hugo Toainga y Sandra Gavilema por el apoyo incondicional que me han brindado durante esta etapa, la cual ha sido gratificante.

Al Ingeniero Omar Godoy por ser un gran guía en la formación académica.

Infinitas gracias a la Universidad Técnica del Norte y a la carrera de Ingeniería Textil.

Andres Toainga

RESUMEN

La presente investigación analizó el cambio dimensional de un tejido denim azul índigo de 9,5 onzas, compuesto por 80% algodón, 19% poliéster y 1% elastano, sometido a un proceso de bajado de tono con permanganato de potasio. Inicialmente se realizó una revisión bibliográfica para identificar los fundamentos del proceso y sus principales variables: concentración del agente oxidante, temperatura, tiempo y acción mecánica. Posteriormente, se llevó a cabo un estudio experimental en condiciones controladas, en el cual se decoloraron muestras del tejido con KMnO_4 a concentraciones de 0,5%; 1% y 2% y manteniendo constantes las demás variables. Finalizado el tratamiento, se efectuaron mediciones en los sentidos longitudinal (urdimbre) y transversal (trama). Luego, las muestras se sometieron a un lavado normalizado en el equipo Wascator de acuerdo con la norma ISO 5077 para evaluar su comportamiento posterior al lavado. Los resultados mostraron que el bajado de tono generó un encogimiento constante, independientemente de la concentración de KMnO_4 aplicada, alcanzando valores de 2,5% en sentido longitudinal y 17,5% en sentido transversal. Posterior a un lavado normalizado, el cambio dimensional fue mínimo, con un encogimiento de 0,5% en sentido de urdimbre y un alargamiento de 0,5% en trama, lo que muestra una alta estabilidad dimensional del tejido. La concentración del agente oxidante no influyó en el cambio dimensional del denim. El encogimiento se atribuyó principalmente a la interacción de los factores de temperatura, humedad y la fricción mecánica presentes en los subprocesos de desengomado, stonado, blanqueo y suavizado.

Palabras claves: denim, cambio dimensional, permanganato de potasio, stone.

ABSTRACT

This study evaluated the dimensional variation of a 9.5 oz indigo denim fabric made of 80% cotton, 19% polyester, and 1% elastane after undergoing a tone reduction treatment with potassium permanganate. First, a bibliographic review was performed to examine the fundamentals of the process and the main factors involved, including oxidizing agent concentration, temperature, processing time, and mechanical action. Afterwards, an experimental procedure was developed under controlled laboratory conditions, where denim samples were treated with KMnO_4 at concentrations of 0.5%, 1%, and 2%, while all other variables remained constant. Once the treatment was completed, dimensional measurements were carried out in both the warp and weft directions. The samples were subsequently exposed to a standardized washing procedure in a Wascator machine following ISO 5077 to assess their post-wash behavior.

The findings revealed that the tone reduction treatment caused a consistent shrinkage independent of the KMnO_4 concentration used, with values of 2.5% in the warp direction and 17.5% in the weft direction. Following the standardized washing process, only slight dimensional variations were observed, including a 0.5% shrinkage in warp and a 0.5% elongation in weft, demonstrating a high level of dimensional stability in the fabric. Furthermore, the oxidizing agent concentration showed no significant effect on denim dimensional change. The observed shrinkage was primarily related to the combined action of temperature, moisture, and mechanical friction during the desizing, stone washing, bleaching, and softening stages.

Keywords: denim, dimensional change, potassium permanganate, stone wash.

SIGLAS

ISO: International Organization for Standardization

CTEX: Carrera de Textiles

UTN: Universidad Técnica del Norte

PP: Permanganato de potasio

Co: Algodón

Pes: Poliéster

Vi: Viscosa

EA: Elastano

TA: Temperatura ambiente

SPF: Sobre el peso de la fibra

RB: Relación de baño

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Problema de investigación	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Alcance y delimitación.....	2
1.4 Justificación.....	3
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Antecedentes	5
2.2 Bases teóricas	6
2.2.1 Desteñido del denim	6
2.2.2 Estudio de propiedades del denim	8
2.3 Marco legal.....	9
2.3.1 Constitución de la República del Ecuador	9
2.3.2 Líneas de investigación de la Universidad Técnica del Norte	10
2.4 Marco conceptual	10
2.4.1 Tejido denim	10
2.4.2 Colorante índigo.....	10

2.4.3	Permanganato de potasio	11
2.4.4	Proceso de lavado del denim.....	12
CAPÍTULO III		14
MATERIALES Y MÉTODOS		14
3.1	Enfoque y tipo de investigación.....	14
3.2	Tipo de investigación	14
3.3	Técnicas de investigación.....	15
3.4	Flujogramas.....	15
3.5	Materiales.....	17
3.6	Equipos.....	19
3.7	Normas de referencia	19
3.7.1	ISO 5077 Textiles. Determinación de las variaciones dimensionales en el lavado y secado.	19
3.7.2	ISO 3759 Textiles. Preparación, marcado y medición de muestras de tejidos y prendas para determinar el cambio dimensional.	20
3.8	Procedimiento de bajado de tono	20
3.9	Determinación de las variaciones dimensionales en el lavado y secado.....	26
CAPÍTULO IV		28
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		28
4.1	Resultados	28

4.2	Discusión de resultados	30
CAPÍTULO V		35
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		35
5.1	Conclusiones	35
5.2	Recomendaciones.....	37
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		38
ANEXOS		42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de acabados del denim	6
Tabla 2 Bajado de tono con permanganato de potasio.....	7
Tabla 3 Caracterización del tejido.....	18
Tabla 4 Materiales.....	18
Tabla 5 Desengomado.....	22
Tabla 6 Stonado.....	22
Tabla 7 Bajado de tono	23
Tabla 8 Neutralizado receta 1	23
Tabla 9 Neutralizado receta 2	24
Tabla 10 Neutralizado receta 3	24
Tabla 11 Blanqueo	25
Tabla 12 Suavizado	25
Tabla 13 Parámetros de lavado	26
Tabla 14 Parámetros de enjuague	27
Tabla 15 Cambio dimensional de denim stonado	29
Tabla 16 Cambio dimensional posterior al bajado de tono.....	29
Tabla 17 Resultados posterior a un lavado	30
Tabla 18 Distribución normal de trama	31
Tabla 19 Distribución normal de urdimbre.....	31
Tabla 20 Varianza de trama	32
Tabla 21 Varianza de urdimbre.....	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del laboratorio CTEX.....	4
Figura 2 Estructura molecular del colorante índigo.....	11
Figura 3 Estructura molecular del permanganato de potasio.....	11
Figura 4 Flujograma general.....	16
Figura 5 Flujograma muestral.....	16
Figura 6 Flujograma de muestras.....	17
Figura 7 Curva de proceso.....	21
Figura 8 Cambio dimensional posterior al bajado.....	33
Figura 9 Cambio dimensional posterior a un lavado.....	34

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Receta 17 Lavados Índigo y Brines de Vicunha	42
Anexo 2 Ficha técnica del permanganato de potasio.....	43
Anexo 3 Bajado de tono y lavado del tejido denim.....	44

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Problema de investigación

El denim de color índigo es mayormente utilizado para la fabricación de ropa y en gran medida en prendas de uso casual e informal, tanto para vestimenta de trabajo como para uso diario. No obstante, la moda se presenta en la sociedad como un fenómeno de cambio, y es la industria textil la encargada de solventar las expectativas de la gente (Paredes, 2016). Para adaptarse a estas demandas, el tejido se somete a tratamientos químicos y/o físicos que alteran la naturaleza del tejido como sus características visuales.

Para responder a las demandas del mercado, el denim suele someterse a diversos procesos de acabado, que le otorgan un aspecto de envejecido o desgastado, los cuales incluyen técnicas como lijado, stone wash, ozono, uso de enzimas, hipoclorito de sodio y permanganato de potasio (Chávez, 2017). Este último es ampliamente utilizado en el bajado del colorante índigo por su fuerte efecto oxidante.

El proceso de lavado en prendas con tejido denim se destaca por la gran cantidad de acabados que pueden darse, en función de los productos químicos disponibles, los cuales varían de acuerdo con el proceso utilizado. Para el bajado de tono es necesario el desengomado o prelavado, con el fin de eliminar la goma que recubre el denim. La decoloración del índigo con agentes oxidantes (permanganato de potasio) o agente reductor (hipoclorito de sodio), que, en función del terminado deseado, se aplican químicos en alta temperatura (Ortiz Balladares, 2024). Este proceso no solo desgasta la tonalidad, sino que también podría influir en la resistencia del tejido, por efecto de la acción mecánica y la alta temperatura, pudiendo comprometer las dimensiones finales de las prendas de vestir.

El cambio dimensional del denim posterior a los procesos de acabado puede presentar un inconveniente para los fabricantes, diseñadores y consumidores, en vista de que, por la alta combinación de productos de acabados en el denim, temperatura o tiempo, se podría tener afectaciones en el ajuste final y estética.

En este contexto, el estudio sobre la influencia del proceso de bajado de tono con permanganato de potasio a escala de laboratorio pretende establecer el comportamiento del tejido durante las etapas del lavado, permitiendo conocer el impacto sobre las dimensiones del denim.

1.2 Objetivos

Objetivo general

- Determinar el cambio dimensional del denim 80% algodón, 19% poliéster, 1% elastano de 9,5 onzas tratado con permanganato de potasio en el proceso de bajado de tono.

Objetivos específicos.

- Describir el proceso de bajado de tono de tejido denim azul índigo de 9,5 onzas con permanganato de potasio.
- Decolorar muestras de tejido denim en condiciones controladas de laboratorio, procesos y recetas utilizando permanganato de potasio a tres concentraciones: 0,5%, 1%, 2%.
- Analizar los resultados del sustrato sometido a condiciones de lavado según la norma ISO 5077 para el cambio dimensional del tejido.

1.3 Alcance y delimitación

Esta investigación presenta un enfoque cuantitativo y tendrá como finalidad obtener datos provenientes del proceso de bajado de tono del denim de 9,5 onzas con composición 80% algodón, 19% poliéster, 1% elastano color azul índigo; los cuales se evaluará bajo las condiciones establecidas en la norma ISO 5077 (Determinación de las variaciones dimensionales en el lavado

y secado), en el equipo Wascator. Para ello, se emplearán los métodos: inductivos, deductivo y la experimentación en los laboratorios de tintorería y procesos de la CTEX-UTN.

Para el estudio y análisis, muestras del denim se someterán a tratamientos de acabados en húmedo con permanganato de potasio como agente oxidante, el cual se aplicará a tres concentraciones: 0,5; 1% y 2%, posteriormente se analizará el cambio dimensional del tejido tras el bajado de tono, bajo la norma ISO 5077. Para la selección y adecuación de las muestras representativas, de 500 mm x 500 mm como mínimo, las cuales serán procesadas en el equipo Wascator, tipo A según el procedimiento 5N especificado en el Anexo B de la norma ISO 6330.

1.4 Justificación

El terminado en tejidos de mezclilla puede darse por medio de tratamientos mecánicos y/o químicos con el fin de obtener mejor aspecto visual, además de conferir características al tejido, esto con el fin de satisfacer la constante demanda del mercado del denim (Méndez Acosta, 2017). Se presentan alternativas para dar el efecto de envejecido al tejido, este efecto que depende de factores como la concentración de agente reductor u oxidante, concentración de auxiliares que actúan sobre la fibra.

Dicho lo anterior, el presente trabajo pretende complementar la línea de investigación del tratamiento del tejido tratado con agente oxidante que permita conocer la afectación en la dimensión del textil durante las etapas que comprende el proceso de clarificación del tejido.

En este contexto, el análisis de la variación dimensional en el denim elástico de 9,5 onzas con composición 80% algodón, 19% poliéster, 1% elastano color azul índigo tratado con permanganato de potasio es factible ya que, a falta de datos científicos, se dificulta la obtención de prendas de mezclilla acorde a las exigencias del mercado textil.

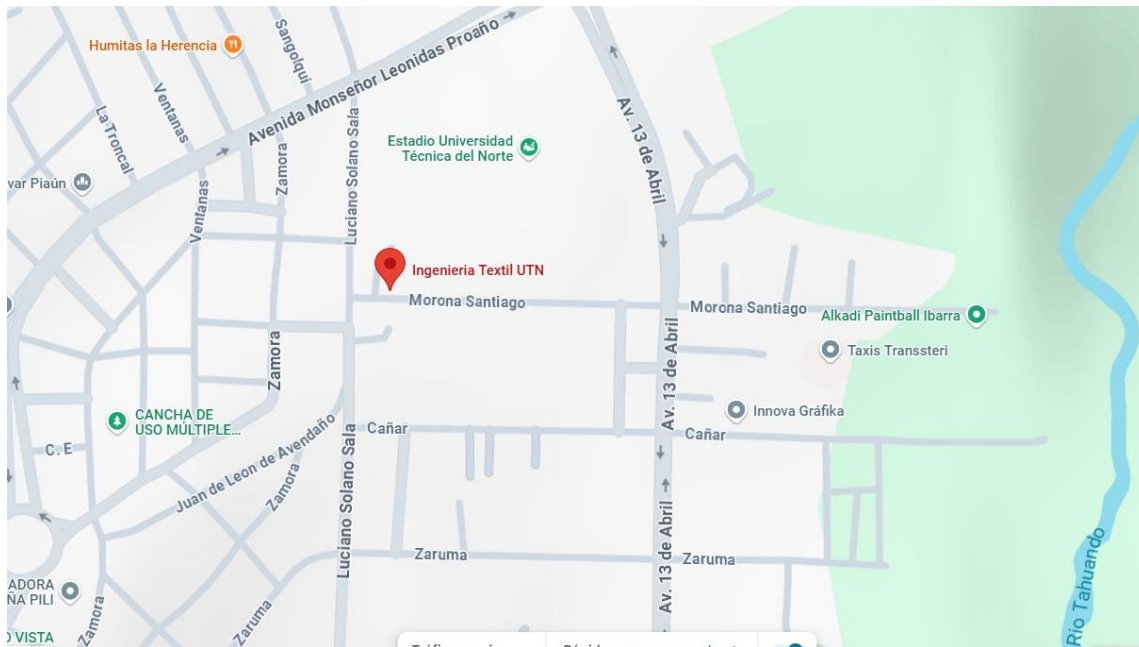
Características del sitio del proyecto.

El proyecto de investigación se realizó en la Carrera de Textiles, ubicados en las coordenadas 0.3782531210228751, -78.12389737777924, tal como se muestra en la **Figura 1**.

Estos laboratorios cuentan con maquinaria certificada y normalizada.

Figura 1

Ubicación del laboratorio CTEX



Fuente: (Maps, 2023).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

El denim, también conocido como vaquero o jeans, es uno de los tejidos más versátiles debido a su durabilidad, adaptabilidad y gran aceptación en el mercado gracias a la diversidad de estilos posibles (García, 2022). Por tal motivo, estudiar la influencia de ciertos agentes químicos con el fin de mejorar la calidad como estética del tejido, ya que el tejido denim tiene un rol importante dentro de la moda. De acuerdo con el estudio de Eryuruk (2019), los acabados textiles inciden en las propiedades de rendimiento de los tejidos denim. Los resultados en las pruebas de resistencia al desgarro y rigidez muestran que las telas con elastano presentan menor resistencia al desgarro en comparación con las telas 100% de algodón. Esto sugiere que la incorporación de elastano, aunque mejora la elasticidad, compromete la durabilidad frente al desgarro.

Según Khalil (2015a), el tratamiento con permanganato de potasio (PP) en tejido denim 100% algodón genera variaciones significativas en sus propiedades. A una mayor concentración de (PP) se observa una disminución en la resistencia en la tracción, así como una reducción en la rigidez. Además, se incrementa la suavidad debido a la eliminación del recubrimiento del tejido.

En este contexto, Topalbekiroğlu y Kaynak (2008), en su investigación sobre el efecto del tipo de ligamento 100% algodón peinado 30/1 Ne, sometidos a lavados industriales reiterados, demuestran que el ligamento tafetán presenta un menor encogimiento. Los resultados obtenidos facilitan la correcta elección de ligamentos para aplicaciones que requieren estabilidad dimensional. De acuerdo con Jarrín Real (2018), la innovación en procesos de terminados en denim resulta relevante en ciudades como Pelileo, donde la mayoría de fábricas predominan procesos tradicionales. Este estudio resalta la importancia de comprender los efectos físicos y

químicos en las prendas como fundamento para impulsar mejoras en la industria del denim. En este sentido, la adopción de nuevas tecnologías y medidas sostenibles no solo optimiza la producción, sino que también satisface la demanda del mercado.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Desteñido del denim

Según Chávez (2017), la combinación de procesos de desengomado, abrasión y desteñido con permanganato de potasio resulta más eficiente en comparación con los procesos convencionales. Las propiedades físico-mecánicas, como cambio dimensional y el peso mostraron resultados similares. Sin embargo, la carga a la rotura y elongación fue significativamente mayor en el proceso combinado, destacando su ventaja en términos de resistencia y elasticidad.

En la **Tabla 1** se muestran los acabados en tejido denim que pueden darse por procesos en seco y húmedo, es común la combinación de estos procesos para lograr una gran variedad de efectos.

Tabla 1
Clasificación de acabados del denim

Proceso químico	Proceso físico
Desengomado	Sand Blasting
Stone washing	Hand (lija)
Lavado enzimático	Whiskers (bigotes)
Lavado ácido	Desgastes
Bajado	PP spray
Blanqueo	Pigmentación
Tinturado y teñido	Resinado
Suavizado	Laser

Fuente: Adaptado de (Chávez, 2017)

El bajado de tono utilizando hipoclorito de sodio suele ser utilizado por su eficiencia corrosiva, ya que se puede obtener casi todas las tonalidades disponibles. En el bajado con hipoclorito, el aumento de la concentración permite acelerar la reacción con una temperatura de 70 °C; además del pH debe ser de 9 a 10, ya que bajo estas condiciones el proceso puede ser controlado (BAUAB, 2002).

Como se muestra en la **Tabla 2**, el bajado de tono es la degradación progresiva del colorante índigo, proceso que se obtiene mediante la aplicación de hipocloritos y agentes oxidantes.

Tabla 2
Bajado de tono con permanganato de potasio

Etapa	Auxiliares	Dosificación (g/L)	Agua (L)	Temperatura (°C)	pH	Tiempo (min)
Desengomado	Antiquiebre	3,0	30	Ambiente	7	15
	Alfamilasa (10%)	0,3				
	Descontaminante- Humectante	2,0				
Abrasión	Celulasa Híbrida	0,15	30	40	7	30
	Descontaminante- Humectante	0,5				
Bajado	Permanganato de potasio	0,25	30	35-40	>5	10
Enjuagado doble	-	-	60	Ambiente	-	5
Neutralizado (combinado)	Neutralizante PP	2,0	30	Ambiente	>5	15
Neutralizado (convencional)	Metabisulfito de sodio	2,0	30	60	-	15
	Ácido oxálico	2,0				
Enjuagado doble	-	-	60	Ambiente	-	5

Adaptado de: (Chávez, 2017)

2.2.2 Estudio de propiedades del denim

El trabajo de Khalil (2015b) analiza el impacto del tiempo de procesamiento y la concentración de permanganato de potasio en las propiedades físicas y mecánicas de las prendas de mezclilla. Tres prendas de algodón 100% fueron sometidas a un lavado ácido, en el cual se modificaron el tiempo 1,5; 2; 2,5 min y la concentración de KMnO_4 1,5; 2 y 2,5 g/L. Posteriormente se aplicó un lavado enzimático y blanqueo convencional. Los resultados indican que la variación de tiempo de exposición y concentración de KMnO_4 generan diferencias en las propiedades de las prendas afectando su funcionalidad y estética.

En este contexto, Godoy et al., (2025) estudian el efecto del hidróxido de sodio (NaOH) en la elasticidad y elongación de un denim elástico (70% Co, 19% Pes, 8% Vi, 3% EA) de 341 g/m^2 . Se aplicaron recetas de blanqueo con concentraciones del 1 % al 5 % de NaOH. Tras el análisis de los datos obtenidos bajo la norma ISO 1934-1, los resultados muestran una mayor afectación en la trama (donde se encuentra el elastano), donde la pérdida máxima de elasticidad (30,69) se da al 5% de NaOH. Por lo tanto, el uso de NaOH superiores a 2% compromete la funcionalidad de la trama, lo que resulta una menor vida útil de la prenda.

Por otro lado, Hasan et al. (2021) señalan que los métodos de lavado tradicionales como lavado ácido, pulverizado y con piedra pómez combinados con agentes blanqueadores presentan limitaciones desde el punto de sostenibilidad ambiental. Como alternativa, el uso de celulasa en reemplazo de la piedra pómez ha demostrado ser eficaz para obtener efectos de desgaste controlado en el denim. La implementación de enzimas no solo mejora el aspecto visual del tejido, sino que también reduce el impacto ambiental.

2.3 Marco legal

2.3.1 Constitución de la República del Ecuador

Como se menciona en los artículos 26 y 348 de la Constitución de la República del Ecuador, donde hace referencia a la sección educativa como un derecho gratuito con inversión estatal, para cualquier tipo de persona (Asamblea Constituyente, 2013):

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.

2.3.2 Líneas de investigación de la Universidad Técnica del Norte

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

1. Gestión, Producción, Productividad, Innovación y Desarrollo Socioeconómico.

2.4 Marco conceptual

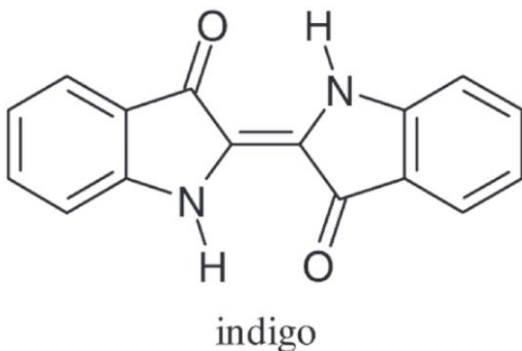
2.4.1 Tejido denim

El tejido denim, también conocido como vaquero, es una tela de algodón caracterizada por su ligamento de sarga. En este tejido, los hilos que conforman la urdimbre se tiñen de azul índigo, mientras que los hilos que conforman la trama permanecen sin teñir, lo que confiere al denim su distintivo aspecto jaspeado en el derecho y un color blanco en el revés (Paul, 2015b).

2.4.2 Colorante índigo

El colorante índigo brinda el azul característico al denim. Blackburn et al. (2009) mencionan la existencia de colorante índigo sintético y natural. El primero es el más utilizado en la industria del denim; en este sentido, Quintero y Cardona (2010) mencionan que “el color índigo o índigo tina $C_{12}H_{10}O_2N_2$ es un poco cristalino azul oscuro. Su principal aplicación es en la industria de los *blue jeans* y demás productos del Denim azul” (pp.373-374). Por su resistencia al lavado y tonalidad característica, lo hace ideal para la producción de jeans.

En la **Figura 2** se muestra la estructura molecular del colorante índigo, el cual es ampliamente utilizado en tejidos de mezclilla para dar el característico color de la urdimbre.

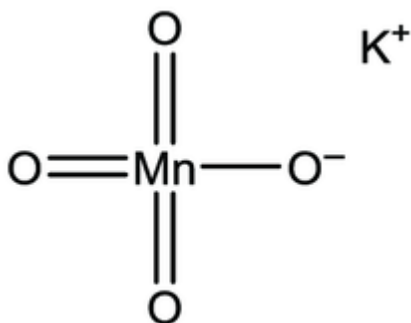
Figura 2*Estructura molecular del colorante indigo*

Fuente: (Guerrero Porras et al., 2014)

2.4.3 Permanganato de potasio

El permanganato de potasio es un compuesto químico inorgánico KMnO_4 . Se trata de un agente oxidante fuerte, utilizado para dar efectos de desgaste del color en el tejido denim. Su aplicación puede realizarse en zonas previamente tratadas con lijado (hand sand) o en áreas sin este tratamiento previo (Khalil, 2015b).

En la **Figura 3** se muestra la estructura molecular del permanganato de potasio, siendo este uno de los agentes oxidantes más utilizados para la decoloración del denim.

Figura 3*Estructura molecular del permanganato de potasio*

Fuente: (Penninks et al., 2017)

Sin embargo, a pesar de su alta eficacia como agente oxidante, es importante neutralizar las prendas después de su aplicación con un agente adecuado para detener la reacción química y garantizar la estabilidad del tejido.

2.4.4 Proceso de lavado del denim

- a) Desengomado. En tejidos de algodón y mezclas, la urdimbre se recubre con goma con el fin de evitar roturas en tejeduría. Posterior a ello, la goma debe eliminarse, las alfaamilasas permiten remover el recubrimiento sin dañar el tejido, a diferencia de agentes oxidantes, ácidos y bases.
- b) Stone Washing. Es un lavado que desgasta el tejido denim. En esta etapa las prendas entran en contacto con piedras pómez, por un periodo determinado donde las áreas de la prenda con más contacto con las piedras tendrán una tonalidad más clara (Chavan, 2015).
- c) Lavado enzimático. Proceso similar al stone wash, con la ventaja de no desgastar los bordes ni las costuras de las prendas. Se utilizan enzimas tanto neutras como ácidas, estas últimas se caracterizan por su agresividad sobre el algodón, esta enzima funciona a un pH ácido. Por otra parte, las enzimas neutras no generan desgaste en las prendas, aunque requieren un mayor tiempo de proceso y mayor concentración para generar el mismo efecto que las enzimas ácidas (García, 2015).
- d) Blanqueo. En el blanqueo se busca decolorar partes específicas de las prendas, el algodón es blanqueado con peróxido de hidrógeno antes del teñido. Dado que el peróxido de hidrógeno residual es reactivo, es necesario neutralizar mediante un agente reductor. En este sentido, las enzimas catalasas resultan más convenientes,

ya que pequeñas concentraciones de estas son capaces de descomponer el peróxido de hidrógeno presente en el agua (Tramper y Poulsen, 1994).

- e) Bleach. Este proceso tiene como fin bajar el tono de la prenda. Generalmente, se utiliza hipoclorito de sodio ajustando el pH a 10 con la adición de carbonato de calcio, con un lavado de 10 a 20 minutos a 50 °C. La concentración del agente reductor varía de acuerdo al tono deseado (M. M. R. Khan et al., 2011).
- f) Neutralizado. Posterior al bajado de tono, es necesario el neutralizado para eliminar el residuo del agente oxidante y evitar el amarillamiento del tejido. En el bajado con hipoclorito de sodio y permanganato de potasio, el agente neutralizante son el metabisulfito de sodio y el ácido oxálico (M. A. Khan, 2012).
- g) Tinturado y teñido. El tinturado se realiza con el fin de resaltar el aspecto desgastado de la prenda. Este proceso toma un tiempo de 5 a 15 minutos. Para este proceso, en prendas de tonalidad clara es necesario un tratamiento de blanqueo o bajado de tono con agente oxidante (Paul, 2015a).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Enfoque y tipo de investigación

La investigación cuantitativa busca obtener conocimientos esenciales y elegir el modelo apropiado para comprender la realidad de manera objetiva, donde se recopilan y analizan datos y conceptos estructurados mediante el uso de herramientas estadísticas para alcanzar los resultados (De Jesús, 2024). La investigación cuantitativa se aplica para obtener datos para una evaluación detallada y objetiva del cambio dimensional del denim tratado con permanganato de potasio, para lo cual, se selecciona la investigación experimental, comparativa y analítica.

3.2 Tipo de investigación

Investigación experimental

El método experimental implica modificar una variable (independiente) y analizar las variaciones que esta produce sobre otra variable distinta (dependiente). Para Murillo (2011), este proceso se realiza bajo condiciones reguladas, con el objetivo de explicar cómo o por qué ocurre un fenómeno específico. Esta etapa describe el paso a paso del proceso experimental de la recolección de datos de la selección del tejido, aplicación del agente oxidante en concentraciones previamente establecidas.

Investigación comparativa

Se utiliza para analizar semejanzas y diferencias entre dos o más casos de estudio, con el fin de identificar patrones, relaciones de causa-efecto. Este método permite una comprensión detallada del caso de estudio al contrastarlos entre sí (Quecedo C, Rosario y Castaño G, 2002). Se enfoca en la recolección y posterior análisis de los datos, registrando semejanzas y diferencias. Los resultados se compararon en el laboratorio de la Carrera de Textiles.

Investigación analítica

De acuerdo con García Sanz y Martínez Clares (2012), la investigación analítica es un enfoque tradicional que sigue un proceso sistemático para recopilar datos significativos para el análisis cuantitativo. Este método requiere de un razonamiento crítico en todas sus fases, desde la selección de la variable hasta la evaluación final de los resultados, para identificar causales y generar conclusiones fundamentadas con evidencia.

3.3 Técnicas de investigación

Según Medina et al. (2023), las técnicas de investigación son procedimientos específicos que tienen la finalidad de recopilar y analizar datos de manera sistemática. Estas técnicas incluyen encuestas, experimentos, observación, entre otros. Para el presente trabajo, la técnica de investigación a seguir es de tipo experimental, ya que se pretende evaluar el cambio dimensional del denim tratado con permanganato de potasio bajo condiciones controladas de laboratorio.

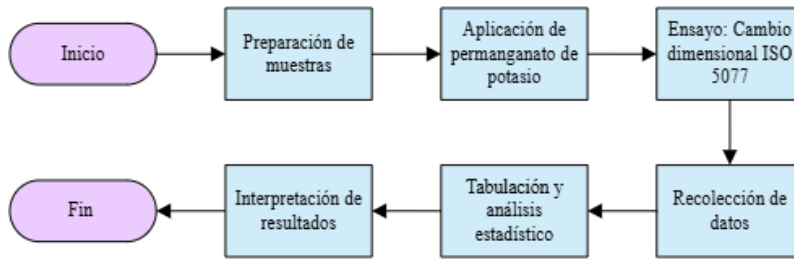
3.4 Flujogramas

El uso de flujogramas fue fundamental para el desarrollo del presente estudio, ya que permitió la visualización de los pasos a seguir en el proceso.

Flujograma general

La **Figura 4**, referente al flujograma general, detalla la parte práctica con la que se desarrolló la investigación, iniciando con la selección adecuada de la receta con permanganato de potasio con la finalidad de determinar el cambio dimensional del denim bajo la norma ISO 5077 para su posterior análisis e interpretación de los resultados.

Figura 4
Flujograma general

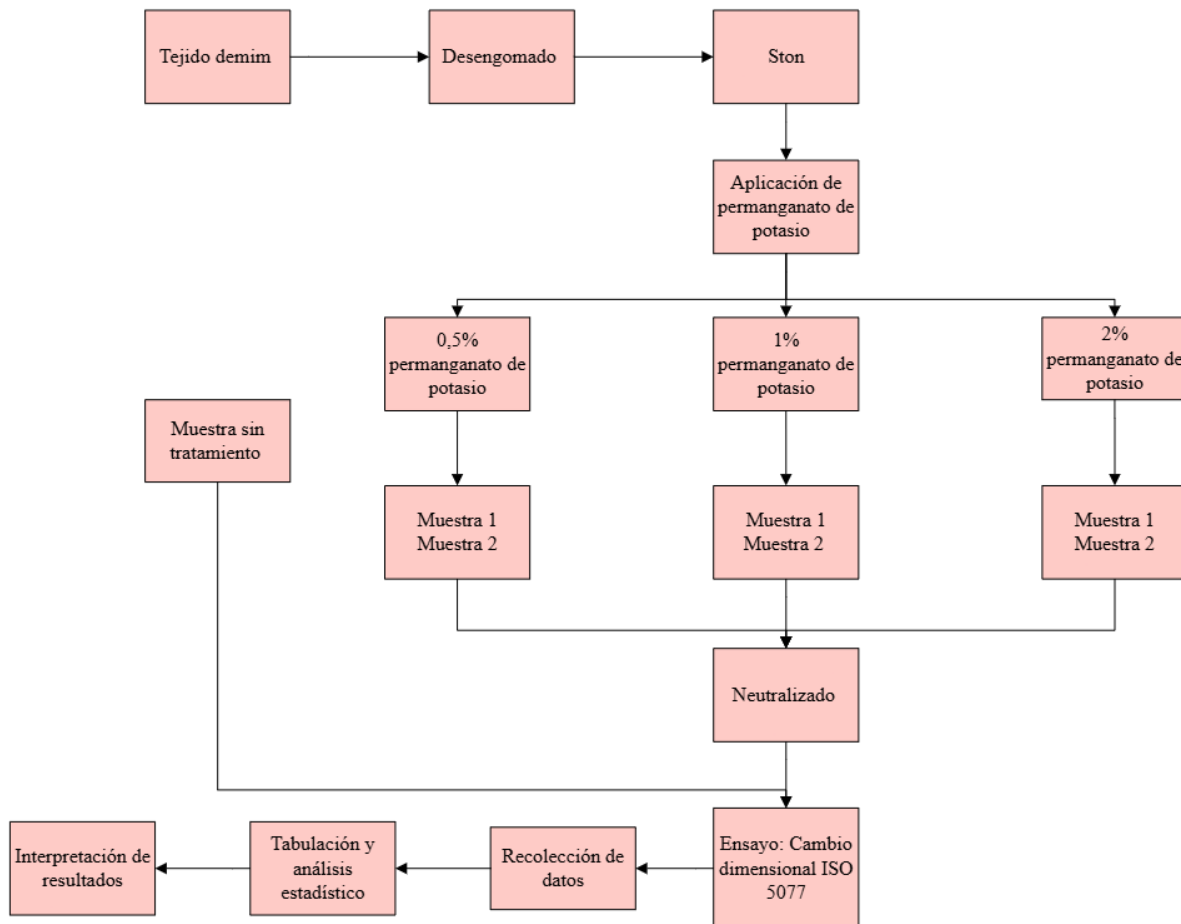


Fuente propia

Flujograma muestral

La **Figura 5** detalla el proceso realizado en el laboratorio de la CTEX, donde las muestras del denim fueron sometidas a tratamiento con KMnO_4 en tres diferentes concentraciones.

Figura 5
Flujograma muestral

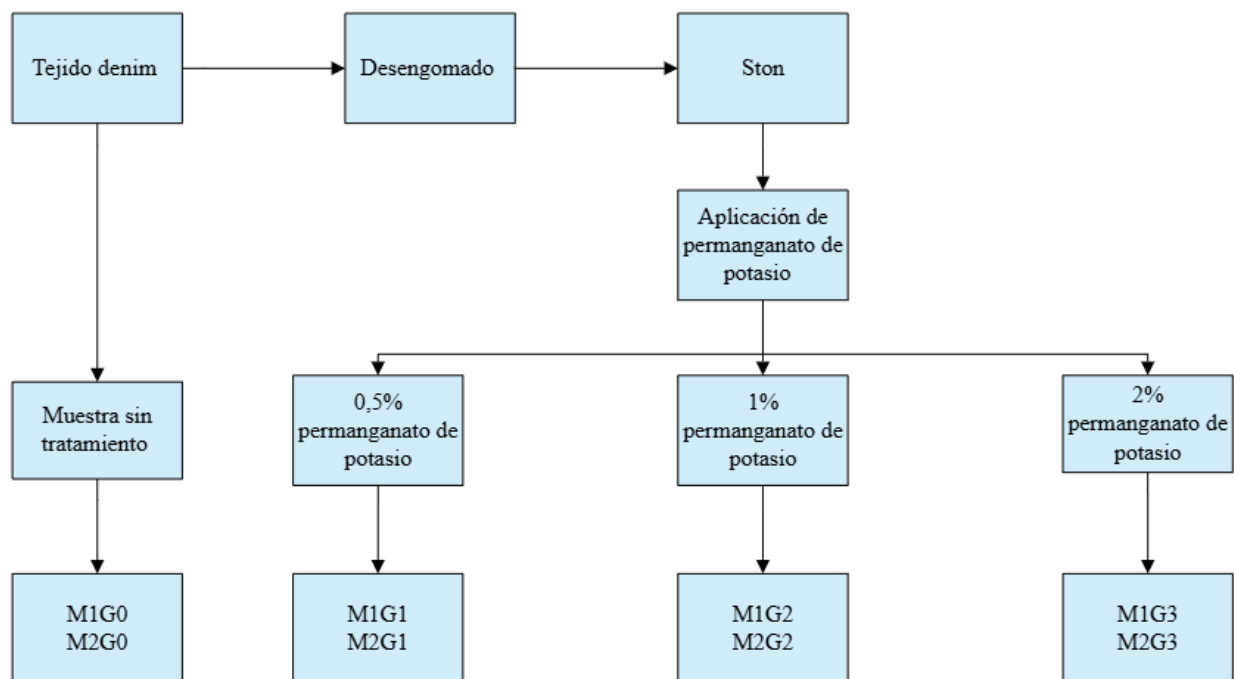


Fuente: Propia

El flujograma muestral, representado en la **Figura 5** describe el procedimiento para la selección del tejido denim; las muestras se sometieron a subproceso de desengome, Stone, tras lo cual se procedió la siguiente codificación en: M1G0, M2G0 esto para las muestras sin tratamiento de envejecido; M1G1, M2G1 para las muestras tratadas con 0,5% de KMnO_4 ; M1G2, M2G2 para las muestras tratadas con 1% de KMnO_4 ; M1G3, M2G3 para las muestras tratadas con 2% de KMnO_4 .

En la **Figura 6** se detalla las concentraciones del agente oxidante junto con las codificaciones de las muestras anteriormente mencionadas.

Figura 6
Flujograma de muestras



Fuente: Propia

3.5 Materiales

El textil sujeto al estudio es un tejido denim color índigo, en la **Tabla 3** se muestran los datos técnicos de este.

Tabla 3
Caracterización del tejido

Ficha técnica	
Nombre comercial	CHARLOTTE BLACK BW
Tipo	Tejido plano
Ligamento	Sarga
Composición	80% algodón
	19% poliéster
	1% elastano
Ancho útil	1,57 m
Gramaje	322 g/m ²

Fuente: Propia

La **Tabla 4** muestra a los materiales que se utilizaron en la investigación, mismos que se presentan a continuación:

Tabla 4
Materiales

Materiales	Características
Jarra graduada	Las jarras graduadas de laboratorio permiten mayor precisión
Balanza analítica	Permite pesar los productos en gramos y miligramos
Permanganato de potasio	Agente oxidante de color púrpura
Regla metálica	La regla permite medir las dimensiones iniciales del tejido

Fuente: Propia

Para el desarrollo de la parte práctica del proyecto se realizó en la Planta Académica Textil el Laboratorio de Procesos Químicos de la CTEX con materiales y equipos a utilizar que se detallan en el siguiente apartado.

3.6 Equipos

a) Máquina de prelavados

Es un equipo que incorpora un cilindro giratorio perforado en la parte interna, un indicador de temperatura y volumen de agua; la velocidad de trabajo es variable. La máquina industrial se destina para el procesamiento de tejidos denim en las etapas de descrude, bajado, tintura.

b) Wascator

Es un dispositivo normalizado utilizado para determinar la variación dimensional de tejidos posterior a procesos de lavados estándar, se utiliza para evaluar normas de calidad como estabilidad dimensional, resistencia a un acabado entre otros. La configuración del equipo permite seleccionar el programa estandarizado, ajustar la carga, adición de detergente para simular condiciones reales de lavado (Electrolux, 2020).

3.7 Normas de referencia

3.7.1 ISO 5077 Textiles. Determinación de las variaciones dimensionales en el lavado y secado.

Determinación de las variaciones dimensionales en el lavado y secado

Para el estudio y análisis, las muestras de denim fueron sometidas a tratamientos de acabados en húmedo, posteriormente, se analizó el cambio dimensional del tejido a diferentes concentraciones.

Para determinar la variación dimensional se utiliza la siguiente fórmula:

$$\% \text{ variación} = \frac{x_t - x_0}{x_0} * 100 \quad (1)$$

Siendo:

x_0 : dimensión original

x_t : medida posterior al tratamiento

3.7.2 ISO 3759 Textiles. Preparación, marcado y medición de muestras de tejidos y prendas para determinar el cambio dimensional.

Para la utilización de esta norma, las muestras se seleccionan para representar la mayor parte posible del tejido sujeto al análisis. En cada muestra se marcan pares de puntos de referencia, y se mide la distancia entre cada par de puntos antes y después de tratamientos específicos; el procedimiento consistió en obtener probetas de 500 mm × 500 mm como mínimo (International Organization for Standardization., 2011).

3.8 Procedimiento de bajado de tono

En la **Figura 7** se muestra el paso a paso de la parte experimental para el bajado de tono de las muestras del tejido, el proceso se realizó bajo una receta tomada del libro “Lavados Índigos y Brines” de Vicunha, donde se varió la concentración del permanganato de potasio.

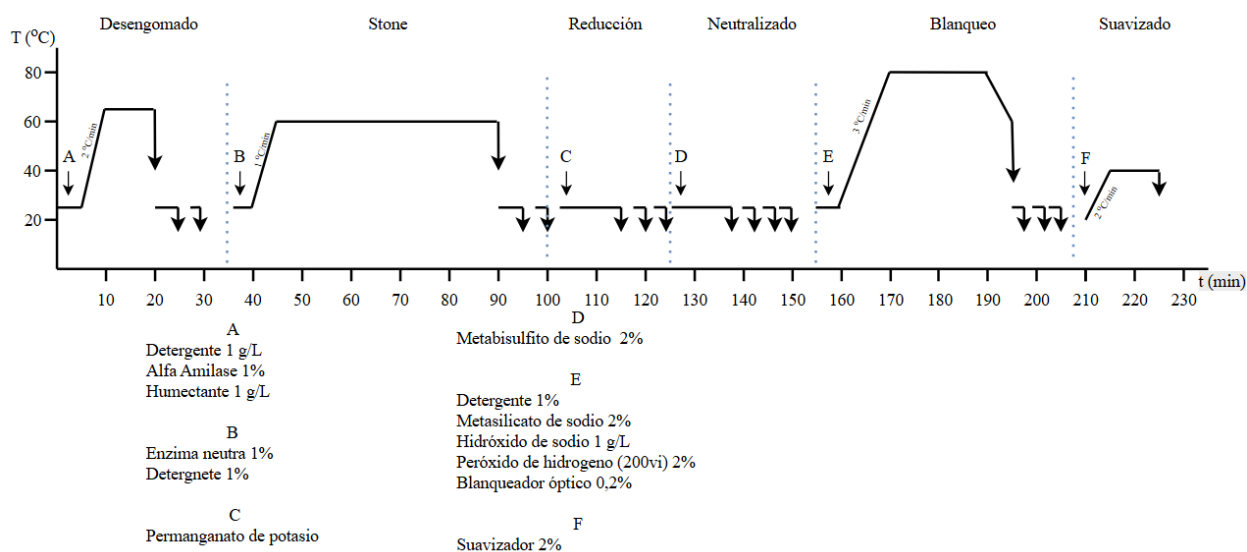
Bajado de tono

- a) Desengomado de las muestras del tejido con una relación de baño 1:8; se inicia a temperatura ambiente 23 °C, donde se coloca el tejido junto con los auxiliares, posteriormente, sube hasta los 65 °C, manteniendo en agotamiento durante 20 minutos; para el enjuague posterior, se trabajó con una relación de baño 1:12 durante tres minutos a temperatura ambiente.
- b) Durante el proceso de stonado se trabajó con una relación de baño 1:5, utilizando enzima neutra y detergente a una temperatura de 60 °C durante 50 minutos; posteriormente, dos enjuagues durante tres minutos a temperatura ambiente con relación de baño 1:12.
- c) Clarificación con permanganato de potasio. Para este proceso la relación de baño fue de 1:10 y el tiempo de procesamiento fue de 10 minutos a temperatura ambiente. En este

punto, se establecieron tres variaciones en la dosificación del agente oxidante (0,5%; 1%; 2%), posteriormente se realizaron dos enjuagues con una relación de baño 1:10 durante tres minutos a temperatura ambiente.

- d) Para el neutralizado, en el caso del permanganato de potasio, se utilizó metabisulfito de sodio a una relación de baño 1:12 durante 15 minutos; posteriormente se realizaron tres enjuagues de tres minutos a temperatura ambiente.
- e) Para el blanqueamiento, el textil fue tratado con detergente, metasilicato de sodio, peróxido de hidrógeno, blanqueador óptico en una relación de baño 1:10 a 85 °C durante 20 minutos, posteriormente, se enjuagó a temperatura ambiente durante tres minutos con una relación de baño de 1:12.
- f) El suavizado se realizó a 40 °C durante tres minutos con una relación de baño 1:10

Figura 7
Curva de proceso



Nota: Curva de proceso tomada del libro “Lavados Índigos y Brines” de Vicunha. (Bauab, 2010)

La decoloración del tejido denim se realizó de acuerdo con la curva de proceso de la **Figura**

7. A continuación, se detallan los parámetros de cada subproceso:

a) Desengomado

En la **Tabla 5** se observa la receta aplicada para el subproceso de desengomado, este proceso se realizó de manera conjunta a todas las muestras. Teniendo una relación de baño 1:8 para un peso de 1,55 kg (1551,235g).

Tabla 5
Desengomado

Producto	Dosificación	Cantidad	Volumen	Temperatura	Tiempo
Detergente	1 g/L	12,4 g			
Alfa Amilase	1%	15,5 g	12,4 L	65 °C	20 min
Humectante	1 g/L	12,4 g			

Fuente: Propia

b) Stone

En **Tabla 6** se observa la receta aplicada para el subproceso del stonado con una RB 1:5 para un peso de 1,55 kg.

Tabla 6
Stonado

Producto	Dosificación	Cantidad	Volumen	Temperatura	Tiempo
Enzima neutra	1%	15,5 g			
Detergente	1%	15,5 g	7,75 L	60 °C	50 min

Fuente: Propia

c) Bajado de tono

Para el bajado de tono se realizó en tres diferentes concentraciones de permanganato de potasio, en la **Tabla 7** se detallan las dosificaciones del agente oxidante en cada una de las recetas, las cuales se realizaron de manera individual. La relación de baño fue de 1:10 para un peso de en la receta 1 de 384,813 g, para la receta 2 de 392,052 g, para la receta 3 de 386,666 g.

Tabla 7

Bajado de tono

Receta	Producto	Dosificación	Cantidad	Volumen	Temperatura	Tiempo
1	KMnO ₄	0,5%	1,92 g			
2	KMnO ₄	1%	3,92 g	3,9 L	Ambiente	10 a 15 min
3	KMnO ₄	2%	7,7 g			

Nota: La disolución de permanganato de potasio se realizó bajo las especificaciones establecidas en el **Anexo 1**.

d) Neutralizado

En el bajado con permanganato de potasio se neutraliza con metabisulfito sodio, este subproceso se realiza al finalizar cada receta, la **Tabla 8** detalla el neutralizado para la receta 1 con una RB 1:12 para un peso de 384,813 g.

Tabla 8

Neutralizado receta 1

Producto	Dosificación	Cantidad	Volumen	Temperatura	Tiempo
Metabisulfito	2%	7,6 g	4,6 L	Ambiente	5 a 10 min

Fuente: Propia

La **Tabla 9** se detalla el neutralizado para la receta 2, para una relación de baño de 1:12 para un peso de 392,052 g.

Tabla 9*Neutralizado receta 2*

Producto	Dosificación	Cantidad	Volumen	Temperatura	Tiempo
Metabisulfito	2%	7,8 g	4,6 L	Ambiente	5 a 10 min

Fuente: Propia

En la **Tabla 10** se detalla el proceso de neutralizado para la receta 3, para una RB 1:12 y un peso de 386,66 g.

Tabla 10*Neutralizado receta 3*

Producto	Dosificación	Cantidad	Volumen	Temperatura	Tiempo
Metabisulfito	2%	7,7 g	4,6 L	Ambiente	5 a 10 min

Fuente: Propia

e) Blanqueo

En la **Tabla 11** se observa la receta aplicada para el subproceso del blanqueo; este proceso se realizó a todas las muestras de manera conjunta para evitar las variaciones de las condiciones de trabajo entre las diferentes muestras. La RB utilizada fue de 1:10 y un peso de 1,55 kg (1551,235g).

Tabla 11
Blanqueo

Producto	Dosificación	Cantidad	Volumen	Temperatura	Tiempo
Detergente	1%	15,5 g			
Metasilicato de sodio	2%	31 g			
Peróxido de hidrógeno	2%	31 g	15,5 L	85 °C	20 min
Blanqueador óptico	0,2%	3,10 g			

Fuente: Propia

f) Suavizado

En la **Tabla 12** se detalla la receta aplicada para el último subproceso en el bajado de tono del denim con permanganato de potasio. La RB utilizada fue 1:10 para un peso de 1,55 kg (1551,235g).

Tabla 12
Suavizado

Producto	Dosificación	Cantidad	Volumen	Temperatura	Tiempo
Suavizador	2%	31 g	15,5 L	40 °C	10 min

Fuente: Propia

Posterior a cada subproceso se realiza enjuagues a temperatura ambiente con una relación de baño 1:12 como se detalla en el **Anexo 1**.

3.9 Determinación de las variaciones dimensionales en el lavado y secado

El marcado de las dimensiones iniciales varía según el tipo de prenda, para el caso del denim, en las probetas de 500 mm × 500 mm se marcaron 350 mm × 350 mm mediante las especificaciones de la norma ISO 3759. A continuación, se procede:

- a) Cargar las probetas en el Wascator con las marcas señaladas en la norma ISO 3759.
- b) Colocar el detergente en el equipo.
- c) Colocar el contrapeso especificado.
- d) Retirar las probetas del equipo.
- e) Secar las muestras y recolectar los datos.

Las probetas fueron lavadas y secadas según el procedimiento especificado, el lavado se realizó en el equipo Wascator, tipo A con el procedimiento 5N especificado en el Anexo B de la norma ISO 6330, como detalla en la **Tabla 13**.

Tabla 13
Parámetros de lavado

Parámetro	Valor
Programa	5N
Temperatura	50+/-3 °C
Tiempo de lavado	15 min
Detergente	20+/- g
Nivel de agua	100 mm
Peso muestra	(310 +/-) g/m ²
Peso contra peso	Tipo III

Nota: Esta tabla es un extracto de la norma ISO 6330.

Posterior al lavado es necesario un enjuague con los parámetros detallados en **Tabla 14**.

Tabla 14
Parámetros de enjuague

Parámetro	Enjuague 1	Enjuague 2	Enjuague 3	Enjuague 4
Programa	5N			
Tiempo de lavado (min)	3	3	2	2
Nivel de agua (mm)	130	130	130	130

Nota: Esta tabla es un extracto de la norma ISO 6330.

Para evaluar el cambio dimensional durante el lavado y secado de los textiles, se emplea la norma ISO 5077, la cual hace referencia a las normas ISO 3759 e ISO 6330 en la recolección de los datos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

En esta sección, se presentan los hallazgos más relevantes acerca del cambio dimensional del tejido denim tras la aplicación del permanganato de potasio como agente oxidante en los procesos de bajado. El estudio se realizó en la Planta Académica Textil UTN y posteriormente, las pruebas de calidad se realizaron en el Laboratorio de Procesos Químicos de la CTEX.

Para la obtención de los resultados se utilizaron dos muestras por cada una de las recetas establecidas para la decoloración del tejido denim, variando la concentración del permanganato de potasio y manteniendo los parámetros de tiempo y temperatura. Además, se incluyeron muestras sin tratamiento con el fin de obtener los valores iniciales de referencia “M₀”, importantes para comparar y establecer las posibles implicaciones provocadas por el permanganato de potasio aplicado a diferentes concentraciones.

Para el análisis del cambio dimensional, se siguieron las directrices establecidas en la norma ISO 5077 y consiguientemente, se establecieron tablas generales que recogen la información más representativa, que posteriormente fue procesada e interpretada mediante el uso del programa Past4 y Microsoft Excel.

Es importante señalar que también se realizaron mediciones intermedias en los subprocesos que anteceden al bajado de tono, con el objetivo de establecer un punto de referencia inicial que permita efectuar comparaciones objetivas, evitando la incertidumbre asociada al encogimiento que dichos procesos pudiesen haber modificado las dimensiones del denim.

A continuación, la **Tabla 15** muestra los valores consolidados correspondientes al cambio dimensional del denim posterior al subproceso de stonado (tratamiento químico) tras el lavado.

Tabla 15*Cambio dimensional de denim stonado*

	Posterior al stonado (Proceso químico)		Posterior a un lavado (Wascator)	
	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal
Stone	-2%	-13,5%	-0,5%	0%

Nota: Los valores se redondean y reportan al 0,5 más cercano.

Los resultados muestran que el stonado genera un encogimiento significativo del tejido en sentido transversal, en comparación con el longitudinal, debido a la estructura del tejido denim, esto se debe a que es la primera vez que el tejido tinturado y sin tratamientos se somete a contacto con agentes químicos y la adición de temperatura durante ciclos específicos de tiempo.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, se muestran los valores del cambio dimensional expresado en porcentaje (%), donde las dosificaciones de permanganato de potasio se varían en 0,5%, 1%, 2% SPF. Posteriormente, se realizó un lavado en el equipo Wascator, siguiendo los pasos establecidos en la norma ISO 5077; donde, que los valores con signo (+) hacen referencia a un alargamiento, mientras que el signo (-) indica un encogimiento.

Tabla 16*Cambio dimensional posterior al bajado de tono*

	Longitudinal	Transversal
0,5% KMnO ₄	-2,5%	-17,5%
1% KMnO ₄	-2,5%	-17,5%
2% KMnO ₄	-2,5%	-17,5%

Nota: Los valores se reporta al 0,5 más cercano.

En la **Tabla 16**, se detallan los valores del cambio dimensional del tejido denim tras ser decolorado con permanganato como agente oxidante; es importante mencionar que la receta utilizada para este ensayo fue tomada del libro “Lavados Índigos y Brines” de Vicunha; los

subprocesos se realizaron de manera conjunta para todas las muestras con el fin de minimizar variaciones durante el proceso, excepto en la aplicación del permanganato de potasio.

En la **Tabla 17** se observan los resultados del cambio dimensional del tejido denim ya decolorado a diferentes concentraciones de permanganato, 0,5%; 1%; 2% SPF. Conjuntamente estas muestras, más la muestra inicial sin tratamiento, fueron sometidas a un lavado normalizado en el equipo Wascator, programa 5N, siguiendo las directrices de la norma ISO 5077.

Tabla 17
Resultados posterior a un lavado

	Longitudinal	Transversal
SN	-1%	-8%
0,5% KMnO ₄	-0,5%	+0,5%
1% KMnO ₄	-0,5%	+0,5%
2% KMnO ₄	-0,5%	+0,5%

Nota: Los valores se reporta al 0,5 más cercano.

4.2 Discusión de resultados

Normalidad de datos

El análisis de la normalidad de datos consiste en verificar si estos siguen una distribución normal. Esta prueba se realizó con la finalidad de asegurar que los valores cumplieran el supuesto de normalidad, mediante el programa estadístico Past4.

Las pruebas de normalidad como Lilliefors, Shapiro-Wilk, Anderson-Darling y Jarque-Bera (JB), se consideran alternativas válidas para evaluar la normalidad de datos (Raqui-Ramirez et al., 2024); su aplicación permite determinar la confiabilidad de los datos al cumplirse el requisito estadístico de p valor sea mayor a 0,05 ($p > 0,05$), lo que indica un grado de confiabilidad técnica del 95%; todo esto utilizando el programa Past4.

A continuación, se observa el análisis realizado para conocer el nivel de confianza de los datos en el cambio dimensional, esto en sentido de la trama en la **Tabla 18**, donde un valor p (normal) superior a 0,05 indica la confiabilidad del 95% en el ensayo.

Tabla 18
Distribución normal de trama

	Bajado de tono (Proceso químico)				Lavado (Wascator)		
	0,5%	1%	2%	SN	0,5%	1%	2%
N	6	6	6	6	6	6	6
Shapiro-Wilk W	0.8532	0.8663	0.8216	0.8216	0.8216	0.8216	0.8663
p(normal)	0.167	0.2117	0.09114	0.09114	0.09114	0.09114	0.2117

Fuente: Past4

De igual manera, en la **Tabla 19**, se observan los valores referentes al sentido longitudinal con un valor de 0,05 ($p > 0,05$), lo que indica el 95% de confiabilidad.

Tabla 19
Distribución normal de urdimbre

	Bajado de tono (Proceso químico)				Lavado (Wascator)		
	0,5%	1%	2%	SN	0,5%	1%	2%
N	6	6	6	6	6	6	6
Shapiro-Wilk W	0.8663	0.8268	0.8268	0.8216	0.8216	0.8216	0.8268
p(normal)	0.2117	0.101	0.101	0.09114	0.09114	0.09114	0.101

Fuente: Past4

Análisis de la varianza

Es fundamental realizar el análisis de la varianza para interpretar de manera adecuada los datos y establecer si existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores obtenidos a partir del programa Past4. La **Tabla 20** y **Tabla 21** indican el comportamiento de la varianza con el fin de analizar la dispersión de los valores del ensayo con las distintas recetas planteadas.

Tabla 20
Varianza de trama

	Bajado de tono (Proceso químico)				Lavado (Wascator)		
	0.5%	1%	2%	SN	0.5%	1%	2%
N	6	6	6	6	6	6	6
Min	287	287	287	320.25	350	350	350
Max	290.5	290.5	290.5	323.75	353.5	353.5	353.5
Sum	1732.5	1730.75	1729	1928.5	2107	2107	2108.75
Variance	2.45	1.735417	2.0416	2.0416	2.0416	2.0416	1.7354
Median	288.75	288.75	287.875	321.125	350.875	350.875	351.75
Coeff. Var	0.54207	0.45668	0.49584	0.44455	0.40689	0.40689	0.37482

Fuente: Past4

Tabla 21
Varianza de urdimbre

	Bajado de tono (Proceso químico)				Lavado (Wascator)		
	0.5%	1%	2%	SN	0.5%	1%	2%
N	6	6	6	6	6	6	6
Min	339.5	339.5	339.5	346.5	346.5	346.5	346.5
Max	343	343	343	350	350	350	350
Sum	2045.75	2047.5	2047.5	2086	2093	2086	2089.5
Variance	1.735417	1.225	1.225	2.04166	2.04166	2.04166	1.225
Median	341.25	341.25	341.25	347.375	349.125	347.375	348.25
Coeff. Var	0.38636	0.324336	0.324336	0.41098	0.40961	0.41098	0.31781

Fuente: Past4

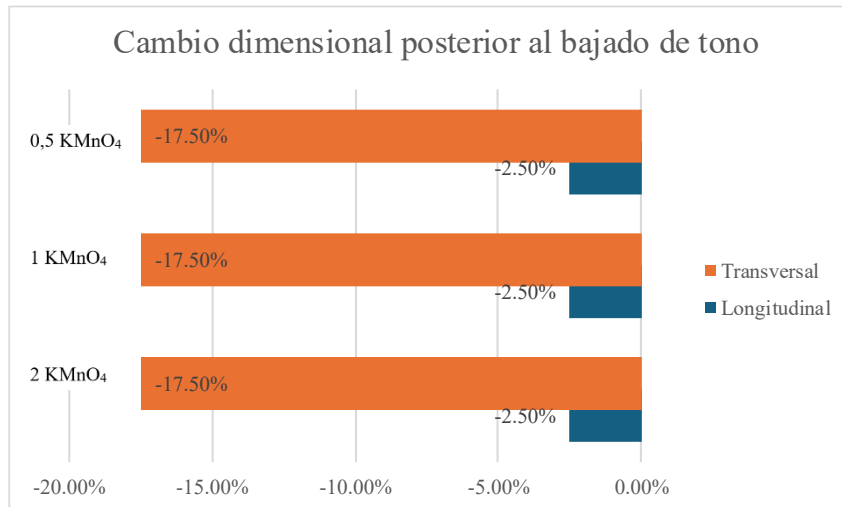
Interpretación de datos

Los datos de la **Figura 8**, referente al bajado de tono; en sentido longitudinal, el stonado generó un encogimiento de 2%. Posteriormente, tras la aplicación del KMnO_4 , el encogimiento aumentó ligeramente hasta 2,5%, valor que se mantiene constante para todas las concentraciones.

En el sentido transversal se observa un encogimiento considerablemente mayor en comparación con el longitudinal. Tras el stonado, el encogimiento alcanza un 17,5% luego del bajado de tono con KMnO_4 independientemente de la concentración aplicada.

Este comportamiento indica que, bajo condiciones de proceso establecidas (tiempo y temperatura) la concentración de KMnO_4 , no influye en el cambio dimensional del tejido. El mayor encogimiento en sentido transversal frente al longitudinal se explica por la estructura del tejido denim. De acuerdo con Dorogan et al., (2023), en tejidos planos, la urdimbre presenta mayor estabilidad dimensional debido a una mayor densidad de hilos y torsión, mientras que la trama tiende a experimentar mayores cambios durante procesos de relajación, fricción mecánica de los acabados en húmedo.

Figura 8
Cambio dimensional posterior al bajado



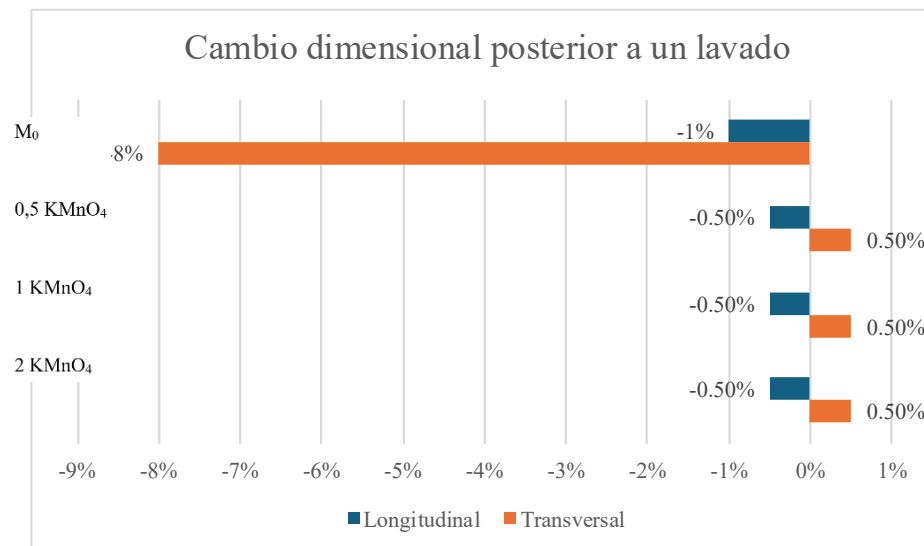
Fuente: Propia

La **Figura 9** muestra los datos del ensayo del cambio dimensional del denim decolorado y lavado bajo la norma ISO 5077. De acuerdo con los datos, en las muestras sin tratamiento se observa un encogimiento de 1% en sentido longitudinal y del 8% en sentido transversal.

En contraste, las muestras sometidas al tratamiento con KMnO_4 muestran una mejor estabilidad dimensional tras el lavado. En sentido longitudinal, todas las concentraciones evaluadas (0,5%, 1%, 2% SPF), presentan un encogimiento mínimo y uniforme de 0,5%, lo que indica que la urdimbre mantiene una elevada estabilidad dimensional independientemente de la concentración del agente oxidante aplicado.

En sentido transversal, todas las muestras tratadas con KMnO_4 presentan un ligero alargamiento del 0,5% tras el lavado. Este comportamiento contrasta con las muestras sin tratamiento, que aún presentan un encogimiento de 8%. El alargamiento observado se asocia a la mayor flexibilidad de la trama y a la presencia de elastano. De acuerdo con Çeven et al. (2018) menciona que, en tejidos denim con elastano los ciclos de lavado incrementan la elongación en sentido de la trama.

Figura 9
Cambio dimensional posterior a un lavado



Fuente: Propia

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Con base en las evaluaciones, ensayos y el análisis estadístico de los resultados obtenidos en la prueba del cambio dimensional de las muestras de denim decolorado con KMnO_4 se establece:

- El análisis de literatura permitió conocer y detallar diferentes procesos de lavado y acabados en tejidos denim, destacando a los procesos físicos, tales como: sandblasting, desgaste localizado, PP spray, pigmentación y, a los procesos químicos como: desengomado, stone washing, bajado, blanqueo y suavizado. El bajado de tono con KMnO_4 es considerado como uno de los métodos oxidativos más utilizados para lograr efectos de envejecido o aclarados controlados en el denim. Su aplicación mediante inmersión total o pulverización localizada (spray) durante 5 a 20 minutos a temperatura ambiente con relación de baño 1:5 a 1:10 para su posterior neutralización con metabisulfito de sodio y ácido oxálico. Estas condiciones permitieron establecer una receta de tipo experimental basada en formulaciones industriales aplicadas en industrias como Vicunha, variando la concentración del agente oxidante.
- La aplicación de KMnO_4 a concentraciones de 0,5%, 1% y 2% SPF a temperatura ambiente durante 10 minutos en condiciones controladas, permitió evidenciar variaciones progresivas en la intensidad del bajado de tono; es decir, a mayor concentración del agente oxidante, se observó una mayor degradación del índigo. Mediante la observación visual directa, a 0,5% SPF, se obtuvo un aclarado ligero con pérdida moderada del color, al 1% SPF el aclarado fue más intenso, mayor contraste entre zonas teñidas y aclaradas, y un tono

más grisáceo-azulado; a 2% SPF se alcanzó mayor grado de decoloración de entre las concentraciones evaluadas con una pérdida de color más profunda.

- De acuerdo con los resultados, el proceso de bajado de tono con KMnO_4 a concentraciones de 0,5%, 1% y 2% SPF sobre el denim elástico generó un encogimiento constante para todas las concentraciones: 2,5% sentido longitudinal y 17,5% sentido transversal; al comparar con el denim stonado con encogimiento de 2% y 13,5% para urdimbre y trama respectivamente, se observa que el encogimiento persiste en el sentido transversal al llegar a un 4%. Posterior al lavado en el equipo Wascator, las muestras tratadas presentan cambios muy bajos: encogimiento mínimo de 0,5% en urdimbre y ligero alargamiento de 0,5% en trama para todas las concentraciones. En contraste, la muestra sin tratamiento registra un encogimiento de 1% en urdimbre y 8% en trama, siendo más prominente en sentido de trama, siguiendo una tendencia similar a las muestras tratadas con el agente oxidante.
- Durante el análisis del cambio dimensional del denim elástico tratado con KMnO_4 , se evidencia que la concentración del agente oxidante no influye en la variación dimensional del denim en las condiciones establecidas. El encogimiento, se da por la interacción de temperatura, humedad y fricción mecánica de los subprocesos previos (desengomado y stonado) y posteriores (blanqueo y suavizado). En el bajado de tono, la mayor contracción de trama se explica por la estructura del denim, menor densidad y torsión en trama frente a urdimbre; con el ciclo de lavado normalizado indican que el denim tratado ya se encuentra en estado de alta estabilidad dimensional, y que el ciclo estandarizado a condiciones específicas no genera variaciones dimensionales relevantes.

5.2 Recomendaciones

- En una investigación, la información teórica y el desarrollo práctico es fundamental; por lo que se recomienda seguir explorando fuentes bibliográficas externas sobre los procesos químicos y abrasivos asociados a los acabados del denim; el levantamiento de datos a lavanderías posicionadas en el medio local facilitará la comprensión de la parte teórica.
- Se recomienda experimentar con diferentes recetas que el mismo libro ofrece; en la presente investigación se empleó una técnica básica; sin embargo, existe gran cantidad de técnicas novedosas y combinaciones en los procesos de lavado para futuras investigaciones aplicadas a los acabados de prendas denim junto con pruebas de solidez, resistencia, esto como parte de complementar el estudio del denim.
- En el uso de agentes químicos es indispensable seguir las instrucciones de la ficha técnica para su adecuada manipulación, así como el adecuado uso de los equipos de laboratorio; la lavadora de jeans trabaja a temperatura elevada y con movimiento constante, lo que causaría accidentes, por ello es importante el uso de equipos de protección.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asamblea Constituyente. (2013). *Constitución del Ecuador*.
- Bauab, C. (2010). *Lavados Indigos y Brines.pdf*.
- BAUAB, C. (2002). *Manual de lavandería y tintorería de indiosy brines*. Quito.
- Blackburn, R. S., Bechtold, T., & John, P. (2009). The development of indigo reduction methods and pre-reduced indigo products. *Coloration Technology*, 125(4), 193–207.
- Çeven, E., Eren, H., GK, G., O, S., & C, S. (2018). Effect of Washing Cycle on Tenacity and Stretching Properties of Denim Fabrics Containing Elastane. *Journal of Fashion Technology & Textile Engineering*, s5. <https://doi.org/10.4172/2329-9568.S5-003>
- Chavan, R. (2015). Indigo dye and reduction techniques. In *Denim* (pp. 37–67). Elsevier.
- Chávez, C. (2017). Estudio De La Reducción Del Consumo De Agua En El Proceso Enzimático De Lavado De Pantalones Demin Mediante Combinación De Etapas. *Escuela Politécnica Nacional*, 142. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17350>
- De Jesús, C. (2024). *La Investigación Cuantitativa*. Corporación Universitaria de Asturias.
- Dorogan, A., Stroe, C. E., & Neagu, C. (2023). Developed woven structures for denim materials. 74(4), 433–438. <https://doi.org/10.35530/IT.074.04.202231>
- Electrolux. (2020). *Manual de funcionamiento Wascator FOM71 CLS*.
- Eryuruk, S. (2019). The effects of elastane and finishing processes on the performance properties of denim fabrics. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 31. <https://doi.org/10.1108/IJCST-01-2018-0009>
- Garcia, B. (2015). Reduced water washing of denim garments. *Denim*, 405–423.
- García, E. A. (2022). *Efectos de envejecimiento en tejido Denim mediante tratamientos enzimáticos*. Universitat Politècnica de València.

- García Sanz, M. P., & Martínez Clares, P. (2012). *12 Metodologc3Ada-1-Garcia-Y-Martinez.Pdf* (pp. 101–128). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=787917>
- Godoy, C. O., Chugá, V., & Naranjo-Toro, M. (2025). *Influence of Sodium Hydroxide on the Elasticity and Elongation of Spandex in Stretch Denim Fabrics BT - Emerging Research in Intelligent Systems* (G. F. Olmedo Cifuentes, D. G. Arcos Avilés, & H. V. Lara Padilla (eds.); pp. 185–197). Springer Nature Switzerland.
- Guerrero Porras, L., Serna, E., Cardona Gallo, S. A., Cadavid-Restrepo, G., Suárez, C., & Quintero-Rendón, L. A. (2014). Consorcio microbiano nativo con actividad catalítica para remoción de índigo y surfactantes en agua residual industrial textil a través de una matriz de inmovilización. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 16(1), 177. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v16n1.33172>
- Hasan, Z., Asif, A. K. M. A. H., Razzaque, A., & Hasan, R. (2021). *An Experimental Investigation of Different Washing Processes on Various Properties of Stretch Denim Fabric*. 1–15. <https://doi.org/10.4236/msce.2021.91001>
- International Organization for Standardization. (2011). *ISO 3759 Textiles -Preparation, marking and measuring of fabric specimens and garments in tests for determination of dimensional change Textiles. 2011*.
- Jarrín Real, A. V. (2018). *Procesos de lavados en denim para el desarrollo sostenible*.
- Khalil, E. (2015a). Effect of Processing Time and Concentration of Khalil, E. (2015). Effect of Processing Time and Concentration of Potassium Permanganate on Physico-Mechanical Properties of Denim Jeans During Stone Washing. *Science Innovation*, 3, 68. <https://doi.org/10.1164>. *Science Innovation*, 3, 68. <https://doi.org/10.11648/j.si.20150306.12>
- Khalil, E. (2015b). *Investigation of the Influence of Potassium Permanganate on Denim Jeans*

Processing During Acid Wash. 2(6).

- Khan, M. A. (2012). A new concept in Denim Washing. *Pakistan Textile Journal*, 61(6).
- Khan, M. M. R., Mondal, M. I. H., & Uddin, M. Z. (2011). Effect of bleach wash on the physical and mechanical properties of denim Garments. *International Conference on Mechanical Engineering*, 3, 18–20.
- Maps, G. (2023). *Mapa de google.pdf*.
- Medina, M., Rojas, R., Bustamante, W., Loaiza, R., Martel, C., & Castillo, R. (2023). Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación. In *Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación*. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.080>.
- Méndez Acosta, S. E. (2017). *Análisis Comparativo De La Resistencia Del Denim En Los Procesos De Acabado Enzimático Y Stone Wash. 1(1)*, 1–7.
- Murillo, J. (2011). Métodos de investigación de enfoque experimental. *Recuperado El*, 2.
- Ortiz Balladares, A. A. (2024). *Implementación del proceso de lavado industrial de jeans en la empresa D&F Lavados Industriales SA C, Huachipa, Lima 2024*.
- Paredes, J. T. (2016). *Evaluación de la calidad del jean posterior a la lavandería, en la pequeña industria de Cuenca*. 1–106.
- Paul, R. (2015a). *Denim: manufacture, finishing and applications*. Elsevier.
- Paul, R. (2015b). Denim and jeans: an overview. *Denim*, 1–11.
- Penninks, A., Baert, K., Levorato, S., & Binaglia, M. (2017). Dyes used in aquaculture. *EFSA Journal*, 15. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4920>.
- Quecedo C, Rosario y Castaño G, C. (2002). Introducción a la metodología de investigación cualitativa. *Revista de Psicodidáctica*, 14, 5–40.

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17501402>

- Quintero, L. U. Z., & Cardona, S. (2010). Índigo Carmín technologies for the decolorization of dyes : indigo and indigo carmine. *Dyna*, 77, 371–386.
- Raqui-Ramirez, C. E., Huaroc-Ponce, E. J., & Ponce, N. M. H.-. (2024). *Importancia de Conocer la Normalidad de los Datos Utilizados en los Trabajos de Investigación por Tesis*. *Importancia de conocer la normalidad de los datos utilizados en los trabajos de investigación por tesis: Supuestos de normalidad*.
- Topalbekiroğlu, M., & Kaynak, H. K. (2008). The effect of weave type on dimensional stability of woven fabrics. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 20, 281–288.
<https://doi.org/10.1108/09556220810898890>
- Tramper, J., & Poulsen, P. B. (1994). Enzymes as Processing aids and final products. In *Applied Biocatalysis* (pp. 73–113). CRC Press.
- Universidad Técnica del Norte. (2022). *Convocatoria Investiga UTN 2022*.

ANEXOS

Anexo 1

Receta 17 Lavados Índigo y Brines de Vicunha

Relación de baño	Proceso	Producto	Cantidad	Tiempo			Temp.
1:8	Desalmidonado pH 6,0 a 7,0	Enzima Alfa Amilase (no iónico)	0,6 a 1,5% 0,5 a 1,0 g/l	20 min			65°C
1:12	Enjuague	Agua	2	3 min			TA
				Stone	Super Stone	Destroyer	
1:5	Stonado pH 6,0	Enzima neutra Detergente-Anti migrante (no iónico)	0,5 a 1,5% 0,5 a 1,0%	50 min	90 min	120 min	60°C
1:12	Enjuague	Agua	2	3 min			TA
				Limpieza	Stone Clair	Delavé	
1:10	Clarificación	Permanganato de potasio (solución 1:100 ver disolución)	0,5 a 1%	5 a 10 min	10 a 15 min	15 a 20 min	TA
1:12	Enjuague	Agua	2	3 min			TA
1:12	Neutralización	Metabisulfito Sodio	1,0 a 3,0%	10 a 15 min			TA
1:12	Enjuague	Agua	3	3 min			TA
1:10	Blanqueo	Detergente Metasilicato de sodio	0,5 a 1,0% 0,5 a 3,0%	20 min			85°C
		Peróxido de hidrógeno (200 vi)	1,0 a 4,0% 0,1 a 0,4%				
		Blanqueador óptico					
1:12	Enjuague	Agua	3	3 min			TA
1:10	Suavizamiento pH 5,5	Suavizador (no iónico) Dispersión de silicona	1,0 a 3,0% 0,1% a 1,0%	10 min			40°C

Disolución del Permanganato de Potasio Solución (1:100)

Para cada 100g de permanganato diluir en 5 litros de agua caliente (70°C), mezclar hasta disolver y adicionar 5 litros de agua fría completando 10 litros de solución

Anexo 2

Ficha técnica del permanganato de potasio



SYQ 0078

PERMANGANATO DE POTASIO

GENERALIDADES

El Permanganato de potasio, (KMnO_4) es un compuesto químico formado por iones potasio (K^+) y permanganato (MnO_4^-). Es un fuerte agente oxidante. Tanto sólido como en solución acuosa presenta un color violeta intenso.

APLICACIONES

El permanganato de potasio se utiliza en algunas ocasiones para realizar lavados gástricos en ciertas intoxicaciones ejemplo: fósforo blanco ref: Uribe Granja Manuel G., Heredia de C. Elsa. Fósforo, intoxicación por fósforo inorgánico. También en dermatología, por su acción antiséptica, astringente y desodorante en concentración de 1/10.000 ref:

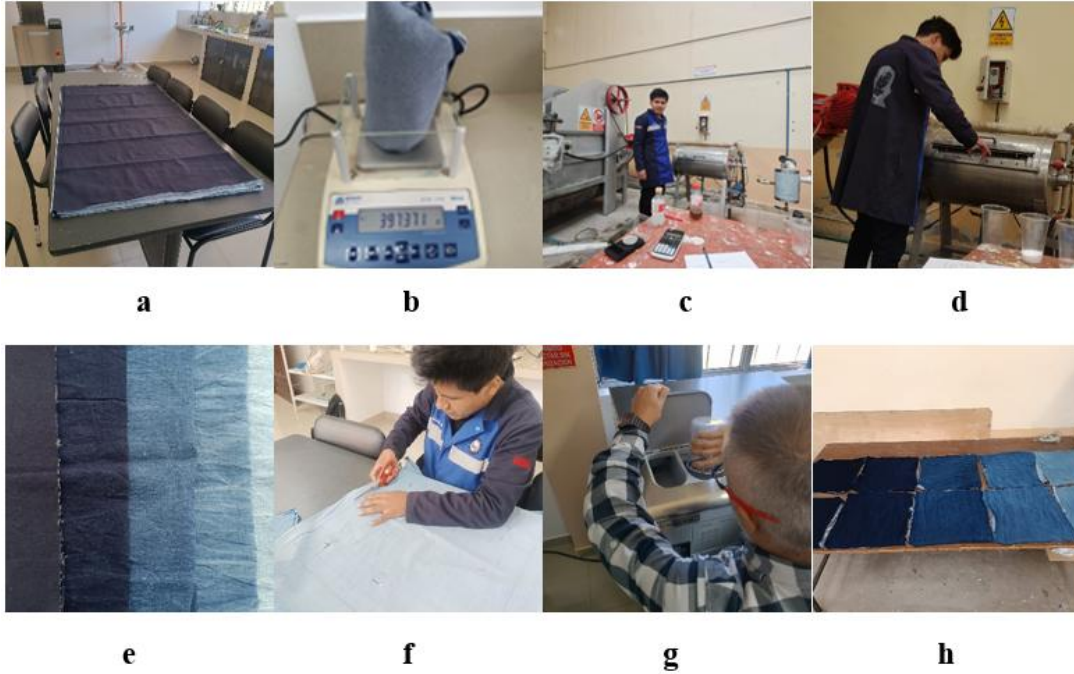
Es utilizado como agente oxidante en muchas reacciones químicas en el laboratorio y la industria.

PELIGROS

El KMnO_4 sólido es un oxidante muy fuerte, que mezclado con glicerina pura provocará una reacción fuertemente exotérmica. Reacciones de este tipo ocurren al mezclar KMnO_4 sólido con muchos materiales orgánicos. Sus soluciones acuosas son bastante menos peligrosas, especialmente al estar diluidas. Mezclando KMnO_4 sólido con ácido sulfúrico concentrado forma Mn_2O_7 que provoca una explosión. La mezcla del permanganato sólido con ácido clorhídrico concentrado genera el peligroso gas cloro.

El permanganato mancha la piel y la ropa (al reducirse a MnO_2) y debería por lo tanto manejarse con cuidado. Las manchas en la ropa se pueden lavar con ácido acético. Las manchas en la piel desaparecen dentro de las primeras 48 horas. Sin embargo, las manchas pueden ser eliminadas con un sulfito o bisulfito de sodio.

La información contenida en esta ficha técnica es de carácter general y se debe evaluar en cada caso específico, por lo cual no representa un compromiso de nuestra parte.

Anexo 3*Bajado de tono y lavado del tejido denim*

Nota: a) corte y marcado de muestras, b) pesaje de las muestras, c) preparación de los agentes químicos, d) bajado de tono, e) muestras decoloradas, f) marcado y corte de las muestras decoloradas, g) cargado de las muestras al wascator, h) secado y toma de medidas del tejido