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:

"DESARROLLO DEL PROCESO TINTOREO EN ALGODÓN CON COLORANTES REACTIVOS A 60 °C MEDIANTE ULTRASONIDO COMO TÉCNICA DE ASISTENCIA TINTOREA"

AUTOR: Silva Mera Janina Ernestina

DIRECTOR: MSc. Esparza Encalada Willam Ricardo

Ibarra - Ecuador

2026

DEPARTAMENTO DE BIBLIOTECA

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

1. 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 de Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL AUTOR	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Silva Mera Janina Ernestina

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Desarrollo del proceso tintoreo en algodón con colorantes reactivos a 60°C mediante ultrasonido como técnica de asistencia tintorea.
AUTOR:	Silva Mera Janina Ernestina
FECHA:	01 de octubre del 2026
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	Pregrado ■ Posgrado ☐
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Textil
DIRECTOR:	MSc. Esparza Encalada Willam Ricardo

2. CONSTANCIA

El autor (es) manifiesta (n) 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 (son) el (los) titular de los derechos patrimoniales, por lo que se asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por terceros.

Ibarra, a los 01 días del mes de octubre de 2026.

Autor (a)



Firma: .....

Nombre: Silva Mera Janina Ernestina

C.I. 1727466847

CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, a los 01 días del mes de octubre de 2026.

MSc. Esparza Encalada Willam Ricardo

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

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



MSc. Esparza Encalada Willam Ricardo

C.C.: 1001589017

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El comité calificador del trabajo de Integración Curricular "Desarrollo del proceso tintoreo en algodón con colorantes reactivos a 60 °C mediante ultrasonido como técnica de asistencia tintorea", elaborado por Silva Mera Janina Ernestina previo a la obtención del 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:
WILLAM RICARDO ESPARZA ENCALADA

Director

MSc. Esparza Encalada Willam Ricardo

C.C.: 1001589017



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
JOSE RAFAEL POSSO PASQUEL

Asesor

MSc. Posso Pasquel José Rafael

C.C.: 1002525788

DEDICATORIA

Este proyecto de investigación está dedicado con todo mi amor, gratitud y cariño a mi querida madre, Marilú Mera, quien ha sido mi mayor ejemplo de esfuerzo, valentía y perseverancia. A mi amado esposo, Pablo Sánchez, por acompañarme en cada etapa de este camino, por su paciencia, comprensión y apoyo incondicional en los momentos más difíciles, y a mi hermoso hijo, quien se ha convertido en mi mayor inspiración y motor de vida. Cada esfuerzo realizado durante esta etapa académica ha sido pensado para brindarte un mejor futuro y demostrarte que con dedicación, disciplina y amor, todo sueño puede hacerse realidad.

Silva Mera Janina Ernestina

AGRADECIMIENTO

Primeramente, le doy gracias a mi Dios por brindarme salud, sabiduría, fortaleza y la oportunidad de culminar esta importante etapa de mi vida profesional y por guiar cada uno de mis pasos.

Expreso mis más sinceros agradecimientos a mi querida madre, Marilú Mera, por su amor incondicional, sus consejos, su apoyo constante y por estar siempre a mi lado, impulsándome a cumplir cada uno de mis sueños.

A mi amado esposo, Pablo Sánchez, por acompañarme en cada etapa de este camino. Gracias por motivarme a seguir adelante, creer en mí y brindarme siempre la fuerza necesaria para no rendirme. A mi hermoso hijo, quien ha sido mi mayor inspiración y la razón principal para esforzarme cada día y cumplir este sueño profesional.

Mi agradecimiento también a mi director de tesis, MSc. Willam Ricardo Esparza Encalada, y a mi asesor MSc. José Rafael Posso Pasquel, por compartir sus conocimientos, orientación y apoyo durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

De igual manera, agradezco a todos los docentes de la Carrera de Textiles, quienes contribuyeron a mi formación académica y profesional mediante sus enseñanzas y experiencias.

Silva Mera Janina Ernestina

RESUMEN

La presente investigación se enfocó en el desarrollo del proceso de tintura de tejido jersey 100 % algodón utilizando colorantes reactivos Everzol a una temperatura de 60 °C, aplicando ultrasonido como técnica de asistencia al proceso.

Esta investigación surgió con el propósito de analizar y comparar el comportamiento de diferentes frecuencias durante la tintura de algodón. Para ello, las frecuencias utilizadas en el estudio fueron generadas mediante una aplicación denominada "Generador de frecuencia" y reproducidas a través de un parlante conectado por Bluotooth, se evaluaron tres frecuencias: 100 Hz, 1000 Hz y 5000 Hz, se utilizaron los colorantes Everzol Amarillo 3RS H/C, Everzol Azul BRF 150% y Everzol Rojo 3BS H/C en diferentes concentraciones.

Las pruebas se realizaron en el Laboratorio de Ingeniería Textil de la Universidad Técnica del Norte con base en el sistema CIELAB D65/10°, utilizando el parámetro %STR-SWL, que permite comparar la intensidad del color obtenido en las muestras con respecto a un estándar. Los resultados mostraron que una frecuencia más alta no necesariamente produce una mayor intensidad de color, ya que la frecuencia de 100 Hz presentó el mejor comportamiento general, con un promedio de 104,12 % STR-SWL, y sus resultados fueron más uniformes. La frecuencia de 1000 Hz presentó el promedio más bajo de 81,71 %, mientras que 5000 Hz alcanzó un promedio de 87,26 %, con una mayor variación entre muestras, aunque en algunos tratamientos alcanzó valores elevados.

Por lo tanto, se concluye que el comportamiento del ultrasonido depende tanto de la frecuencia utilizada como de su concentración. Dentro de las condiciones estudiadas, 100 Hz fue la frecuencia que presentó el comportamiento general más favorable.

Palabras clave: Intensidad de color, tintura textil, colorantes reactivos, frecuencia

ABSTRACT

The present research focused on the development of the dyeing process for 100 % cotton jersey fabric using Everzol reactive dyes at a temperature of 60 °C, applying ultrasound as an auxiliary technique to the process.

This research arose with the purpose of analyzing and comparing the behavior of different frequencies during the dyeing of cotton. For this purpose, the frequencies used in the study were generated through an application called "Frequency Generator" and reproduced through a speaker connected via Bluetooth. Three frequencies were evaluated: 100 Hz, 1000 Hz, and 5000 Hz. The dyes Everzol Yellow 3RS H/C, Everzol Blue BRF 150%, and Everzol Red 3BS H/C were used in different concentrations.

The tests were conducted in the Textile Engineering Laboratory of the Technical University of the North based on the CIELAB D65/10° system, using the %STR-SWL parameter, which allows for comparison of the color intensity obtained in the samples with respect to a standard. The results showed that a higher frequency does not necessarily produce a greater color intensity, as the 100 Hz frequency exhibited the best overall performance, with an average of 104.12 % STR-SWL, and its results were more uniform. The frequency of 1000 Hz showed the lowest average of 81.71 %, while 5000 Hz reached an average of 87.26 %, with greater variation between samples, although in some treatments it reached high values.

Therefore, it is concluded that the behavior of ultrasound depends both on the frequency used and its concentration. Under the studied conditions, 100 Hz was the frequency that exhibited the most favorable overall behavior.

Keywords: Color intensity, textile dyeing, reactive dyes, frequency

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I 1

1. INTRODUCCIÓN 1

1.1 Problema de investigación 1

1.2 Objetivos 1

1.2.1 Objetivo General 1

1.2.2 Objetivos Específicos 1

1.3 Formulación del problema de investigación 2

1.3.1 Alcance y Delimitación 2

1.4 Justificación 2

1.5 Características del sitio del proyecto 3

CAPÍTULO II 5

2. ESTADO DEL ARTE 5

2.1 Antecedentes 5

2.2 Estudios Previos 5

2.2.1 Tintura de algodón a 60 °C 5

2.2.2 Colorantes reactivos a 60 °C 6

2.2.3 Estudios anteriores de tintura con ultrasonido 6

2.2.4 Aplicación de sonómetro 7

2.3 Marco Legal 7

2.3.1 Constitución de la República del Ecuador 7
2.3.2 Líneas de investigación de la Universidad Técnica del Norte 8
2.4 Marco Conceptual 9
2.4.1 Frecuencia 9
2.4.2 Sonometría 9
2.4.3 Ultrasonido 9
CAPÍTULO III 10
3. METODOLOGÍA 10
3.1 Enfoque de investigación cuantitativa 10
3.2 Tipos de investigación aplicados 10
3.2.1 Investigación Bibliográfica 10
3.2.2 Investigación Analítica 11
3.2.3 Investigación Experimental 11
3.2.4 Investigación Comparativa 12
3.3 Normas de referencias 12
3.3.1 Determinación del color mediante el espacio de color CIELAB D65/10 12
3.4 Flujogramas 13
3.4.1 Flujograma General 13
3.4.2 Flujograma Muestral 14
3.5 Equipos y materiales 16
3.5.1 Equipos 16

3.5.2 Materiales 22
3.6 Procedimiento 27
3.6.1 Preparación de las muestras 27
3.6.2 Formulación de receta 29
3.6.3 Preparación del baño de tintura 30
3.6.4 Proceso de tintura sin aplicación de ultrasonido 31
3.6.5 Proceso de tintura con aplicación de ultrasonido 32
3.6.6 Lavado, enjuague y secado de las muestras 34
3.6.7 Evaluación y análisis 35
CAPÍTULO IV 38
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 38
4.1 Normalidad de datos 38
4.2 Análisis de varianza de frecuencias 39
4.3 Discusión de resultados 40
CAPÍTULO V 45
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 45
5.1 Conclusiones 45
5.2 Recomendaciones 46
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 46
ANEXOS 50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Líneas de investigación científica UTN 8

Tabla 2 Características del equipo Vaivén 17

Tabla 3 Características de la máquina túnel de secado 19

Tabla 4 Características de espectrofotómetro de color i5 X-RITE 20

Tabla 5 Características JBL GO 5 22

Tabla 6 Caracterización general del tejido 22

Tabla 7 Colorantes reactivos Everzol 24

Tabla 8 Especificaciones humectante MARVACOL PAL SHA 25

Tabla 9 Especificaciones álcali RSP 25

Tabla 10 Especificaciones SAL TEXTIL 26

Tabla 11 Especificaciones MARVACOL PAL SHA 26

Tabla 12 Dosificaciones sin frecuencia de ultrasonido 28

Tabla 13 Dosificaciones con frecuencia de ultrasonido 28

Tabla 14 Receta de tintura 29

Tabla 15 Auxiliares 31

Tabla 16 Niveles de presión sonora (dB) registrados durante la aplicación de ultrasonido. . 33

Tabla 18 Resultados de la evaluación con frecuencias de ultrasonido 40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación laboratorio CTEX 4

Figura 2 Flujograma general 14

Figura 3 Flujograma muestral 15

Figura 4 Balanza digital 16

Figura 5 Equipo de tintura Vaivén 17

Figura 6 Túnel de secado 18

Figura 7 Espectrofotómetro de color i5 X-RITE 20

Figura 8 Parlante JBL GO 5 21

Figura 9 Estructura del tejido jersey 100 % algodón 23

Figura 10 Muestra del tejido de algodón 27

Figura 11 Colorantes disueltos 30

Figura 12 Curva de tintura sin ultrasonido 31

Figura 13 Proceso de tintura 32

Figura 14 Aplicación “generador de frecuencia y sonómetro” 32

Figura 15 Curva de tintura con aplicación de frecuencia de ultrasonido 34

Figura 16 Secado de las muestras 34

Figura 17 Evaluaciones 35

Figura 18 Banderas teñidas con colorantes Everzol sin ultrasonido 36

Figura 19 Banderas teñidas con colorantes Everzol utilizando una frecuencia de 100 Hz ... 36

Figura 20 Banderas teñidas con colorantes Everzol utilizando una frecuencia de 1000 Hz 37

Figura 21 Banderas teñidas con colorantes Everzol utilizando una frecuencia de 5000 Hz. 37

Figura 22 Resultados de las pruebas de normalidad para las variables analizadas. 38

Figura 23 Varianza del %STR-SWL por frecuencia de ultrasonido. 39

Figura 24 Variabilidad de la intensidad de color (%STR-SWL) por frecuencia de ultrasonido 40

Figura 25 Comportamiento del porcentaje de intensidad de colorante (%STR-SWL)..... 43

Figura 26 Tendencia del %STR-SWL por colorante según la frecuencia de ultrasonido 44

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Pesaje de muestras 50

Anexo 2 Pesaje de colorantes y auxiliares 50

Anexo 3 Tintura vaivén 51

Anexo 4 Muestras pasadas por el túnel de secado 51

Anexo 5 Extracto de ficha técnica Indutexma 51

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Problema de investigación

La industria textil enfrenta desafíos propios en términos de sostenibilidad ambiental y eficiencia energética, particularmente en los procesos de tintura. El teñido de tejidos de algodón con colorantes reactivos representa uno de los procedimientos más elevados en consumo de recursos, requiriendo altas temperaturas (90-95 °C), largos tiempos de procesamiento (60-120 minutos), el uso intensivo de agua y productos químicos.

La aplicación de asistencia ultrasónica en procesos de tintura textil ha emergido como una alternativa competente para abordar estas problemáticas. La sonicación genera efectos de cavitación que mejoran significativamente la penetración del colorante en las fibras, permitiendo procesos a temperaturas más bajas y con mayor eficiencia (Abate & Thakore, 2016a).

La problemática principal se relaciona con la necesidad de implementar un método de tintura más sostenible que mantenga o mejore la calidad tintórea mientras reduce el impacto ambiental. El uso de colorantes reactivos a 60 °C puede contribuir a disminuir el consumo de energía en comparación con procesos que trabajan a temperaturas más altas, pero aún requieren optimización para maximizar su potencial en combinación con tecnología ultrasónica. Además, la falta de protocolos estandarizados y parámetros optimizados limita la adopción industrial de esta tecnología, por lo que se continúan utilizando métodos tradicionales.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Desarrollar el proceso tintóreo en algodón con colorantes reactivos a 60 °C mediante ultrasonido como técnica de asistencia tintorea**.**

1.2.2 Objetivos Específicos

- Establecer los parámetros óptimos del proceso de tintura con la aplicación de ultrasonido a 60 °C para mejorar la fijación y uniformidad del color en tejidos jersey 100 % algodón teñidos con colorantes reactivos.

- Desarrollar el proceso tintóreo con colorantes reactivos a base de una aplicación de ultrasonido.
- Optimizar los parámetros estratégicos del proceso de tintura asistida por ultrasonido, incluyendo frecuencia ultrasónica y sonora, manteniendo sin variación la temperatura (60 °C), tiempo, concentración de colorante y la relación de baño.
- Comparar los análisis y resultados del proceso de tintura con ultrasonido utilizando parámetros optimizados, análisis estadísticos, procedimientos estratégicos y criterios de control de calidad mediante espectrofotometría.

1.3 Formulación del problema de investigación

1.3.1 Alcance y Delimitación

El presente estudio se enfoca específicamente en el desarrollo de un proceso de tintura para tejidos de algodón 100 % utilizando colorantes reactivos a una temperatura de 60 °C con aplicación ultrasónica. La investigación abarca desde la caracterización fundamental de los materiales hasta la optimización del proceso y la evaluación de su viabilidad técnica.

El alcance técnico comprende el uso de un tejido 100 % algodón, previamente descrudado y blanqueado. Para el proceso de tintura se trabajó con una selección de tres colorantes reactivos comerciales representativos de los colores primarios (amarillo, azul y rojo), lo que permitió evaluar y comparar el comportamiento del proceso en un amplio rango cromático en el espectrofotómetro.

La investigación se delimita al desarrollo de pruebas experimentales a nivel de laboratorio, bajo condiciones controladas. El estudio comprende la aplicación de diferentes frecuencias durante el proceso de tintura manteniendo constante la temperatura (60 °C), tiempo, relación de baño, auxiliares y concentraciones específicas, la variable que se aplicará es la frecuencia, manteniendo constantes todos los parámetros para poner comparar el comportamiento de las muestras bajo las diferentes condiciones evaluadas.

1.4 Justificación

La presente investigación surge de la necesidad en buscar alternativas más sostenibles y viables para los procesos de tintura en la industria textil. El tema propuesto está centrado en

mejorar la tintura de algodón con colorantes reactivos a 60 °C utilizando la aplicación de ultrasonido como técnica de asistencia tintorea.

La industria textil se caracteriza por una fuerte competencia y por trabajar con márgenes de ganancia reducidos. Por esta razón, es necesario mejorar los procesos y reducir los costos de producción para mantener la competitividad en el mercado. Los procesos convencionales de tintura por medio del agotamiento son muy ineficientes, ya que requieren altas temperaturas (90-95 °C) y largos tiempos de proceso (60-120 min), lo que se traduce en altos costos de energía y una menor capacidad de producción. La presente investigación busca ayudar al estudio de la aplicación del ultrasonido en el proceso de tintura con el propósito de reducir el consumo energético, al trabajar a temperatura baja (60 °C) sin afectar la eficiencia del proceso, lo que es idóneo para operar el proceso. Hay que tener en cuenta que los ultrasonidos provocan cavitación (formación de burbujas de vapor), lo que acelera la cinética de tintura, es decir, permite reducir los tiempos de proceso.

Este hecho favorece a la industria en su totalidad, al disminuir los costos de operación (energía, agua, auxiliares químicos) y aumentar la productividad de las máquinas, haciéndolas más competitivas (Abate y Thakore, 2016c).

Al utilizar el ultrasonido, mejora la difusión y adsorción del colorante en la fibra, lo que puede llevar a una mayor eficiencia de fijación. Al reducir el consumo de agua, energía y productos químicos, la investigación contribuye al desarrollo de un proceso más sostenible (Adeel et al., 2021).

La optimización de parámetros ultrasónicos específicos como la frecuencia, potencia y tiempo, para el uso de colorantes reactivos a temperatura de (60 °C) aún no se encuentra estandarizada. Este trabajo aportará conocimiento técnico y teórico fundamental sobre la interacción entre la cavitación acústica y la cinética de estos colorantes. El desarrollo de un diseño experimental estandarizado representará una contribución académica importante, creando un protocolo claro que pueda ser utilizado como referencia para otras investigaciones.

1.5 Características del sitio del proyecto

El proyecto de investigación se desarrollará en la Carrera de Textiles (CTEX), donde se encuentra los laboratorios equipados con equipos normalizados para ubicados en las coordenadas 0.3782531210228751, -78.12389737 como se muestra en la Figura 1

Ubicación del laboratorio CTEX. Estos laboratorios cuentan con las condiciones necesarias para realizar experimentos y desarrollar pruebas técnicas.

Figura **1**

Ubicación laboratorio CTEX



Fuente: (Google Maps, 2026).

CAPÍTULO II

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 Antecedentes

En el estudio de Hassan M, Saifullah Khaled (2023) “El ultrasonido de baja frecuencia en tintura sostenible de algodón con colorantes reactivos.” Se exploró el efecto de la sonicación de baja frecuencia en la eficiencia de fijación y la reducción de efluentes. Se utilizó ultrasonido a 40 kHz en procesos de tintura con colorantes reactivos a 60 °C, midiendo el agotamiento y la fijación del colorante en distintos tiempos de proceso. Se redujo el consumo de sal y álcali hasta un 30 %, manteniendo la intensidad y uniformidad del color. Se demostró una reducción del 25 % en la generación de efluentes contaminantes.

En el estudio “Utilización de ondas ultrasónicas ecológicas para el teñido de algodón de alto rendimiento con tintes directos”, se investigó el teñido de algodón con colorantes directos asistido por ultrasonido y se encontró que el uso de ondas ultrasónicas de bajo impacto mejoraba significativamente la rapidez del teñido, reduciendo la demanda de álcali y los tiempos de proceso en comparación con métodos convencionales (Elnagar et al., 2023).

2.2 Estudios Previos

2.2.1 Tintura de algodón a 60 °C

La tintura del algodón es un proceso químico-físico mediante el cual los colorantes se fijan a la fibra celulósica, logrando una coloración uniforme y resistente. Tradicionalmente, este proceso se realiza a temperaturas elevadas (80–90 °C); sin embargo, en los últimos años se ha estudiado la tintura a 60 °C como una alternativa para reducir el consumo energético y el impacto ambiental.

A 60 °C, la fibra de algodón presenta una adecuada difusión del colorante hacia el interior de la fibra, siempre que se utilicen auxiliares apropiados y condiciones controladas de tiempo y relación de baño. Trabajar a temperatura baja permite disminuir el consumo de energía, reduciendo posibles daños térmicos del tejido, conservando propiedades mecánicas adecuadas en el tejido (Tissera et al., 2016a).

El proceso de tintura a temperaturas bajas puede presentar desafíos relacionados con la eficiencia de fijación del colorante y la uniformidad del teñido, lo que ha motivado a incorporar tecnologías de asistencia, como el ultrasonido, para mejorar el proceso tintóreo.

2.2.2 Colorantes reactivos a 60 °C

Los colorantes reactivos son ampliamente utilizados en la tintura del algodón debido a su capacidad de formar enlaces covalentes con la fibra celulósica, lo que proporciona excelentes propiedades de solidez al lavado, al frote y a la exposición a la luz (Siddiqua et al., 2017a).

Los colorantes reactivos a 60 °C presentan una alta reactividad química, lo que favorece una fijación eficiente del colorante sobre el tejido de algodón a temperaturas bajas, lo que permite reducir el consumo de energía y el tiempo del proceso de tintura. Sin embargo, la fijación del colorante depende de diferentes variables, entre ellas es la concentración de electrolito, el tiempo de tintura y la adecuada agitación del baño (Tissera et al., 2016a).

2.2.3 Estudios anteriores de tintura con ultrasonido

Diversos estudios han demostrado que el ultrasonido en procesos de tintura textil mejora significativamente la eficiencia del teñido. El ultrasonido genera ondas acústicas de alta frecuencia que producen el fenómeno de cavitación, el cual facilita la penetración del colorante en la fibra.

Investigaciones previas han demostrado que el uso de la aplicación de ultrasonido permite:

- Disminuir la temperatura y el tiempo del proceso de tintura.
- Mejorar la uniformidad del color y alcanzar una fijación eficiente.
- Reducir el consumo de agua y productos químicos.

En la tintura de algodón con colorantes reactivos, se ha demostrado que el ultrasonido favorece la hinchazón de la fibra y mejora la difusión del colorante hacia su estructura interna, haciendo factible la tintura a 60 °C sin afectar la calidad final del teñido. Estos antecedentes respaldan la aplicación del ultrasonido como una tecnología limpia y eficiente para la industria textil (Tissera et al., 2016a).

2.2.4 Aplicación de sonómetro

El sonómetro es un instrumento utilizado para medir el nivel de presión sonora, expresado generalmente en decibelios (dB). En procesos que involucran ultrasonido, el sonómetro cumple un rol fundamental en el control y monitoreo de la intensidad acústica, garantizando condiciones seguras y reproducibles durante la experimentación (Sun et al., 2013).

En esta investigación, el uso de la aplicación de sonómetro permite asegurar que la intensidad del ultrasonido aplicada durante la tintura se mantenga dentro de rangos establecidos, contribuyendo a la confiabilidad de los resultados y a la seguridad del entorno de trabajo.

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 se hace referencia a la sección educativa como un derecho gratuito con inversión estatal, para cualquier tipo de persona.

De acuerdo con la 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. (p.1,6-7)

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 Universidad Técnica del Norte de la Carrera de Textiles, fortaleciendo el desarrollo económico de la comunidad (Universidad Técnica del Norte, 2022). Los proyectos se vinculan con 10 líneas de investigación mencionadas en la **Tabla 1**. La carrera de Ingeniería Textil integra las líneas 1 y 9, las cuales son fundamentales para el desarrollo de investigaciones, puesto que contribuyen a mejorar la productividad y sostenibilidad.

Para el desarrollo del presente proyecto, se enmarca la línea uno correspondiente a la Producción Industrial y Tecnología Sostenible. Esta línea se orienta al estudio y aplicación de procesos y tecnologías innovadoras en la industria textil, aportando al desarrollo científico, tecnológico y social del país.

Tabla 1
Líneas de investigación científica UTN

N°	Líneas de investigación
1	**Producción Industrial y Tecnología Sostenible.**
2	Desarrollo Agropecuario y Forestal Sostenible.
3	Biotecnología, Energía y Recursos Naturales Renovables.
4	Soberanía, Seguridad e Inocuidad Alimentaria Sustentable.
5	Salud y Bienestar Integral.
6	Gestión, calidad de a educación, procesos pedagógicos e idiomas.
7	Desarrollo artístico, diseño y publicidad.
8	Desarrollo Social y del Comportamiento Humano.

9	Gestión, Producción, Productividad, Innovación y Desarrollo Socio-económico.
10	Desarrollo, aplicación de software y cyber security (seguridad cibernética).

Fuente: (UTN, 2026)

2.4 Marco Conceptual

2.4.1 Frecuencia

Cuando se habla de tintura asistida por ultrasonido, el término frecuencia se refiere al número de ciclos que realiza la onda ultrasónica cada segundo. Esta magnitud es importante ya que influye en el comportamiento de las ondas mecánicas que se propagan en el baño de tintura y se asocia a fenómenos físicos como la cavitación, que hace que mejore la penetración y difusión del colorante dentro de la fibra del algodón (Abate y Thakore, 2016b).

2.4.2 Sonometría

La sonometría es una técnica de medición acústica utilizada para determinar los niveles de sonido o presión sonora en el medio ambiente o en el entorno. La medición tiene lugar mediante un instrumento denominado sonómetro que a través de la presión acústica del sonido puede proporcionar cuantificaciones objetivas (en decibelios dB) de energía acústica que a su vez permite analizar aspectos como la intensidad sonora (Diaz et al., 2020).

2.4.3 Ultrasonido

El tratamiento mediante ultrasonido de baja frecuencia se ha utilizado para intensificar los procesos F (US/F) y FF (US/FF). Se refiere a dos tipos de procesos específicos que están potenciados mediante ultrasonido, donde F significa frecuencia fundamental y FF, frecuencias o flujos forzados. El US se basa en el fenómeno de cavitación acústica, que se produce dentro de un líquido por la aplicación de una frecuencia de ultrasonido. La cavitación genera burbujas que son en muchas ocasiones a una sucesión de ciclos de expansión de comprensión antes de colapsar de forma violenta (Gilpavas et al., 2018).

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1 Enfoque de investigación cuantitativa

La investigación es un proceso que permite obtener conocimiento mediante análisis de datos, lo que facilita la toma de decisiones técnicas y fundamentales en el desarrollo de procesos textiles. Por ello, el estudio se desarrollará mediante un enfoque cuantitativo, que consiste en la recopilación y análisis de datos numéricos obtenidos durante el proceso de tintura de algodón con colorantes reactivos a 60 °C, que permitan dar respuesta a los objetivos planteados (Sampieri et al., 2014).

El enfoque cuantitativo se basa en la recolección y el análisis de datos numéricos obtenidos a partir de ensayos experimentales, lo que permite analizar, describir y evaluar el comportamiento del proceso de tintura. Para ello, se emplean herramientas como la experimentación y la aplicación de métodos estadísticos, lo que permite obtener resultados precisos y confiables. Además, este enfoque facilita la identificación de relaciones, comportamientos y tendencias entre datos obtenidos, contribuyendo a una toma de decisiones fundamentada en información confiable (Hernández-Florez y Klimenko, 2025).

La investigación permite generar conocimiento mediante análisis de datos, favoreciendo la evaluación del proceso de tintura asistida mediante la aplicación de ultrasonido.

3.2 Tipos de investigación aplicados

El desarrollo del proceso de tintura requiere la aplicación de distintos métodos de investigación que permitan evaluar de manera objetiva los parámetros en el proceso. Se analizan variables como la frecuencia ultrasónica, el tiempo de tratamiento, la concentración de colorante y el porcentaje de absorción, ya que estos factores influyen en el teñido. La aplicación de estos métodos permite obtener resultados tangibles (concretos) que, faciliten la interpretación, comprobación y validación del proceso tintóreo.

3.2.1 Investigación Bibliográfica

La investigación bibliográfica constituye una base fundamental para el desarrollo de este estudio, debido a que permitirá recopilar información científica y técnica. Para ello, se

realizó una revisión de artículos científicos, tesis, libros, normas técnicas y publicaciones académicas relacionadas con procesos de tintura. A través de esta revisión documental se identificaron los parámetros experimentales más adecuados para el desarrollo del proceso tintoreo, permitiendo establecer condiciones de trabajo relacionadas con temperatura, tiempo, frecuencia, relación de baño y concentración de colorante (Hernández Sampieri et al., 2014).

3.2.2 Investigación Analítica

La presente investigación tiene un enfoque analítico, centrado en el estudio del comportamiento del proceso de tintura de algodón con colorantes reactivos a 60 °C. Este método ayuda a entender cómo se relacionan la frecuencia de ultrasonido y la eficiencia del proceso de tintura.

Para el desarrollo de esta investigación, se realizaron pruebas de tintura bajo condiciones controladas de laboratorio, manteniendo constante la temperatura de 60 °C y modificando únicamente la frecuencia ultrasónica aplicada durante el proceso. Después de ello, los resultados obtenidos se analizaron mediante evaluaciones espectrofotométricas. Además, el análisis de resultados facilitará la interpretación de la influencia que produce el fenómeno de cavitación ultrasónica sobre la difusión y penetración del colorante en la fibra 100 % algodón (Vajnhandl & Majcen Le Marechal, 2005).

3.2.3 Investigación Experimental

Esta investigación se basa en mejorar el proceso de tintura mediante pruebas de laboratorio, con el propósito de comprobar si el uso de la frecuencia de ultrasonido optimiza el rendimiento tintóreo en tejido de algodón 100 %.

Para el desarrollo experimental se utilizó el equipo del laboratorio vaivén para realizar el proceso de tintura, el espectrofotómetro para evaluar la absorción y uniformidad del color obtenido en las muestras tinturadas y, con ayuda de un celular móvil, las aplicaciones llamadas “sonómetro” para el control de la intensidad sonora (decibeles, dB) y “generador de frecuencia” para controlar la frecuencia ultrasónica aplicada (Hz).

La investigación experimental está en la manipulación controlada de variables para analizar los efectos que producen sobre un fenómeno de estudio, permitiendo obtener resultados verificables y medibles (Hernández Sampieri et al., 2014).

3.2.4 Investigación Comparativa

La investigación comparativa permite analizar las diferencias entre el proceso convencional de tintura y el proceso asistido mediante la frecuencia de ultrasonido en tejido de algodón 100 % con colorantes reactivos a 60 °C. Para ello, se realizaron diferentes pruebas de tintura, donde la variable principal fue la frecuencia ultrasónica aplicada durante el proceso. Este método comparativo ayudará a identificar si la frecuencia del ultrasonido mejora la difusión y penetración del colorante en la fibra celulósica, favoreciendo una mayor fijación y uniformidad del color.

Según Menéndez-Carrión et al., (2023). El método comparativo permite identificar relaciones, diferencias y comportamientos entre distintos fenómenos de estudio mediante un análisis sistemático de resultados, facilitando la interpretación y validación de los datos obtenidos.

3.3 Normas de referencias

3.3.1 Determinación del color mediante el espacio de color CIELAB D65/10

La determinación del color de las muestras tinturadas sin la frecuencia de ultrasonido y con la frecuencia de ultrasonido se realizó utilizando como referencia el sistema CIELAB D65/10 para analizar colorimétricamente mediante espectrofotometría.

El sistema CIELAB permite identificar las variaciones del color con alta precisión, basándose en valores exactos del color obtenidos mediante su medición, permitiendo una reproducción exacta de un color. Estas evaluaciones se realizan utilizando un espectrofotómetro (ver Figura 6), equipo empleado para analizar y evaluar las muestras. La iluminación controlada que emite el equipo y la observación en un ángulo determinado aseguran una caracterización precisa y confiable del color (HunterLab, 2022).

El espacio del color CIELAB representa el color mediante tres coordenadas fundamentales: L*, a* y b*.

- La coordenada L*: indica la luminosidad o claridad del color.
- a*: variación entre los tonos verde (-a*) y rojo (+a*)
- b*: expresa la variación entre los tonos azul (-b*) y amarillo (+b*)

Una vez obtenidos los valores en el espacio del color CIELAB, es posible determinar la diferencia de color entre una muestra y un estándar de referencia. Esta diferencia se expresa numéricamente mediante los parámetros (%STR-SWL), el cual permite determinar la intensidad del color de la muestra evaluada en comparación con un estándar de referencia establecido.

3.4 Flujogramas

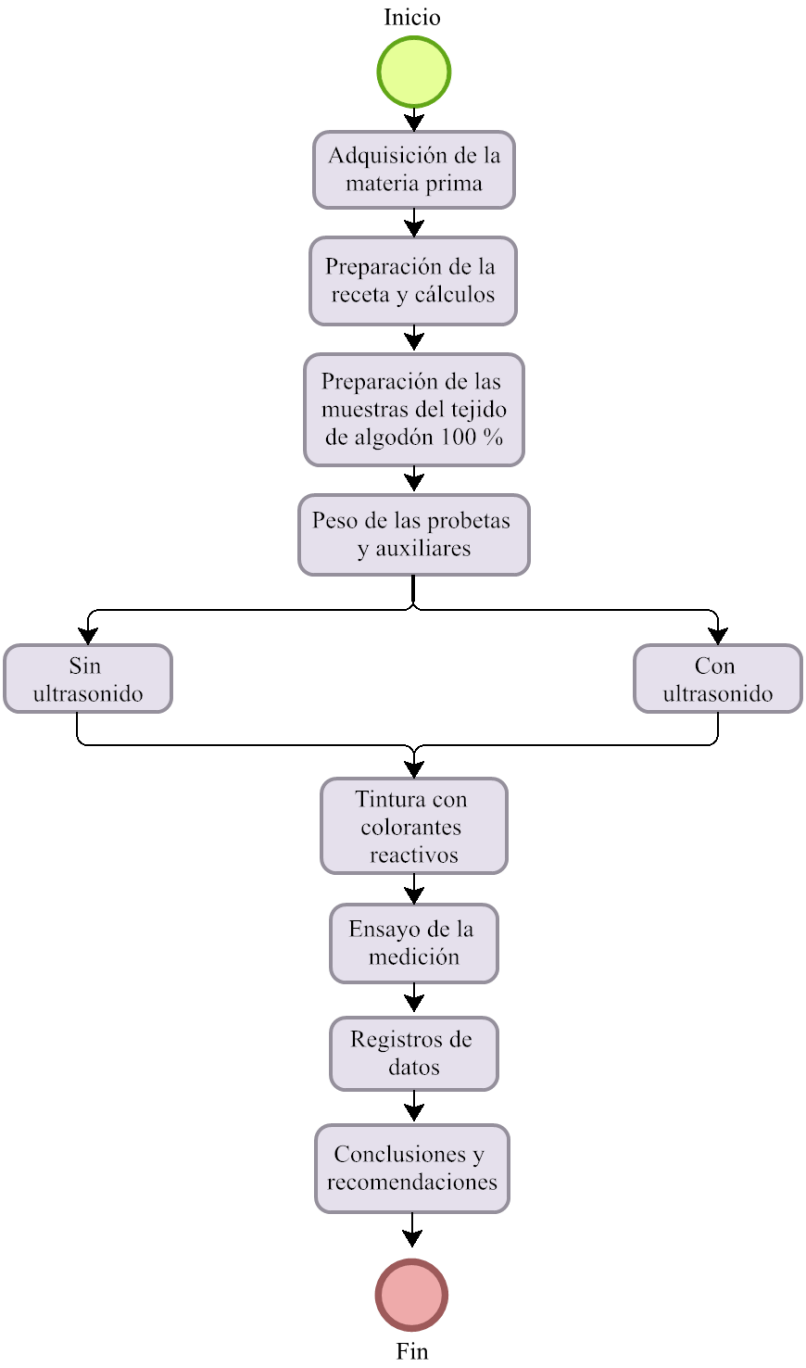
En la presente investigación, el flujograma representa de manera secuencial y ordenada cada una de las etapas que conforman el proceso de tintura. Esta representación gráfica permite visualizar claramente el desarrollo del procedimiento, desde la preparación de los materiales hasta la obtención del producto final.

Además, permite comprender mejor cada etapa del proceso, facilitando el seguimiento de las actividades realizadas y asegurando que el procedimiento se desarrolle de manera adecuada para obtener resultados confiables.

3.4.1 Flujograma General

En la **Figura *2***, se muestra el flujograma general en el que se representa cada una de las etapas que conforman al desarrollo del proceso de tintura. Esta representación facilita la compresión del procedimiento experimental, permitiendo visualizar de forma clara el desarrollo de cada proceso de tintura y comprender la relación entre cada una de sus etapas.

Figura 2
Flujograma general



Fuente: Propia

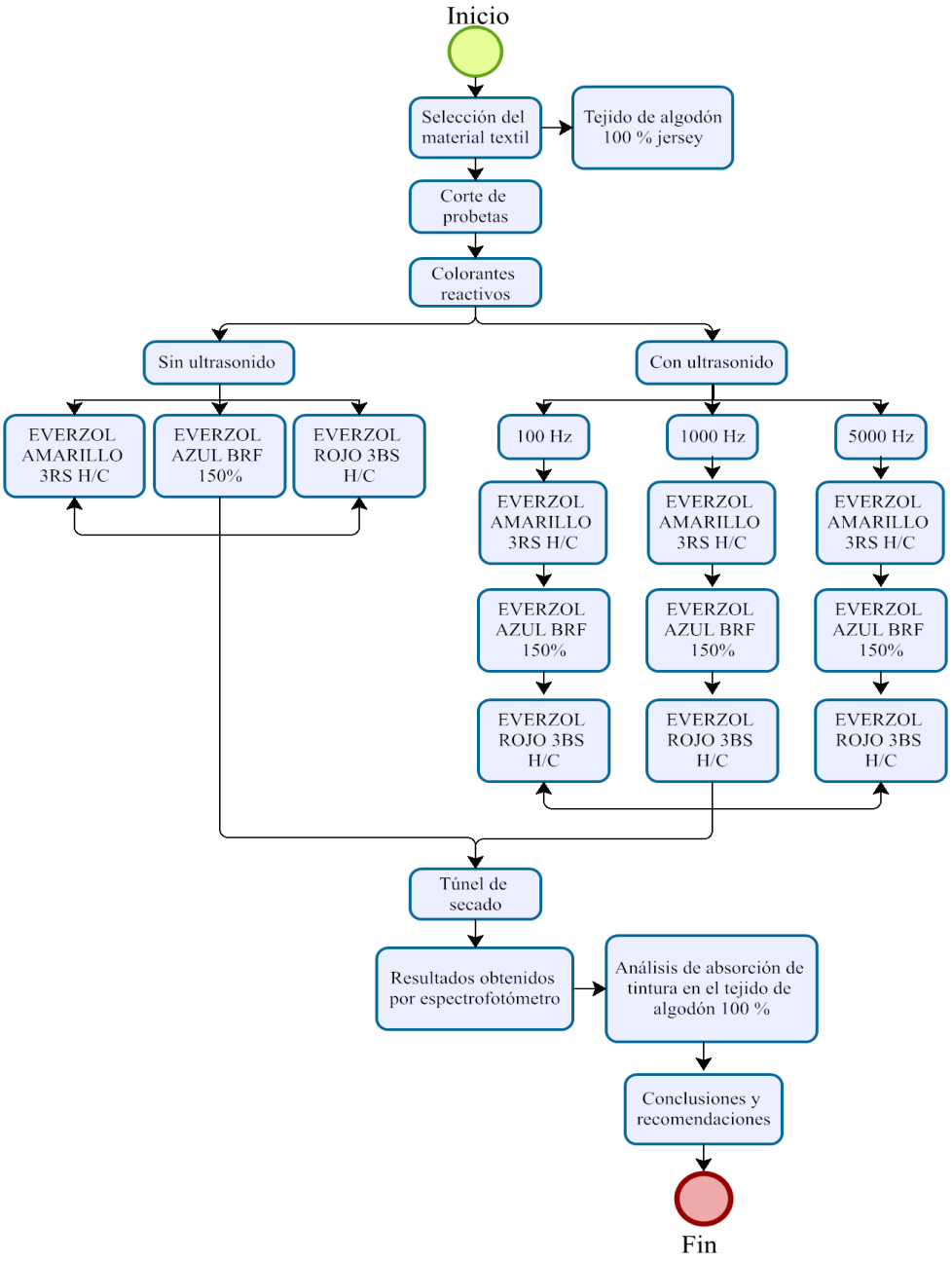
3.4.2 Flujograma Muestral

El flujograma muestral describe de manera ordenada el procedimiento seguido para la selección, preparación y tratamiento de las muestras de tejido de algodón 100 %, permite

visualizar la secuencia experimental aplicada en el desarrollo del proceso tintoreo con colorantes reactivos a 60 °C.

En la **Figura 3,** se presenta el diagrama muestral correspondiente al proceso, donde se describen de manera secuencial las etapas aplicadas a cada muestra para observar la eficiencia tintorea.

Figura 3
Flujograma muestral



Fuente: Propia.

3.5 Equipos y materiales

3.5.1 Equipos

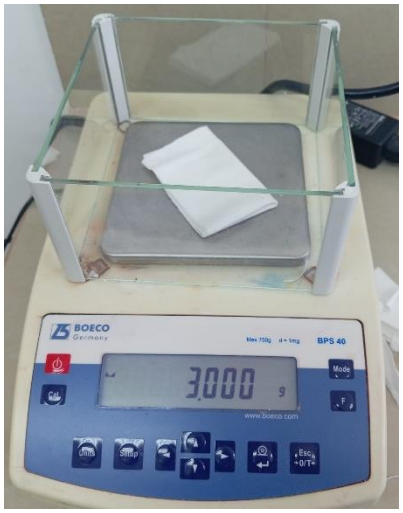
Para el desarrollo del proceso tintóreo con colorantes reactivos a 60 °C con la aplicación de ultrasonido, se utilizaron diversos equipos y materiales que permitieron realizar el procedimiento experimental.

3.5.1.1 Balanza

La balanza digital es un instrumento utilizado para establecer con precisión la masa de diferentes productos y materiales. En la **Figura 4**, se observa la balanza utilizada para pesar los auxiliares y colorantes empleados en el proceso de tintura, este equipo cuenta con una precisión de 0,001 g, lo que permite medir con mayor exactitud (Von & Strasse, 2020).

Figura 4

Balanza digital



Fuente: Propia

3.5.1.2 Equipo de Vaivén

El equipo de tintura vaivén fue utilizado como equipo principal para el desarrollo del proceso experimental de tintura de las muestras de tejido de algodón con colorantes reactivos. Este equipo, como se observa en la **Figura 5**, permite realizar procesos de tintura mediante un movimiento oscilatorio continuo de los recipientes matraz Erlenmeyer y cuenta con un control de temperatura programable.

Figura 5

Equipo de tintura Vaivén



Fuente: Propia

En la

Tabla *2* se describen las principales características del equipo vaivén, las cuales permitieron establecer las condiciones requeridas para el desarrollo del proceso tintoreo.

Tabla 2

Características del equipo Vaivén

Características técnicas del equipo Vaivén	
Nombre del equipo	Máquina de tintura Vaivén
Función principal	Realizar proceso de tintura mediante movimiento oscilatorio controlado.
Aplicación	Tintura de muestras textiles
Capacidad	24 matraces Erlenmeyer
Sistema de calentamiento	Control térmico programable
Rango de temperatura	20 °C – 140 °C
Gradiente de calentamiento	3 – 4 °C/min
Peso de muestras	3 – 5 g

Fuente: Propia

3.5.1.3 Túnel de secado

El túnel de secado es un equipo diseñado para eliminar la humedad presente en los materiales textiles después de los procesos de tintura o acabado. Su funcionamiento permite obtener un secado uniforme y controlado, está formado por una mesa con cintas transportadoras que permiten el paso continuo del material a través de una zona cubierta donde se aplica calor.

Además, cuenta con un sistema que permite regular la velocidad de desplazamiento del material, lo que ayuda a controlar el tiempo que permanecerá dentro de la zona cubierta. En la parte interna se encuentran los elementos encargados de generar energía calórica, como se muestra en la **Figura 6**, los cuales distribuyen el calor de manera uniforme para facilitar un secado eficiente.

El horno o túnel de secado alcanza temperaturas de hasta 250 °C, lo que permite adaptar las condiciones de operación según los requerimientos del material tratado. Gracias a estas características, asegura una reducción uniforme de la humedad.

Figura 6

Túnel de secado



Fuente: Propia

En la **Tabla 3** se muestran las características de la máquina túnel de secado utilizada para secar las muestras textiles.

Tabla 3

Características de la máquina túnel de secado

Características técnicas de la máquina Túnel de secado	
Nombre del equipo	Túnel de secado
Voltaje del motor	220 V
Sistema de transporte	Banda transportadora
Longitud de banda	2.50 m
Altura de la estatura	1.10 m
Ancho de la estatura	1 m
Temperatura máxima	300 °C
Desempeño térmico	Garantiza un funcionamiento óptimo durante el proceso de secado.

Fuente: Adquirido (Potosí Santellán, 2023)

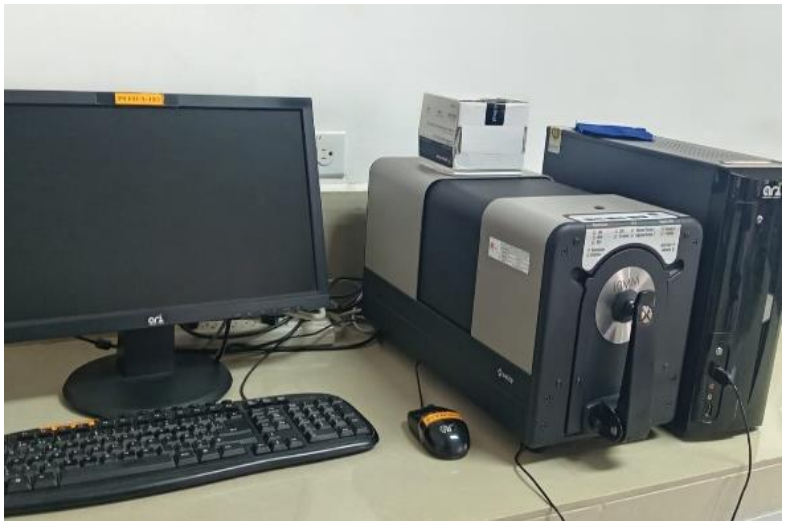
3.5.1.4 Espectrofotómetro de color

El espectrofotómetro es un equipo que posee una fuente de luz, un detector de foto, una cubeta de absorción y un aparato para poder visualizar. Su funcionamiento se basa en el paso de un rayo de luz a través de un monocromador, este selecciona una longitud de onda para así poder analizar las características del color (García, 2018).

El espectrofotómetro es utilizado para medir, calcular y expresar el color de manera precisa, como se muestra en la **Figura 7,** permitiendo que este pueda compararse con exactitud. Este instrumento transforma la percepción visual del color en datos numéricos confiables, facilitando el análisis y control de calidad en los procesos textiles.

Figura 7

Espectrofotómetro de color i5 X-RITE



Fuente: Propia

Sus principales características se muestran en la **Tabla 4**. De acuerdo con (X-Rite, 2013a) el espectrofotómetro es un equipo que posee una fuente de luz, un detector de foto, una cubeta de absorción y un aparato para poder visualizar. Su funcionamiento se basa en el paso de un rayo de luz a través de un monocromador, este selecciona una longitud de onda para así poder analizar las características del color.

Tabla 4

Características de espectrofotómetro de color i5 X-RITE

	Características
Nombre del equipo	Espectrofotómetro de color i5 X-RITE
Función principal	Evaluar el color objetivo para garantizar la consistencia en el control de calidad.
Iluminación	Xenón pulsada, D65 calibrada
Tiempo de medición	≤ 2.5 segundos (flash y adquisición de datos)
Ciclo de trabajo	Máximo 480 mediciones por hora
Rango espectral	De 360 nm a 750 nm

	Características
Intervalo de longitud de onda	10 nm
Escala fotométrica	De 0,0 % a 200 %
Resolución fotométrica	0,1 % reflectancia

Fuente: Adquirido de (X-Rite, 2013b).

3.5.1.5 Parlante JBL GO 5

El parlante JBL GO 5 es un dispositivo de audio utilizado para la reproducción de sonidos mediante conexión inalámbrica Bluetooth. En la **Tabla 5,** se detallan las principales características que posee el equipo. Este equipo, como se muestra en la **Figura 8,** fue empleado como fuente emisora de frecuencias sonoras durante el proceso experimental, permitiendo generar diferentes niveles de frecuencia para analizar su influencia en el proceso de tintura del tejido 100 % algodón con colorantes reactivos.

Figura 8

Parlante JBL GO 5



Fuente: Propia

Tabla 5

Características JBL GO 5

Características
10 horas de reproducción continua
A prueba de agua IP68
Ligero
USB tipo C
4.8 vatios de potencia

Fuente: (JBL Go 5, 2026).

3.5.2 Materiales

En el proceso de esta investigación se utilizaron varios materiales que ayudaron al cumplimiento y la obtención de los resultados finales.

3.5.2.1 Tejido jersey 100 % algodón

El tejido jersey 100 % algodón utilizado en esta investigación corresponde a un tejido de punto elaborado con fibras celulósicas naturales provenientes de la planta de algodón (*Gossypiun*). Este tipo de tejido se caracteriza por presentar una estructura flexible, suave al tacto y con buena capacidad de absorción y transpirabilidad, lo que convierte uno de los textiles más utilizados en la industria de la confección y en proceso de tintura (Belalcázar et al., 2019).

En la **Tabla *6***, se muestra la caracterización del tejido jersey 100 % algodón.

Tabla 6

Caracterización general del tejido

Características		Gráfico
Nombre comercial	Jersey APT	
Tipo	Tejido de punto	
Ligamento	Jersey	

Composición	100 % algodón
Ancho	1,63 m
Peso	1,17 kg

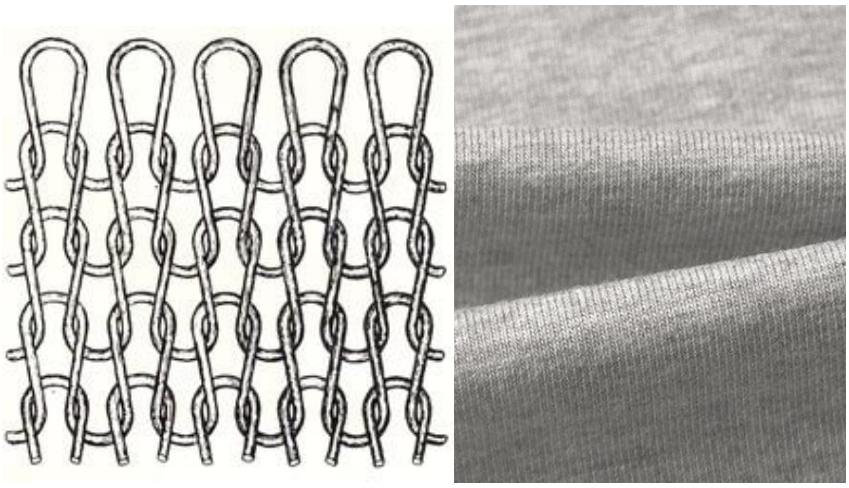


Fuente: Propia

El tejido jersey se produce mediante un sistema de punto por trama, donde las mallas se entrelazan formando una estructura flexible y ligera. Esta configuración proporciona elasticidad principalmente en sentido transversal y una adecuada permeabilidad al aire, lo que mejora el confort durante el uso. Además, la estructura del tejido, como se muestra en la **Figura 9**, facilita el contacto entre la fibra y el baño de tintura, permitiendo una distribución más homogénea del colorante.

Figura 9

Estructura del tejido jersey 100 % algodón



Fuente: (Dropthelabel, 2026).

3.5.2.2 Colorantes reactivos Everzol

Los colorantes reactivos Everzol son colorantes sintéticos utilizados principalmente en la tintura de fibras celulósicas como el algodón, debido a su capacidad de formar enlaces covalentes con la fibra, permitiendo obtener colores con buena intensidad y excelentes

propiedades de solidez al lavado, al frote y a la luz. Estos colorantes pueden trabajar a temperaturas medias de tintura, aproximadamente a 60 °C, ayudando a reducir el consumo energético durante el proceso (Siddiqua et al., 2017b).

A continuación, se muestran en la **Tabla 7** los colorantes que se fueron utilizados durante el desarrollo experimental junto con las primordiales características de cada uno.

Tabla 7

Colorantes reactivos Everzol

Colorantes	**Características**
Everzol Amarillo 3RS H/C	Alta solidez al lavado; "H/C" indica que es un colorante de alta concentración.
Everzol Azul BRF 150%	Buena solidez y resistencia a la luz.
Everzol Rojo 3BS H/C	Muy buena solidez al lavado, al cloro y a la luz; apto e ideal para diversos procesos de tintura.

Fuente: Adquirido de (Everlight, 2026).

3.5.2.3 Auxiliares

- Humectante (MARVACOL PAL SHA)

El humectante es un auxiliar textil que facilita la penetración del agua y del colorante en la fibra de algodón, reduciendo la tensión superficial del baño de tintura. Su aplicación mejora la humectación del tejido, permitiendo una distribución más uniforme del colorante durante el proceso tintoreo. En la **Tabla 8**, se presenta las especificaciones principales del auxiliar.

Tabla 8

Especificaciones humectante MARVACOL PAL SHA

	Especificaciones
Nombre comercial	MARVACOL PAL SHA
Tipo de producto	Agente auxiliar textil.
Función principal	Humectante rápido de alto rendimiento.
Funciones secundarias	Emulsionante, agente igualador y dispersante.

Fuente: (COPRIQUIN S.A.S., 2025).

- ÁLCALI RSP

Es un agente alcalino utilizado en los procesos de tintura con colorantes reactivos. Su función principal es incrementar el pH del baño de tintura, favoreciendo la reacción química entre el colorante reactivo y la fibra de algodón, mejorando la fijación del colorante y la solidez del teñido. A continuación, se presenta en la **Tabla 9**, las especificaciones principales.

Tabla 9

Especificaciones álcali RSP

	Especificaciones
Nombre comercial	ÁLCALI RSP
Tipo de producto	Fijador textil.
Función principal	Fijación de colorantes reactivos sobre el tejido.
Procesos clave	Tintura por agotamiento.

Fuente: (Gabriela Terceros Salvador, 2023).

- SAL TEXTIL

Su función principal consiste en aumentar la afinidad del colorante hacia la fibra, favoreciendo el agotamiento del baño tintóreo y mejorando la absorción y distribución del colorante sobre el tejido. En la **Tabla 10**, se presentan las principales especificaciones.

Tabla 10

Especificaciones SAL TEXTIL

	Especificaciones
Nombre comercial	Sal textil
Nombre químico	Cloruro de sodio (NaCl).
Aspecto físico	Sólido cristalino de color blanco.
Función principal	Agente electrolito neutro para favorecer el agotamiento de colorantes reactivos y directos.

Fuente: (San Francisco MzC Lt, 2025).

- MARVACOL PAL SHA

Es un auxiliar textil empleado después del proceso de tintura para remover el colorante residual que no se fijó al tejido. Su uso favorece la obtención de tonos más limpios y una mejor calidad del color final. A continuación, se muestra en la **Tabla 11**, las principales especificaciones.

Tabla 11

Especificaciones MARVACOL PAL SHA

	Especificaciones
Nombre comercial	MARVACOL PAL SHA
Tipo de producto	Detergente industrial humectante y re-humectante.
Función principal	Eliminar el colorante residual del tejido.
Aplicación	Procesos de preparación y tintura textil.

Fuente: (*MARVACOL PAL SHA*, 2025).

3.6 Procedimiento

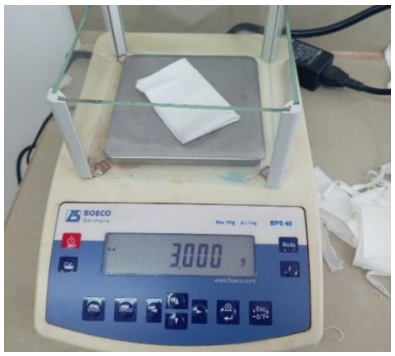
En el desarrollo de esta investigación se utilizaron equipos, como también materiales y recursos que facilitaron la realización del proyecto. En sí, fueron muy importantes para efectuar la tintura mediante la frecuencia de ultrasonido.

3.6.1 Preparación de las muestras

El proceso de tintura se desarrolló mediante el método de agotamiento, utilizando el equipo vaivén, trabajando a una temperatura de 60 °C. Dentro de este desarrollo experimental se determinaron procedimientos sin frecuencia de ultrasonido y con frecuencia de ultrasonido, con el objetivo de comparar el comportamiento del proceso tintóreo. Se utilizó tejido de algodón 100 % jersey (APT). Seguidamente, se realizó el corte de las muestras con un peso de 3 g, como se muestra en la **Figura 10**. Una vez preparadas las muestras, se realizó el cálculo de la receta de tintura.

Figura 10

Muestra del tejido de algodón



Fuente: Propia

Para la preparación del baño de tintura se utilizaron las siguientes dosificaciones, como se muestra en la **Tabla 12**, teniendo en cuenta que se utilizó para la tintura con la frecuencia del ultrasonido y sin la frecuencia de ultrasonido.

Tabla 12

Dosificaciones sin frecuencia de ultrasonido

Colorantes	Concentración (%)
Everzol Amarillo 3RS H/C	0,5
	1
	1,5
Everzol Azul BRF 150%	0,5
	1
	1,5
Everzol Rojo 3BS H/C	0,5
	1
	1,5

Fuente: Propia

En la **Tabla 13** se presenta la dosificación utilizada, así como las diferentes frecuencias de ultrasonido aplicadas durante el proceso de tintura. La combinación de estos factores permitió evaluar el efecto de las variaciones en la concentración del colorante y la influencia de la frecuencia sobre el comportamiento del tejido.

Tabla 13

Dosificaciones con frecuencia de ultrasonido

Colorantes	Concentración (%)	Frecuencia Hz
Everzol Amarillo 3RS H/C	0,5	
	1	100
	1,5	
Everzol Azul BRF 150%	0,5	
	1	1000
	1,5	
Everzol Rojo 3BS H/C	0,5	
	1	5000
	1,5	

Fuente: Propia

3.6.2 Formulación de receta

La formulación de receta constituye una etapa fundamental dentro del proceso experimental, ya que permite establecer las cantidades de colorantes y auxiliares requeridas para obtener una coloración adecuada.

La receta de tintura fue utilizada como base en todos los ensayos realizados. De esta manera, fue posible comparar los resultados obtenidos al aplicar distintas concentraciones de colorantes y frecuencias de ultrasonido. A continuación, se muestra en la **Tabla 14** la receta utilizada.

Tabla 14

Receta de tintura

Receta de tintura

Material: Algodón 100 % jersey **RB:** 1/75

Peso: 3g **Volumen:** 225 ml

	Colorantes							Auxiliares							
	Dosificación (%)	Frecuencia						Sal		Álcali		Igualente		Humectante	
		100 Hz		1000 Hz		5000 Hz		(g/L)	(g)	(g/L)	(g)	(g/L)	(g)	(g/L)	(g)
		(g)	(mL)	(g)	(mL)	(g)	(mL)								
EVERZOL	0,5	0,015	1,5	0,015	1,5	0,015	1,5	20	4,5	10	2,25	1	0,23	1	0,23
AMARILLO	1	0,03	3	0,03	3	0,03	3	40	9	15	3,38	1	0,23	1	0,23
3RS H/C	1,5	0,045	4,5	0,045	4,5	0,045	4,5	40	9	20	4,5	1	0,23	1	0,23
EVERZOL	0,5	0,015	1,5	0,015	1,5	0,015	1,5	20	4,5	10	2,25	1	0,23	1	0,23
AZUL BRF	1	0,03	3	0,03	3	0,03	3	40	9	15	3,38	1	0,23	1	0,23
150%	1,5	0,045	4,5	0,045	4,5	0,045	4,5	40	9	20	4,5	1	0,23	1	0,23
EVERZOL	0,5	0,015	1,5	0,015	1,5	0,015	1,5	20	4,5	10	2,25	1	0,23	1	0,23
ROJO 3BS	1	0,03	3	0,03	3	0,03	3	40	9	15	3,38	1	0,23	1	0,23
H/C	1,5	0,045	4,5	0,045	4,5	0,045	4,5	40	9	20	4,5	1	0,23	1	0,23

Fuente: Propia

Las cantidades determinadas en la formulación fueron utilizadas como base para la preparación de todos los baños de tintura realizados durante la investigación. Esta receta permitió desarrollar los diferentes tratamientos bajo condiciones controladas de los resultados obtenidos.

3.6.3 Preparación del baño de tintura

Para la preparación del baño de tintura se usó agua destilada como medio de disolución, con el propósito de evitar la presencia de impurezas o contaminantes que pudieran afectar el proceso. Para la preparación de la solución colorante, se pesaron 1,5 g de cada colorante reactivo Everzol y se disolvieron en 150 mL de agua destilada. Previamente, el agua destilada fue calentada a una temperatura moderada para facilitar la disolución del colorante y evitar la formación de grumos. Seguidamente, la mezcla se agitó hasta obtener una solución homogénea como se observa en la **Figura 11.**

Figura 11

Colorantes disueltos



Fuente: Propia

Una vez preparada la solución colorante, se preparó la solución de humectante (Marvacol PAL SHA) disolviendo 100 g en 1000 mL de agua destilada hasta obtener una mezcla homogénea. Una vez preparada, se añadió al baño de tintura para favorecer la humectación del tejido. Luego, se incorporó el igualante para mejorar la distribución del colorante en la fibra.

Seguidamente se añadió sulfato de sodio (sal textil) para favorecer la absorción del colorante y, finalmente, álcali RSP para facilitar su fijación en el tejido durante el proceso de tintura. En la siguiente **Tabla 15** se muestran los auxiliares utilizados.

Tabla 15

Auxiliares

Auxiliares
MARVACOL PAL SHA
ÁLCALI RSP
SAL TEXTIL

Fuente: Propia

3.6.4 Proceso de tintura sin aplicación de ultrasonido

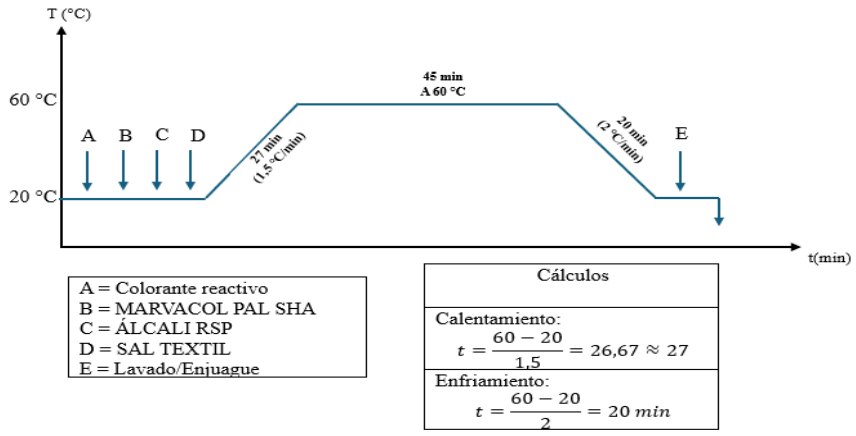
El proceso inició a una temperatura de 20 °C. Una vez preparado el baño de tintura, se realizó la adición gradual del colorante y de cada uno de los auxiliares y, por último, se agregó la muestra en cada matraz Erlenmeyer durante los primeros 20 minutos del proceso. Posteriormente, la temperatura fue incrementada desde 20 °C hasta 60 °C a una velocidad aproximada de 1,5 °C/min durante un tiempo de 27 minutos. Una vez alcanzada la temperatura de trabajo, las muestras permanecieron durante 45 minutos a 60 °C para favorecer el agotamiento y la fijación del colorante reactivo sobre el tejido de algodón.

Finalizado el tiempo de tintura, se procedió al enfriamiento del baño hasta alcanzar nuevamente los 20 °C, durante un periodo de 20 minutos. Finalmente, las muestras fueron sometidas a un proceso de lavado y enjuague para eliminar los residuos del colorante.

Mediante la **Figura 12,** se puede visualizar la curva de proceso de tintura sin ultrasonido

Figura 12

Curva de tintura sin ultrasonido



Fuente: Propia

3.6.5 Proceso de tintura con aplicación de ultrasonido

Para los tratamientos asistidos con ultrasonido se siguió el mismo procedimiento de preparación del baño de tintura descrito anteriormente. Por otra parte, en el proceso se utilizaron frecuencias de 100 Hz, 1000 Hz y 5000 Hz. Para el proceso de esta tintura se incorporó el parlante JBL GO 5 en la parte superior de la máquina vaivén conectado mediante Bluetooth a un dispositivo móvil. **Figura 13.**

Figura 13

Proceso de tintura



Fuente: Propia

A través de una aplicación instalada en un teléfono celular, llamada "Generador de frecuencias", como se muestra en la **Figura 14,** este sistema reprodujo las frecuencias establecidas para cada tratamiento experimental. Adicionalmente, se utilizó una aplicación de sonómetro para medir y verificar los niveles de decibeles generados durante la reproducción de las frecuencias.

Figura 14

Aplicación "generador de frecuencia y sonómetro"



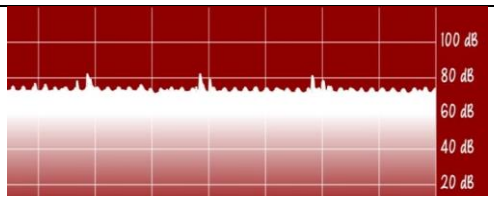
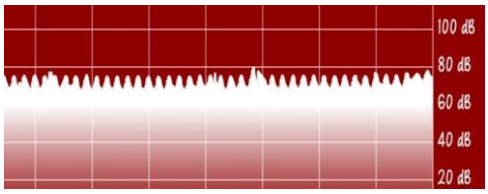
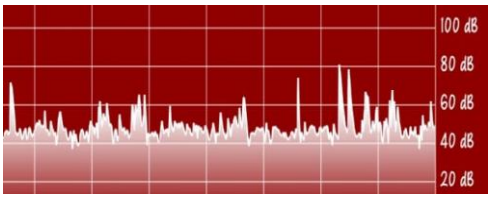
Fuente: Propia

La **Tabla 16** presenta los niveles de presión sonora registrados durante la aplicación de ultrasonido de 100 Hz, 1000 Hz y 5000 Hz. Los resultados muestran que los valores de presión sonora varían en función de la frecuencia utilizada.

La frecuencia de 1000 Hz registró los niveles de presión sonora más elevados (75 – 79 dB), seguida por 100 Hz (73 – 77 dB); por el contrario, la frecuencia de 5000 Hz presentó los valores más bajos (49 – 51).

Tabla 16

Niveles de presión sonora (dB) registrados durante la aplicación de ultrasonido.

Ultrasonido (Hz)	dB	Gráfico
100	73 - 77	
1000	75 - 79	
5000	49 - 51	

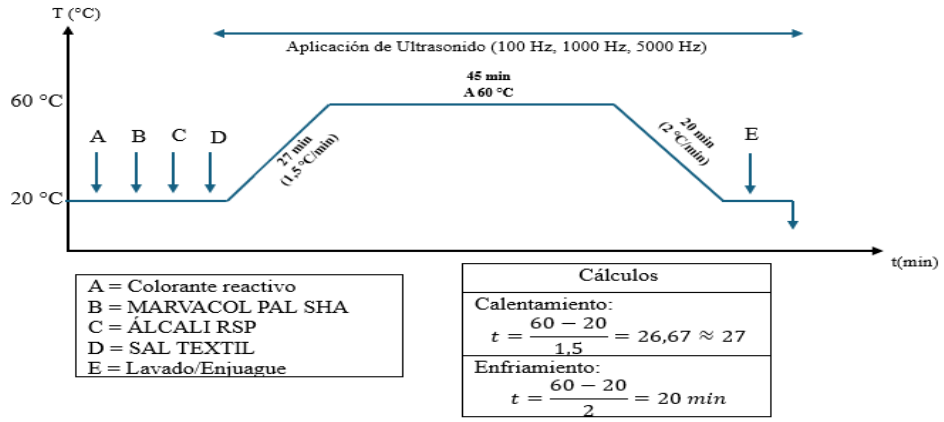
Fuente: Propia

Estos resultados indican que la intensidad sonora del sistema varía de acuerdo con la frecuencia aplicada, siendo mayor en las frecuencias de 100 Hz y 1000 Hz que en 5000 Hz.

En la **Figura *15***, se muestra la curva de proceso de tintura con aplicación de ultrasonido, la cual muestra las etapas desarrolladas durante el tratamiento.

Figura 15

Curva de tintura con aplicación de frecuencia de ultrasonido



Fuente: Propia

3.6.6 Lavado, enjuague y secado de las muestras

Finalizado el proceso tintóreo, cada muestra fue sometida a un lavado: primero, con agua fría, y seguidamente, con detergente (PERLAVEN SRL) a una concentración de 0,1 mL en 500 mL, a una temperatura de 60 °C, para eliminar el colorante no fijado en la superficie del tejido, y se enjuagó.

Seguidamente, se secó cada muestra en la máquina de túnel de secado, a una temperatura de 100 °C. **Figura 16.**

Figura 16

Secado de las muestras



Fuente: Propia

3.6.7 Evaluación y análisis

Una vez finalizado el proceso de secado, las muestras tinturadas fueron evaluadas mediante el análisis espectrofotométrico, utilizando la norma CIELAB D65/10, para determinar la intensidad del color mediante el parámetro (%STR-SWL). Posteriormente los resultados obtenidos fueron registrados y organizados en tablas de datos, para facilitar la comprensión la comparación entre las muestras tinturadas con y sin la aplicación de ultrasonido, permitiendo evaluar su influencia.

Figura 17

Evaluaciones

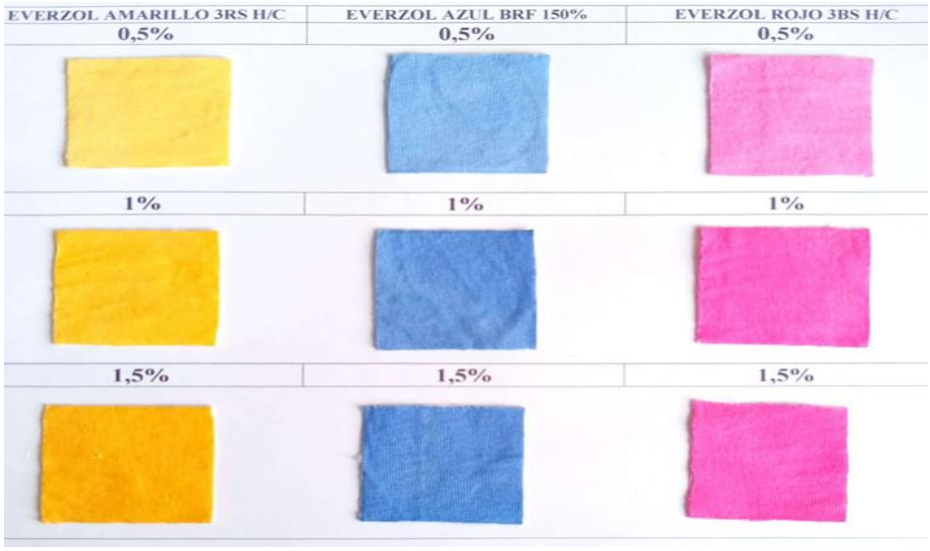


Fuente: Propia

A partir de los valores obtenidos, se analizaron las diferencias de color entre los tratamientos convencionales y los tratamientos asistidos por ultrasonido. De esta manera, fue posible evaluar la influencia de las diferentes frecuencias aplicadas sobre el comportamiento del colorante en el tejido jersey 100 % algodón. Los resultados obtenidos permitieron comparar la absorción del colorante en cada muestra, lo que contribuyó al análisis de la eficiencia del proceso de tintura, como se muestra en las figuras 17, 18, 19 y 20.

Figura 18

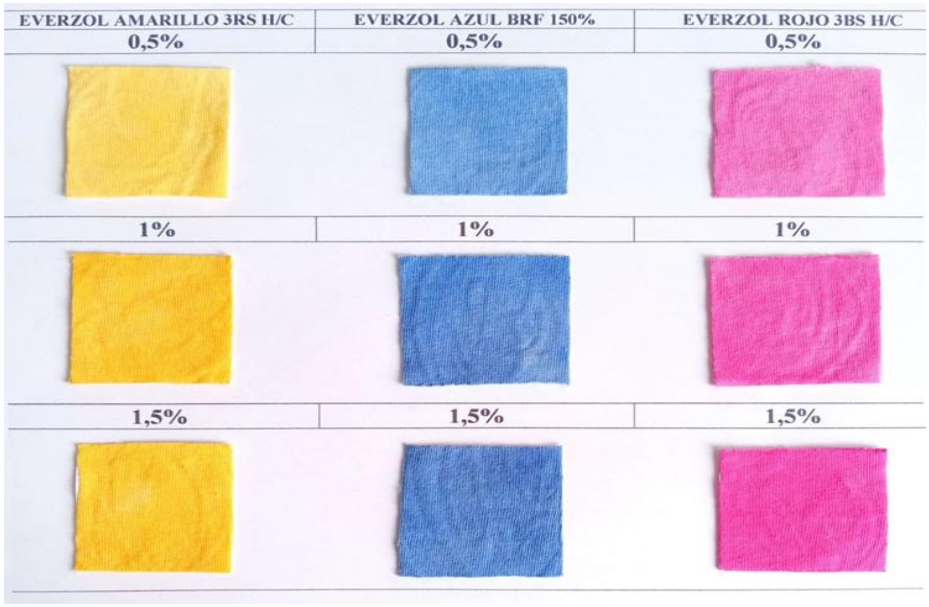
Banderas teñidas con colorantes Everzol sin ultrasonido



Fuente: Propia

Figura 19

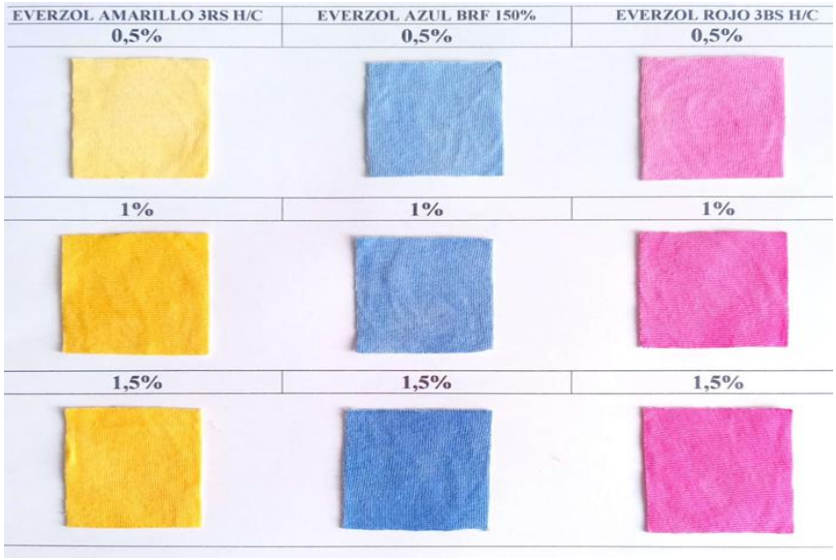
Banderas teñidas con colorantes Everzol utilizando una frecuencia de 100 Hz



Fuente: Propia

Figura 20

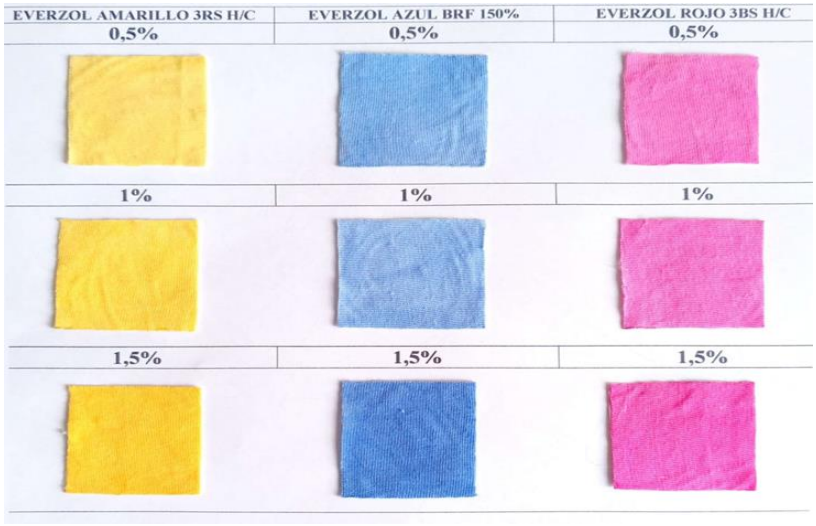
Banderas teñidas con colorantes Everzol utilizando una frecuencia de 1000 Hz



Fuente: Propia

Figura 21

Banderas teñidas con colorantes Everzol utilizando una frecuencia de 5000 Hz



Fuente: Propia

Tras el análisis de las banderas obtenidas en el presente estudio, se determinaron los porcentajes del parámetro %STR-SWL correspondientes a cada una de las frecuencias evaluadas, Estos resultados permitió comparar el comportamiento de las muestras teñida.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos durante la evaluación del proceso de tintura de tejido jersey 100 % algodón con colorantes reactivos Everzol, tanto en condiciones convencionales como mediante la aplicación de diferentes frecuencias de ultrasonido. Los resultados fueron analizados mediante espectrofotometría, evaluación colorimétrica con el sistema CIELAB D65/10°, lo que permitió determinar la intensidad del color %STR-SWL y así poder comparar el comportamiento que tubo cada una de las muestras y analizar la influencia de la aplicación de ultrasonido sobre el proceso tintóreo y la intensidad del color que obtuvo en el tejido.

4.1 Normalidad de datos

Los resultados presentados en la **Figura 22** muestran que el valor p(normal) obtenido para los tratamientos evaluados fue superior a 0,05. Esto indica que los datos presentan una distribución normal; estas pruebas permitieron determinar el análisis estadístico más adecuado para comparar las diferentes concentraciones de colorante y las frecuencias de ultrasonido aplicadas en el proceso de tintura, lo que permite trabajar con un nivel de confiabilidad del 95 % ($p>0,05$).

Se muestran los resultados de la prueba de normalidad de las diferentes frecuencias; se evaluó la normalidad de los datos obtenidos para cada una de las condiciones analizadas. Este procedimiento se realizó mediante el software PAST 4, aplicando la prueba de Shapiro-Wilk, por ser la herramienta adecuada para este tamaño de muestra ($n<50$).

Figura 22

Resultados de las pruebas de normalidad para las variables analizadas.

Tests for normal distribution

	100	1000	5000
N	9	9	9
Shapiro-Wilk W	0,8948	0,9256	0,8745
p(normal)	0,2233	0,4405	0,1374

Nota: Procesamiento estadístico realizado en PAST4. Fuente: Propia

4.2 Análisis de varianza de frecuencias

En este apartado se presentan los resultados obtenidos mediante el programa PAST 4, correspondientes al análisis de varianza de las tres frecuencias de ultrasonido evaluadas: 100 Hz, 1000 Hz y 5000 Hz (ver **Figura 23**). Para cada frecuencia se analizaron nueve mediciones, lo que permitió comparar la intensidad del color y observar qué tan similares o diferentes fueron los resultados entre las frecuencias de ultrasoido. Además, se consideró la variación de los resultados para determinar que frecuencia mostró un comportamiento más uniforme.

Figura 23

Varianza del %STR-SWL por frecuencia de ultrasonido.

Univariate statistics

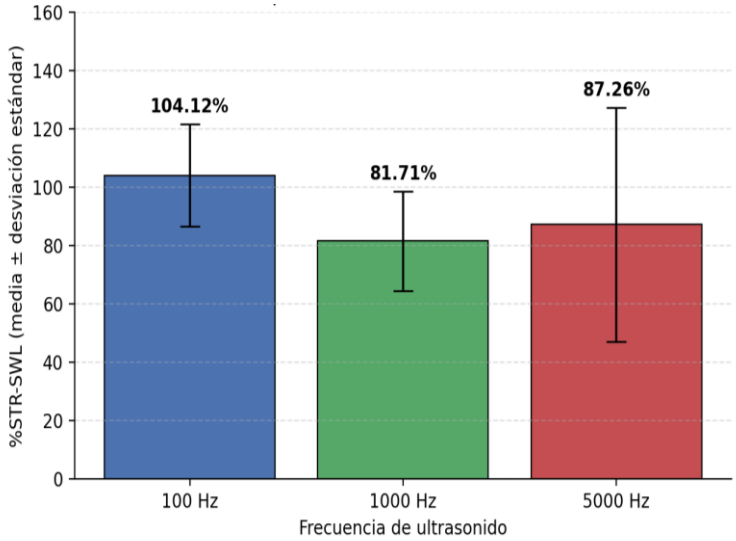
	100	1000	5000
N	9	9	9
Min	84,12	62,48	43,42
Max	129,87	109,7	166,42
Sum	937,1	735,37	785,33
Mean	104,1222	81,70778	87,25889
Std. error	5,845191	5,684519	13,38395
Variance	307,4964	290,8238	1612,17
Stand. dev	17,53557	17,05356	40,15184
Median	106,21	78,36	79,32
25 prcntil	86,16	64,58	60,17
75 prcntil	119,865	95,645	115,635
Skewness	0,1304027	0,3933212	1,194375
Kurtosis	-1,810325	-1,163662	0,6523933
Geom. mean	102,8095	80,15742	80,20427
Coeff. var	16,84134	20,8714	46,01461

Nota: n = 9 por frecuencia (3 colorantes x tres concentraciones). Fuente propia

Al analizar la variación de los resultados, se observó que la frecuencia de 5000 Hz presentó la mayor dispersión de los datos obtenidos, con una varianza de 1612,17 % y un coeficiente de variación de 46,01 %. Esto indica que los resultados obtenidos a esta frecuencia fueron más variables entre las muestras. En comparación, las frecuencias de 100 Hz y 1000 Hz presentaron menores niveles de variación, con coeficientes de variación de 16,84 % y 20,87 %, respectivamente. Por lo tanto, la frecuencia de 100 Hz mostró el comportamiento más uniforme de las tres frecuencias evaluadas, mientras que 5000 Hz presentó una mayor variabilidad en los resultados de la intensidad del color (ver **Figura 24**).

Figura 24

Variabilidad de la intensidad de color (%STR-SWL) por frecuencia de ultrasonido



4.3 Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en el presente estudio se fundamenta en el análisis estadístico de los valores colorimétricos para determinar la intensidad del color (%STR-SWL) mediante espectrofotometría bajo el sistema CIELAB D65/10 en las muestras de tejido 100 % algodón jersey tinturado con los colorantes reactivos Everzol a concentraciones de 0,5 %, 1 % y 1,5 %, bajo condiciones convencionales (sin ultrasonido) y con la aplicación de frecuencias de 100 Hz, 1000 Hz y 5000 Hz generadas mediante parlante JBL GO 5. El procesamiento estadístico fue realizado en el software PAST4, mediante el cual se ejecutaron pruebas de normalidad, con el objetivo de verificar la confiabilidad de los datos y determinar la influencia de cada frecuencia sobre el comportamiento colorimétrico del tejido.

Tabla 17

Resultados de la evaluación con frecuencias de ultrasonido

Color	Concentración (%)	Prueba (Hz)	%STR-SWL
Amarillo	**0.5%**	100	86.65
		1000	66.24
		5000	57.60
Amarillo	**1 %**	**100**	**129.87**

Color	Concentración (%)	Prueba (Hz)	%STR-SWL
Amarillo	**1.5 %**	1000	62.92
		5000	94.04
		100	84.12
		1000	74.09
		5000	62.97
Azul	**0.5 %**	100	85.67
		1000	**109.70**
		5000	62.74
Azul	**1 %**	100	91.51
		1000	62.48
		5000	**43.42**
Azul	**1.5 %**	100	121.75
		1000	90.29
		5000	81.59
Rojo	**0.5 %**	100	106.21
		1000	78.36
		5000	137.23
Rojo	**1 %**	100	113.34
		1000	100.63
		5000	79.32
Rojo	**1,5 %**	100	117.98
		1000	90.66
		5000	**166.42**

Nota: Cada grupo de color/concentración contiene 3 pruebas (repeticiones) de tintura con ultrasonido, comparadas contra el estándar sin ultrasonido correspondiente. Fuente: Propia

Con base en los resultados presentados, se analizó el comportamiento del %STR-SWL en función de la frecuencia de ultrasonido aplicada, para cada uno de los colorantes reactivos Everzol (amarillo, azul y rojo) y sus respectivas concentraciones.

En promedio general, la intensidad del colorante (%STR-SWL) fue de 104,12 % para la frecuencia de 100 Hz, 81,71 % para 1000 Hz y 87,26 % para 5000 Hz (ver **Tabla 17**). Esto indica que, en promedio, la frecuencia de 100 Hz es la que produjo una intensidad de color más cercana al estándar sin ultrasonido, mientras que 1000 Hz tendió a producir muestras con menor intensidad de color que el estándar. La frecuencia de 5000 Hz, si bien alcanzó un promedio intermedio, presentó la mayor dispersión de todo el estudio, lo que indica un comportamiento poco consistente entre los diferentes colorantes y concentraciones evaluadas.

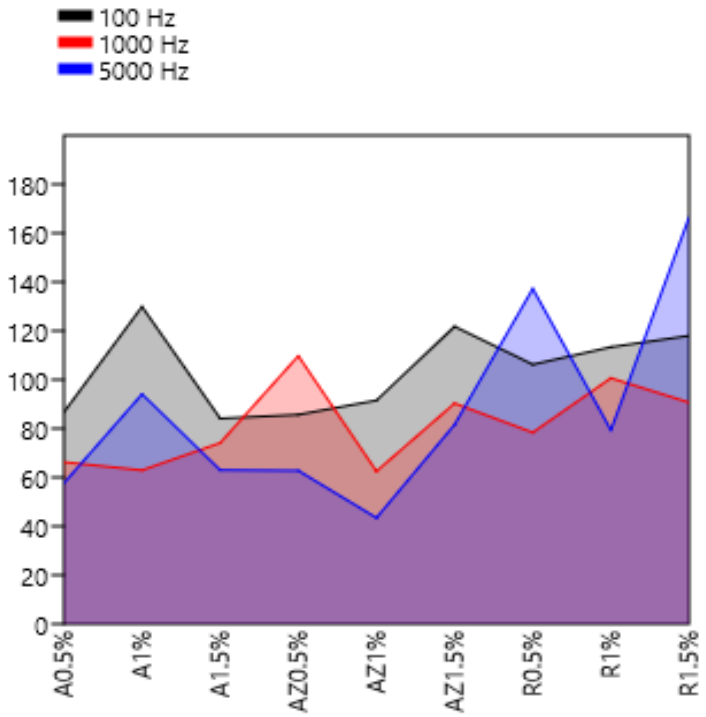
Los resultados obtenidos muestran que el efecto de la frecuencia de ultrasonido sobre el proceso de tintura no es uniforme, sino que depende tanto de la frecuencia aplicada como del colorante y de la concentración utilizada.

La **Figura 25** presenta el comportamiento del porcentaje de intensidad de colorante (%STR-SWL) obtenido a las frecuencias de 100 Hz, 1000 Hz y 5000 Hz. Se observa que los valores de intensidad de colorante variaron entre las muestras evaluadas, evidenciando que la respuesta del proceso de tintura no fue igual para todas las frecuencias. La frecuencia de 100 Hz presentó valores elevados en varias muestras, alcanzando su mayor resultado en el color amarillo al 1 % con una intensidad de color de 129.87 %.este comportamiento se puede explicar porque, al aplicar la frecuencia baja, las burbujas que se forman en el baño de tintura (efecto de cavitación) pueden disponer más tiempo para crecer antes de desaparecer, lo que genera un mayor movimiento de la solución alrededor de la fibra favoreciendo a que el colorante entre con más facilidad al tejido de algodón (Tissera et al., 2016b). Por su parte, la frecuencia de 1000 Hz mostró un comportamiento variable, con su mayor valor en el color azul al 0,5 % con 109.70 %, esto sucede porque, al aumentar la frecuencia, las burbujas de cavitación se forman y desaparecen más rápido y no siempre alcanza el mismo tamaño de cada muestra, lo que hace que el efecto sobre la fibra no sea igual de una prueba a otra. La frecuencia de 5000 Hz presentó la mayor variación entre los tratamientos, alcanzando su valor máximo en el color rojo al 1,5 % con 166.42 % y el menor de 5000 Hz en azul al 1 % con 43.42 %; en este caso, al ser una frecuencia mucho más alta, las burbujas no alcanzan a crecer lo suficiente antes de desaparecer, por lo que efecto sobre la fibra es más débil. En conjunto, los resultados indican que el efecto de la frecuencia de ultrasonido sobre la intensidad del colorante dependió de la muestra

evaluada; esto indica que cada colorante reacciona de manera distinta a la frecuencia emitida, por lo que se puede recomendar una sola frecuencia para todos los casos.

Figura 25

Comportamiento del porcentaje de intensidad de colorante (%STR-SWL)

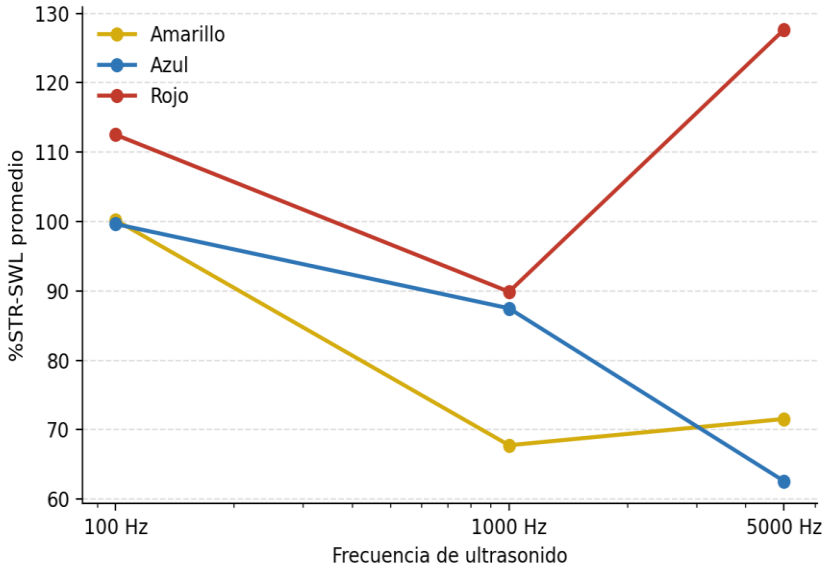


La **Figura 26** evidencia que el amarillo y el azul comparten una tendencia descendente similar entre 100 Hz y 1000 Hz, mientras que el rojo se comporta de manera distinta: mantiene valores altos en 100 Hz, desciende en 1000 Hz y vuelve a subir en 5000 Hz. Esto sucede porque cada colorante reactivo tiene una estructura química distinta, y la forma en que las moléculas se unen a la fibra de algodón no es igual para todos, lo que hace que corresponda de manera diferente ante el movimiento que genera cada frecuencia dentro del balo de tintura (Siddiqua et al., 2017b). Esta falta de un patrón único entre colorantes confirma lo señalado en la prueba de homogeneidad de varianzas (**Tabla 14**); este hallazgo, junto con la variabilidad observada a 5000 Hz (**Tabla 14 y Figura 22**), sugiere que la frecuencia de 100 Hz constituye la opción más segura para un proceso de tintura estandarizado, al ofrecer resultados más cercanos al estándar. Esto se puede explicar porque, entre el tejido de algodón y el baño de tintura, la máquina de tintura vaivén mantiene un movimiento suave y constante que asegura un contacto uniforme entre el tejido y el colorante durante todo el proceso. Sobre ese movimiento base, el parlante ubicado en la parte superior de la máquina emitió la frecuencia de ultrasonido y por ser una frecuencia baja emitió vibración, lo que favorece la hinchazón del tejido de algodón, lo que

abre paso que el colorante se difunta mejor hacia su interior. A una frecuencia baja de 100 Hz, esta vibración es más suave y se mantiene estable a lo largo del proceso, lo que permite que el tejido se hinche de manera más uniforme, mientras que 5000 Hz la vibración es mucho más rápida, lo que reduce su efecto sobre la hinchazón de la fibra y, en consecuencia, sobre la entrada del colorante. En consecuencia, se descarta el uso de 5000 Hz como frecuencia de trabajo general, reservándolo únicamente para estudios futuros que busquen explicar su comportamiento errático mediante un mayor número de repeticiones.

Figura 26

Tendencia del %STR-SWL por colorante según la frecuencia de ultrasonido



A partir de los resultados obtenidos, se puede establecer que la frecuencia de 100 Hz presentó el comportamiento más favorable dentro de las condiciones evaluadas, al alcanzar el mayor promedio de %STR-SWL y mostrar una menor variación entre los resultados. Por lo tanto, la frecuencia de 100 Hz puede considerarse el parámetro más favorable de manera general para las condiciones estudiadas en esta investigación, aunque la selección de frecuencia puede variar según el tratamiento de tintura.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se desarrolló de manera satisfactoria el proceso de tintura en algodón con colorantes reactivos Everzol a 60 °C mediante la asistencia de ultrasonido, cumpliendo con el objetivo general planteado y permitiendo comparar el comportamiento colorimétrico del tejido bajo distintas frecuencias frente al proceso convencional sin ultrasonido
- La frecuencia de 100 Hz presentó el mejor comportamiento general, al obtener un promedio de 104,12 %STR-SWL, valor más cercano al estándar de referencia. Además, presento una menor variación entre los resultados, lo que indica un comportamiento más uniforme durante las pruebas.
- Los resultados demostraron que el efecto de la frecuencia de ultrasonido no fue igual para todos los colorantes ni para todas las concentraciones. La frecuencia con la que presentó mejores resultados dependió de la combinación entre el colorante y la concentración utilizada. Por lo tanto, no se puede establecer que una sola frecuencia produzca siempre los mejores resultados para los tratamientos.
- La frecuencia de 1000 Hz presentó el menor promedio general de %STR.SWL, con 81,71 %, lo que indica que, en el conjunto de muestras evaluadas, los resultados tendieron a presentar una menor intensidad de color respecto al estándar. Sin embargo, su comportamiento no fue igual en todas las muestras, ya que en algunos tratamientos alcanzó valores superiores al 100 %.
- La evaluación estadística de los datos permitió comprobar que los resultados obtenidos presentaron un comportamiento adecuado para su análisis, ya que los valores obtenidos en las pruebas de normalidad fueron superiores a 0,05. Esto permitió analizar los resultados de las diferentes frecuencias de ultrasonido con un nivel de confianza de 95 %.
- Los resultados obtenidos demostraron que una mayor frecuencia de ultrasonido no produce necesariamente mejores resultados en el proceso de tintura. En las condiciones evaluadas, las frecuencias más bajas presentaron una mayor variación entre las muestras. Esto indica que el aumento de la frecuencia no garantiza una mayor intensidad de color en el proceso de tintura.

5.2 Recomendaciones

- Se considera importante utilizar la frecuencia de 100 Hz como una opción inicial para realizar nuevos procesos de tintura, ya que en esta investigación presentó resultados más estables y un buen desarrollo de color.
- Se sugiere continuar investigando el uso de la frecuencia del ultrasonido en la tintura de algodón 100 %, probando otras frecuencias para ampliar el conocimiento sobre esta técnica.
- Se recomienda investigar el efecto de la distancia entre la fuente emisora de sonido y el baño de tintura. Estas variables podrían influir en la transmisión de la energía acústica y, por lo tanto, en la interacción entre el baño de tintura, el colorante y el tejido.
- Se considera necesario realizar investigaciones futuras utilizando diferentes tipos de tejido de algodón, como tejidos planos, tejidos de mayor gramaje y diferentes estructuras de punto, con el propósito de determinar si la estructura y las características físicas del material influyen en la respuesta del proceso del teñido asistido mediante ultrasonido.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abate, B., & Thakore, K. A. (2016a). Ultrasound Application to Dyeing of Cotton Fabrics with Reactive Dyes. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, *5*, 236–239. https://www.ijert.org/research/ultrasound-application-to-dyeing-of-cotton-fabrics-with-reactive-dyes-IJERTV5IS080156.pdf

Abate, B., & Thakore, K. A. (2016b). Ultrasound Application to Dyeing of Cotton Fabrics with Reactive Dyes. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, *5*, 236–239. www.ijert.org

Abate, B., & Thakore, K. A. (2016c). *Ultrasound Application to Dyeing of Cotton Fabrics with Reactive Dyes*. www.ijert.org

Adeel, S., Kiran, S., Jannat, M., Amin, N., Hassan, A., Qayyum, M. A., & Khan, S. R. (2021). Sustainable Dyeing of Cellulosic Fabric with Reactive Violet H3R dye: Ultrasonic Assisted Improvement in Color Characteristic. *Journal of the Mexican Chemical Society*, *65*(3), 396–404. https://doi.org/10.29356/JMCS.V65I3.1571

Belalcázar, S. M. C., Duque, Á. M. H., Gómez, C. R., & Londoño, N. A. C. (2019). Minimización de impactos a través de la optimización del ciclo de vida de la tela de algodón. *Revista de La Facultad de Ciencias*, *8*(1), 57–72. https://doi.org/10.15446/REV.FAC.CIENC.V8N1.68931

COPRIQUIN S.A.S. (2025). *MARVACOL PAL SHA*. https://www.copriquin.com/textil/marvacol%C2%AE-pal-sha

Diaz, F., 1d, •, Oliveira, D., Laguna, R., & Paulo, S. (2020). Novo sonômetro Brüel & Kjær Modelo 2245: O novo sonômetro da Brüel & Kjær tem inovações para todos os tipos de usuários, de consultores a pesquisadores. *Acústica e Vibrações*, *35*(52), 171-175–171–175. https://doi.org/10.55753/AEV.V35E52.41

Dropthelabel. (2026). *Diagrama_de_tejido_jersey_240x240*.

Everlight. (2026). *Everzol® - Everlight Colorants - Everlight Colorants*. https://everlight-ccbu.com/en/products/textile/reactive-dyes/everzol/?utm_source=chatgpt.com

Gabriela Terceros Salvador. (2023, December 7). *Sustituto Alcalino para Teñido Textil | PDF | Solubilidad | Carbonato de sodio*. https://es.scribd.com/document/690555437/ALCALIGENO-RS-1

García, R. D. (2018). Instrumentos que revolucionaron la química: la historia del espectrofotómetro. *Avances En Química*, *13*(3), 79–82. www.saber.ula.ve/avancesenquimicaAvancesenQuímica,13

Gilpavas, E., Arbeláez-Castaño, P. E., Medina-Arroyave, J. D., Gómez-Atehortua, C. M., Gilpavas, E., Arbeláez-Castaño, P. E., Medina-Arroyave, J. D., & Gómez-Atehortua, C. M. (2018). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL MEDIANTE COAGULACIÓN QUÍMICA ACOPLADA A PROCESOS FENTON INTENSIFICADOS CON ULTRASONIDO DE BAJA FRECUENCIA. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, *34*(1), 157–167. https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.01.14

Google Maps. (2026). *Ubicación laboratorio CTEX*. https://www.google.com/maps/place/Estadio+UTN,+Ibarra/@0.3789344,-78.1406214,15z/data=!3m1!4b1!4m6!3m5!1s0x8e2a3b4f62b37d23:0xea99ad1313c128

6b!8m2!3d0.3790498!4d-78.1220554!16s%2Fg%2F11bvtf7fpv?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI2MDQyMC4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D

Hernández Sampieri, R., Fernádez Collado, C., & Baptista Lucio, M. D. P. (2014). Metodología de la investigación. *Metodología de La Investigación*, 1–634. https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008&info=resumen&idioma=SPA

Hernández-Florez, N., & Klimenko, O. (2025). Metodología de la investigación, enfoque cualitativo, cuantitativo y mixto. *Nexus: Multidisciplinary Research Journal*, *2*(3), 1–19. https://nexushouseeditorial.com/index.php/nexus/article/view/24

HunterLab. (2022, September 2). *¿Qué es el espacio de color CIELAB? | HunterLab (EN)*. https://www.hunterlab.com/en/blog/what-is-cielab-color-space/

JBL Go 5 | Altavoz ultraportátil, resistente al agua y a las caídas, con el legendario sonido de JBL e iluminación ambiental en los bordes. (2026). https://www.jbl.com/GO-5.html?utm_source=chatgpt.com

MARVACOL PAL SHA. (2025). https://www.copriquin.com/textil/marvacol%C2%AE-pal-sha

Menéndez-Carrión, A., Camerlo, M., Maciel, G., Barreto, L., Pérez, A., Dayanara González, L., Ojeda, J., Callizo, C. J. F., Barrientos, F., & Artículos, D. M. (2023). *Asociación Ecuatoriana de Ciencia Política Revista Ecuatoriana de Ciencia Política*. *2*, 18–38. www.reecp.com

Potosí Santellán. (2023). *EFECTO DEVORÉ SOBRE MUESTRAS DE TELA JERSEY PES/CO 65/35 UTILIZANDO PASTA MADRE ÁCIDA COMO AGENTE DESTRUCTOR DE ALGODÓN MEDIANTE ESTAMPACIÓN DIRECTA* [Universidad Técnica del Norte]. https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/14536/2/04%20IT%20342%20TRABAJO%20GRADO.pdf?utm_source=chatgpt.com

Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, L. (2014). Definiciones de los enfoques cuantitativo y cualitativo, sus similitudes y diferencias. *RH Sampieri, Metodología de La Investivación*, *22*.

San Francisco MzC Lt, C. (2025). *SAL TEXTIL INDUSAL FICHA TÉCNICA FORMULA QUÍMICA Fórmula química NaCl INGREDIENTES PRINCIPALES*.

Siddiqua, U. H., Ali, S., Iqbal, M., & Hussain, T. (2017a). Relationship between structure and dyeing properties of reactive dyes for cotton dyeing. *Journal of Molecular Liquids*, *241*, 839–844. https://doi.org/10.1016/J.MOLLIQ.2017.04.057

Siddiqua, U. H., Ali, S., Iqbal, M., & Hussain, T. (2017b). Relationship between structure and dyeing properties of reactive dyes for cotton dyeing. *Journal of Molecular Liquids*, *241*, 839–844. https://doi.org/10.1016/J.MOLLIQ.2017.04.057

Sun, D. S., Fang, L., & Liu, T. (2013). Investigation of Ultrasonic Effects in Cotton Dyeing Processing. *Advanced Materials Research*, *787*, 138–142. https://doi.org/10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMR.787.138

Tissera, N. D., Wijesena, R. N., & De Silva, K. M. N. (2016a). Ultrasound energy to accelerate dye uptake and dye–fiber interaction of reactive dye on knitted cotton fabric at low temperatures. *Ultrasonics Sonochemistry*, *29*, 270–278. https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2015.10.002

Tissera, N. D., Wijesena, R. N., & De Silva, K. M. N. (2016b). Ultrasound energy to accelerate dye uptake and dye–fiber interaction of reactive dye on knitted cotton fabric at low temperatures. *Ultrasonics Sonochemistry*, *29*, 270–278. https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2015.10.002

UTN. (2026). *Lineas de Investigación*. https://investigacion.utn.edu.ec/lineas-de-investigacion/

Vajnhandl, S., & Majcen Le Marechal, A. (2005). Ultrasound in textile dyeing and the decolouration/mineralization of textile dyes. *Dyes and Pigments*, *65*(2), 89–101. https://doi.org/10.1016/J.DYEPIG.2004.06.012

Von, W., & Strasse, S. (2020). *AUSTRIA Vienna Neutal*. www.ntl.at

X-Rite. (2013a). Color i5. *X-RITE*, 26. www.xrite.com

X-Rite. (2013b). Color i5. *X-RITE*, 26.

ANEXOS

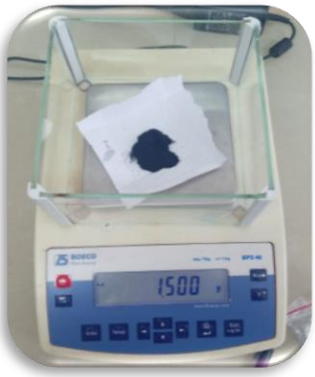
Anexo 1

Pesaje de muestras



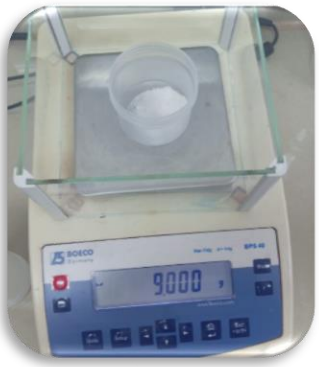
Anexo 2

Pesaje de colorantes y auxiliares









Anexo 3

Tintura vaivén



Anexo 4

Muestras pasadas por el túnel de secado



Anexo 5

Extracto de ficha técnica Indutexma

Indutexma	SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD	CÓDIGO: IN-R-CM-DM-02 VERSIÓN: 2.0
	FICHA TÉCNICA COMERCIAL - CLIENTE	FECHA: 23/03/2019 PÁGINA: 1 de 1

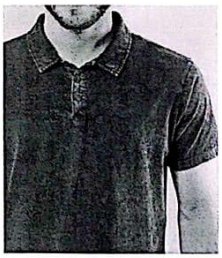
MUESTRA: 883-43 **FECHA ACTUALIZACIÓN:** 11-12-2025

XDYED	JERSEY COLOR APT Ab					ALGODON 100%
ESPECIFICACIONES	**ANCHO**	**PESO**	**RENDIMIENTO**	**ENCOGIMEINTO %**	**REVIRADO %**	**TÉCNICAS:** SERIGRAFÍA
ESTÁNDAR	1,63	163	3,76	A: -2 L:-9	5%	**SEGMENTO:** FEMENINO, MASCULINO E INFANTIL
TOLERANCIA:	máx: 1,65 - mín: 1,61	máx: 171 - mín: 155	máx: 4.01 - mín: 3.54	A: -3 L:-10	7%	**RAPORT:** N/A
HILO:	Co 100% 30/1 PDO			**SOLIDEZ DEL COLOR AL FROTE HÚMEDO:** N/A	**PILLING:** 3	**COMPLEMENTO:** RIBB COLOR APT









APLICACIÓN



Descripción: Jersey Algodón 100%, posee excelente tacto y estabilidad dimensional. El producto es apto para procesos de tintura y acabado con efectos en prenda.

DATOS TÉCNICOS DE CONFECCIÓN:

AGUJA: FFG/SES ; 75/11
PUNTADA POR PULGADA: 10 a 12

DATOS DEL PAÑO:

LARGO MÁX. PAÑO: 3 metros
ENCOGIMIENTO % : ANCHO: -3 ; LARGO: -9
GRAMAJE: + 3%

USOS Y RECOMENDACIONES

- Lavar a máquina, no exceder los 30 °C. Proceso muy moderado.
- Planchar a una temperatura máxima de la base de 110 °C, sin vapor. Planchar con vapor puede causar daño irreversible.
- No usar blanqueador.
- Secado en tendedero a la sombra.
- No limpieza en seco.