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:

"APLICACIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO (TiO_2) EN TEJIDO DE PUNTO JERSEY 100% ALGODÓN, PARA EL DESARROLLO DE PROPIEDADES AUTOLIMPIANTES, MEDIANTE LA EXPOSICIÓN UV"

Autor (a): Gómez Méndez Mirka Maide

DIRECTOR: MSc. Mora Muñoz Elsa Sulay

Ibarra-Ecuador

2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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 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:	Gómez Méndez Mirka Maide

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	APLICACIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO (TiO_2) EN TEJIDO DE PUNTO JERSEY 100% ALGODÓN, PARA EL DESARROLLO DE PROPIEDADES AUTOLIMPIANTES, MEDIANTE LA EXPOSICIÓN UV
AUTOR:	Gómez Méndez Mirka Maide
FECHA:	17 de julio del 2026
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	Pregrado ■ Posgrado ☐
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Textil
DIRECTOR:	MSc. Mora Muñoz Elsa Sulay

2. CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros; por lo tanto, la obra es original y 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 17 días del mes de julio de 2026.

Autor (a).

MIRKA MAIDE GOMEZ MENDEZ

Firmado digitalmente por MIRKA MAIDE GOMEZ MENDEZ
Fecha: 2026.07.17 11:26:51 -05'00'

Firma: .....

Nombre: Gómez Méndez Mirka Maide

C.I. 1004356596

CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 17 de julio de 2026.

MSc. Mora Muñoz Elsa Sulay

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. Mora Muñoz Elsa Sulay

C.C.: 0400900452

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El comité calificador del trabajo de Integración Curricular "**APLICACIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO (TiO_2) EN TEJIDO DE PUNTO JERSEY 100% ALGODÓN, PARA EL DESARROLLO DE PROPIEDADES AUTOLIMPIANTES, MEDIANTE LA EXPOSICIÓN UV",** elaborado por Gómez Méndez Mirka Maide, 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:
ELSA SULAY MORA MUÑOZ

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

MSc. Mora Muñoz Elsa Sulay

C.C.: 0400900452

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

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

MSc. Posso Pasquel José Rafael

C.C.: 1002525788

DEDICATORIA

Este proyecto lo dedico con profundo agradecimiento a mis padres y hermanos, quienes han sido un pilar fundamental en mi vida. Gracias por creer siempre en mí, por su apoyo incondicional, su paciencia y sus palabras de aliento en cada etapa de este camino. Su compañía, comprensión y esfuerzo constante me dieron la fuerza necesaria para seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles. Este logro también es de ustedes, porque sin su amor y respaldo nada de esto habría sido posible.

.

Con mucho cariño, Mirka

AGRADECIMIENTO

Primeramente, expreso mi más sincero agradecimiento a mi familia, quienes, con su amor incondicional, apoyo constante y confianza en mí, me brindaron la fortaleza necesaria para alcanzar esta meta. Su acompañamiento fue fundamental en cada etapa de este proceso. De igual manera, agradezco profundamente a los docentes, por sus valiosas enseñanzas, dedicación y orientación, que contribuyeron de manera significativa a mi formación académica y personal. Finalmente, extiendo mi agradecimiento a todas aquellas personas que creyeron en mí, me motivaron y me alentaron a seguir adelante, incluso en los momentos de mayor dificultad.

Con mucho cariño, Mirka

RESUMEN

La presente investigación evalúa la aplicación de dióxido de titanio (TiO_2) sobre tejidos de punto jersey 100% algodón por el método de agotamiento, con el fin de desarrollar propiedades autolimpiantes activadas por radiación ultravioleta (UV). Se empleó un diseño experimental multifactorial de 2^2 con tres réplicas, utilizando el software Statgraphics Centurion, considerando como factores la concentración de TiO_2 (2 y 4 g/L) y la de ligante (2 y 4 g/L). El proceso permitió la incorporación homogénea del TiO_2 en las fibras, logrando una distribución aproximadamente uniforme.

Para simular condiciones reales de suciedad, se realizó un manchado controlado con jugo de mora y té negro, aplicando 1 mL por muestra. Posteriormente, los tejidos fueron expuestos a radiación UV durante 72 horas, y los cambios colorimétricos se cuantificaron mediante el espectrofotómetro X-rite Color i5, utilizando los parámetros CIELAB (DL* y DEcmc).

Los resultados obtenidos evidenciaron que, para las muestras manchadas con jugo de mora, se alcanzó la mayor decoloración con 2 g/L de TiO_2 y 4 g/L de ligante, con un incremento de DL* de 4,28 a 8,98 y de DEcmc de 2,11 a 4,97 tras la exposición UV. En las muestras manchadas con té negro, la mayor diferencia de color (DEcmc) se observó con 2 g/L de TiO_2 y 4 g/L de ligante, incrementándose de 0,77 a 3,08.

El análisis estadístico mediante ANOVA ($p < 0,05$) mostró que, en las manchas con jugo de mora, ningún factor presentó efectos significativos sobre DL* o DEcmc. En cambio, para las manchas con té negro, la concentración de TiO_2 y su interacción con el ligante resultaron estadísticamente significativas sobre DEcmc, lo que indica una mejora en la estabilidad cromática del tejido tratado.

En conclusión, la aplicación de TiO_2 mediante el método de agotamiento confiere propiedades autolimpiantes al tejido de algodón, especialmente frente a manchas de té negro,

sin afectar significativamente su apariencia, lo que representa una alternativa sostenible para reducir el consumo de agua y detergentes en el mantenimiento textil.

Palabras clave: Agotamiento, CIELAB, Dióxido de Titanio, Ligante, Luz Ultravioleta.

ABSTRACT

This research evaluates the application of titanium dioxide (TiO_2) on 100% cotton jersey knit fabrics using the exhaustion method to develop self-cleaning properties activated by ultraviolet (UV) radiation. A 2^2 full factorial experimental design with three replicates was performed using Statgraphics Centurion software, considering TiO_2 concentration (2 and 4 g/L) and binder concentration (2 and 4 g/L) as factors. The process allowed homogeneous incorporation of TiO_2 into the fibers, achieving an approximately uniform distribution.

To simulate real-world soiling conditions, controlled staining was carried out using blackberry juice and black tea, applying 1 mL per sample. Subsequently, the fabrics were exposed to UV radiation for 72 hours, and colorimetric changes were quantified using an X-rite Color i5 spectrophotometer based on CIELAB parameters (DL* and DEcmc).

The results showed that for blackberry juice stains, the greatest lightening was achieved with 2 g/L TiO_2 and 4 g/L binder, where DL* increased from 4.28 to 8.98 and DEcmc from 2.11 to 4.97 after UV exposure. For black tea stains, the highest color difference (DEcmc) was observed with 2 g/L TiO_2 and 4 g/L binder, increasing from 0.77 to 3.08.

Statistical analysis using ANOVA ($p < 0.05$) revealed that for blackberry juice stains, no factor showed significant effects on DL* or DEcmc. However, for black tea stains, TiO_2 concentration and its interaction with the binder were statistically significant on DEcmc ($p = 0.0109$ and $p = 0.0140$, respectively), demonstrating improved color stability of the treated fabric.

In conclusion, the application of TiO_2 via the exhaustion method confers effective self-cleaning properties to cotton fabric, particularly against black tea stains, without significantly affecting the material's appearance. This represents a sustainable alternative to reduce water and detergent consumption in textile maintenance.

Keywords: Fatigue, CIELAB, Titanium Dioxide, Ligand, Ultraviolet Light.

LISTA DE SIGLAS

TiO_2: Dióxido de Titanio

UV: Ultravioleta

ISO: International Organization for Standardization.

g/L: Gramos por litro

mL: milímetros

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I 1

INTRODUCCIÓN 1

1.1 Problema de investigación 1

1.1.1 Problemática para investigar 1

1.2 Objetivos 2

1.2.1 Objetivo general 2

1.2.2 Objetivos específicos 3

1.3 Formulación del problema de investigación 3

1.4 Justificación 4

1.5 Descripción del tema 6

1.6 Importancia del estudio 6

1.7 Características del sitio del proyecto 7

CAPÍTULO II 9

2.1 Estudios previos 9

2.2 Marco legal 11

2.2.1 Constitución de la República del Ecuador 11

2.2.2 Líneas de investigación de la Universidad Técnica del Norte 12

2.3 Marco conceptual 13

2.3.1 Tejido de punto 13
2.3.2 Dióxido de Titanio 13
2.3.3 Método de agotamiento 14
2.3.4 Luz ultravioleta (UV) 14
2.3.5 Espacio CIELAB 15
CAPÍTULO III 17
METODOLOGÍA 17
3.1 Enfoque de investigación 18
3.2 Tipos de investigación 18
3.2.1 Investigación exploratoria 18
3.2.2 Investigación experimental 18
3.3 Técnicas de investigación 19
3.4 Flujogramas 19
3.4.1 Flujograma general 19
3.4.2 Flujograma muestral 20
3.5 Materiales y equipos 22
3.5.1 Materiales 22
3.5.2 Equipos 24
3.6 Normas de referencia 27
3.7 Procedimiento 27

CAPÍTULO IV 34

RESULTADOS Y DISCUSIÓN 34

4.1 Resultados 34

4.1.1 Resultados de muestras manchadas con jugo de mora y té negro, expuestas a la luz UV 34

4.2 Discusión de los resultados 39

4.2.1 Análisis de varianza DL* muestras con manchas de jugo de mora 39

4.2.2 Análisis de varianza DEcmc muestras con manchas de jugo de mora 43

4.2.3 Análisis de varianza DL* muestras con manchas de té negro 47

4.2.4 Análisis de varianza DEcmc muestras con manchas de té negro 51

CAPITULO V 56

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 56

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Variables de estudio 17

Tabla 2 Caracterización del tejido 22

Tabla 3 Especificaciones de dióxido de titanio 23

Tabla 4 Especificaciones del equipo IR Dyer 24

Tabla 5 Características del Espectrofotómetro 25

Tabla 6 Características del túnel de secado 26

Tabla 7 Receta general para la aplicación del acabado 28

Tabla 8 Variables de respuesta 34

Tabla 9 Mediciones colorimétricas (pre-UV) en muestras manchadas con jugo de mora 35

Tabla 10 Mediciones colorimétricas (post-UV) en muestras manchadas con jugo de mora 36

Tabla 11 Valor óptimo para maximizar DL* y DEcmc con manchas de jugo de mora 37

Tabla 12 Mediciones colorimétricas (pre-UV) en muestras manchadas con té negro 37

Tabla 13 Mediciones colorimétricas (post-UV) en muestras manchadas con té negro 38

Tabla 14 Valor óptimo para maximizar DL* y DEcmc con manchas de té negro 39

Tabla 15 Análisis de varianza para DL* muestras manchadas con jugo de mora 39

Tabla 16 Coeficiente de regresión para DL* 41

Tabla 17 Análisis de varianza para DEcmc muestras manchadas con jugo de mora 43

Tabla 18 Coeficiente de regresión para DEcmc 45

Tabla 19 Análisis de varianza para DL* muestras manchadas con té negro 47

Tabla 20 Coeficiente de regresión para DL* 49

Tabla 21 Análisis de varianza para DEcmc muestras manchadas con té negro 52

Tabla 22 Coeficiente de regresión para DEcmc 53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del laboratorio CTEX 8

Figura 2 Luz Ultravioleta 15

Figura 3 Espacio de color CIELab 16

Figura 4 Flujograma general de la aplicación de TiO_2 20

Figura 5 Proceso detallado de aplicación de TiO_2 21

Figura 6 Horno de vacío 26

Figura 7 Preparación de los vasos 29

Figura 8 Curva de proceso de impregnación por agotamiento 30

Figura 9 Exposición de las muestras a la luz UV 32

Figura 10 Medición en el espectrofotómetro y muestras manchadas 33

Figura 11 Diagrama de Pareto estandarizado para DL* (jugo de mora) 42

Figura 12 Superficie de respuesta estimada (jugo de mora) 42

Figura 13 Diagrama de Pareto estandarizado para DEcmc (jugo de mora) 46

Figura 14 Superficie de respuesta estimada (jugo de mora) 47

Figura 15 Diagrama de Pareto estandarizado para DL* (té negro) 50

Figura 16 Superficie de respuesta estimada (té negro) 51

Figura 17 Diagrama de Pareto estandarizada para DEcmc (té negro) 54

Figura 18 Superficie de respuesta estimada (té negro) 55

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Ficha técnica tejido jersey color APT Ab 100% algodón..... 60

Anexo 2 Ficha técnica del ligante TAMPON..... 61

Anexo 3 Certificado de uso de laboratorio de la Carrera de Textiles 62

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Problema de investigación

1.1.1 Problemática para investigar

En la actualidad, los tejidos de algodón utilizados en prendas de vestir y productos textiles de uso doméstico requieren procesos frecuentes de lavado para eliminar manchas, olores y contaminantes acumulados durante su uso. Esta necesidad de mantenimiento constante genera un elevado consumo de agua, detergentes y energía, contribuyendo significativamente al impacto ambiental de la industria textil. Asimismo, los ciclos repetitivos de lavado provocan el desgaste progresivo de las fibras de algodón, disminuyendo la resistencia y la vida útil de los tejidos (Nevárez et al., 2017).

Si bien el algodón destaca por su comodidad, transpirabilidad y capacidad de absorción, estas mismas características favorecen la retención de suciedad y sustancias contaminantes, incrementando la necesidad de limpieza continua. Frente a esta problemática, la industria textil ha desarrollado diferentes acabados funcionales enfocados principalmente en la repelencia al agua o a ciertos agentes externos; sin embargo, muchos de estos tratamientos no ofrecen una capacidad efectiva de autolimpieza ni garantizan una solución sostenible a largo plazo (Echeverri, 2019).

Además, el dióxido de titanio (TiO_2) ha despertado interés debido a sus propiedades fotocatalíticas, ya que, al exponerse a radiación ultravioleta (UV), puede generar reacciones capaces de degradar compuestos orgánicos y microorganismos presentes en la superficie de los tejidos. No obstante, aún existe limitada información sobre la efectividad de este material aplicado específicamente en tejidos de punto jersey 100 % algodón, así como sobre el

comportamiento de las propiedades fotocatalíticas frente a manchas comunes y condiciones de uso textil.

Por ello, surge la necesidad de investigar si la aplicación de TiO_2 en tejido jersey 100 % algodón puede desarrollar superficies con capacidad de autolimpieza mediante exposición a la luz UV, permitiendo reducir la frecuencia de lavado y, consecuentemente, el consumo de recursos asociados al mantenimiento textil. De esta manera, la investigación busca aportar conocimiento científico y tecnológico orientado al desarrollo de textiles funcionales, sostenibles e innovadores que respondan a las demandas actuales de la industria y del cuidado ambiental (Nevárez et al., 2017).

Este estudio tiene como objetivo no solo validar la funcionalidad del TiO_2 como recubrimiento autolimpiante, sino también contribuir al desarrollo de textiles sostenibles e innovadores. Al reducir los ciclos de lavado y el consumo de recursos, esta investigación busca ofrecer soluciones prácticas para minimizar el impacto ambiental de la industria textil, al tiempo que mejora la durabilidad y funcionalidad de los productos. Los resultados obtenidos servirán como base para futuras investigaciones en acabados funcionales, fortaleciendo el conocimiento científico y técnico en el campo textil.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Aplicar Dióxido de Titanio (TiO_2) en tejido de punto jersey 100% algodón para el desarrollo de propiedades autolimpiantes, mediante la exposición UV.

1.2.2 Objetivos específicos

- Aplicar el Dióxido de Titanio por el método de agotamiento en diferentes concentraciones.
- Exponer el tejido a un proceso de manchado controlado mediante agentes naturales como el jugo de fruta y té.
- Someter el tejido manchado a la luz UV y evaluar el cambio de color mediante el espectrofotómetro X-rite Color i5.
- Analizar y comparar los resultados obtenidos mediante técnicas estadísticas.

1.3 Formulación del problema de investigación

Para esta investigación se optó por un enfoque exploratorio, debido a que no existen estudios previos en la aplicación de TiO_2 en tejidos de punto jersey 100% algodón. También en esta investigación se implementa una metodología experimental para evaluar la aplicación de dióxido de titanio en tejidos de punto jersey 100% algodón, enfocándose en el desarrollo de propiedades autolimpiantes mediante la fotocatálisis bajo luz UV. Se investiga cuál de las dos concentraciones es más efectiva, el método de aplicación, midiendo la eficiencia del tratamiento en la degradación de manchas comunes como el jugo de fruta y el té.

Se realiza la adquisición de un tejido de punto jersey 100% algodón para pruebas experimentales, asegurando que el tejido esté sin ningún tratamiento que pueda interferir en la aplicación del acabado con dióxido de titanio. La tela se corta en piezas iguales, dependiendo de las dimensiones necesarias para la aplicación del acabado (Aguilar, 2018).

Se prepara una solución acuosa que contenga dióxido de titanio en diferentes concentraciones y un ligante adecuado para mejorar la adherencia uniforme en el tejido. Se realiza por el método de agotamiento. Extraídas las muestras, se someten a un proceso de secado en el túnel de secado de la carrera de textiles, a una temperatura controlada de 105 °C, para evitar la migración de los componentes.

Las muestras tratadas se someten a manchas controladas con jugo de fruta y té; posteriormente, se dejan secar al aire. Se exponen las muestras a una fuente de luz UV durante un periodo de 6 a 24 horas para activar el efecto fotocatalítico del TiO_2. Este proyecto se limita a utilizar agentes naturales como el jugo de fruta y el té.

Una vez secas las muestras manchadas, se realiza la medición de color tanto de las muestras con tratamiento como de las muestras sin tratamiento, utilizando el espectrofotómetro y registrando los valores de color en el espacio CIELAB como referencia. Se analizan los valores obtenidos tanto de las muestras manchadas como de las muestras sin manchar.

1.4 Justificación

El presente trabajo de investigación se enfoca en la aplicación de dióxido de titanio (TiO_2) en tejidos de punto jersey 100 % algodón, aprovechando sus propiedades fotocatalíticas para degradar compuestos orgánicos mediante exposición a radiación UV. El desarrollo de textiles con capacidad de autolimpieza constituye una alternativa innovadora dentro de los acabados funcionales, debido a que permite mejorar el desempeño y mantenimiento de las prendas sin recurrir constantemente a procesos convencionales de lavado

La elección del tejido de algodón se fundamenta en su amplio uso dentro de la industria textil, debido a sus características de comodidad, absorción y transpirabilidad. No obstante, estas mismas propiedades favorecen la acumulación de manchas y contaminantes, generando una alta necesidad de limpieza y un desgaste progresivo de las fibras textiles. Ante esta problemática, la incorporación de recubrimientos funcionales basados en TiO_2 representa una posible solución para mejorar la resistencia del tejido frente a agentes externos y optimizar su funcionalidad (Aguilar, 2018).

Desde el punto de vista ambiental, los textiles con propiedades autolimpiantes puede reducir el consumo de agua, detergentes y energía asociados al lavado frecuente, disminuyendo así el impacto ambiental generado por el mantenimiento de las prendas. Además, la aplicación de TiO_2 como fotocatalizador permite la degradación de compuestos orgánicos presentes en la superficie del tejido, favoreciendo la eliminación de manchas y contaminantes de manera más eficiente.

La investigación también posee relevancia técnica y científica, ya que permite evaluar objetivamente la efectividad del tratamiento mediante análisis espectrofotométricos en el espacio de color CIELAB, comparando los cambios cromáticos antes y después de la exposición a la luz UV. Este procedimiento proporciona resultados cuantificables sobre el desempeño del acabado aplicado (Cristóbal, 2015).

Los resultados de este estudio contribuirán al desarrollo de textiles avanzados con propiedades innovadoras, promoviendo soluciones sostenibles para la industria textil. Este enfoque puede ser aplicado en futuras investigaciones relacionadas con acabados funcionales, mejorando la competitividad y la innovación en el sector (Shahidi et al., 2013).

Finalmente, los resultados obtenidos contribuyen al fortalecimiento del conocimiento en el área de textiles funcionales y sostenibles, promoviendo el desarrollo de materiales innovadores con mayor valor agregado para la industria textil. Asimismo, esta investigación podrá servir como base para futuros estudios relacionados con acabados avanzados y aplicaciones fotocatalíticas en diferentes tipos de tejidos (Aguilar, 2018).

1.5 Descripción del tema

Este trabajo se enfoca en la investigación del dióxido de titanio, al ser un material reconocido por sus propiedades fotocatalíticas, en tejidos de punto de algodón tipo jersey. El objetivo es aprovechar la actividad, bajo la exposición a la luz ultravioleta (UV), para conferir propiedades autolimpiantes al tejido, iniciando la degradación de contaminantes orgánicos.

Este proyecto incluye la aplicación por el método de agotamiento, para lograr una adherencia en las fibras textiles sin comprometer las características físicas del tejido. Además, se evalúa la eficacia de las propiedades autolimpiantes a través de ensayos de degradación de las manchas. Este estudio busca aportar al desarrollo de textiles funcionales sostenibles, reduciendo el consumo de agua y detergentes al facilitar el mantenimiento de los tejidos.

1.6 Importancia del estudio

La importancia de este estudio consiste en analizar la aplicación de TiO_2 en tejidos jersey 100 % algodón para desarrollar propiedades autolimpiantes mediante luz UV, aportando beneficios ambientales, económicos y funcionales. Esta tecnología favorece la reducción del uso de agua y detergentes, impulsa la sostenibilidad y promueve la

innovación en la industria textil mediante el desarrollo de materiales funcionales y de mayor valor agregado.

El TiO_2 es un material fotocatalítico que, al exponerse a la radiación UV, genera especies reactivas de oxígeno capaces de descomponer compuestos orgánicos y microorganismos presentes en la superficie del tejido. Esta característica resulta fundamental para la obtención de textiles con propiedades de limpieza activa, lo que puede beneficiar sectores como el hospitalario, la moda y los textiles técnicos (Ahmad & Kan, 2017).

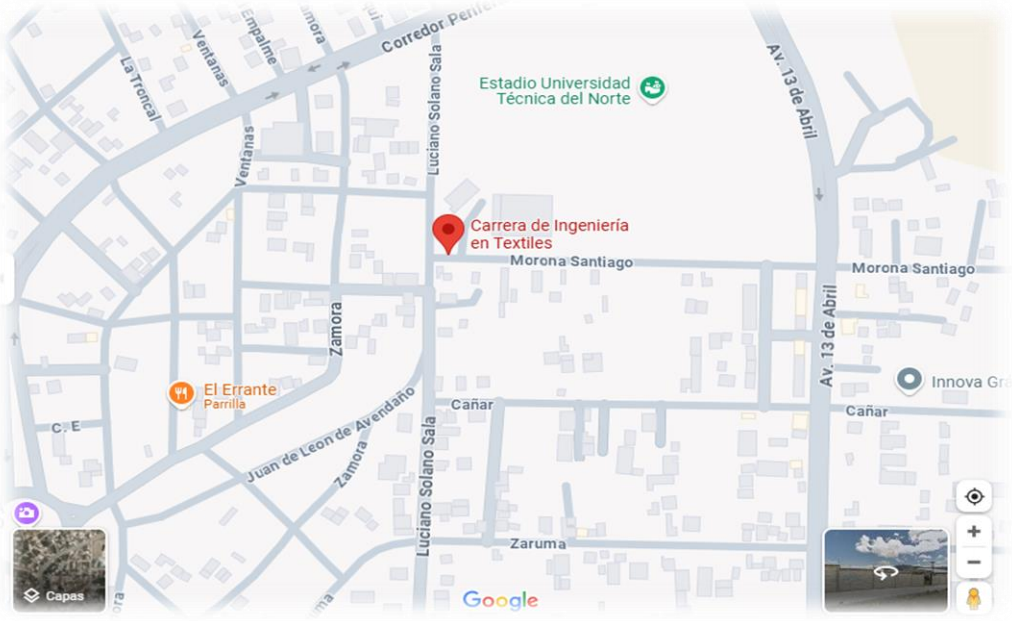
La incorporación de estas tecnologías en tejidos de algodón no solo mejora su funcionalidad, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental, debido a la disminución en el consumo de agua y productos químicos durante el mantenimiento de las prendas, reduciendo así la huella ambiental a lo largo de su ciclo de vida (Ahmad & Kan, 2017).

1.7 Características del sitio del proyecto

El proyecto de investigación se realizará en la Carrera de Textiles, donde se encuentran los laboratorios equipados con equipos normalizados ubicados en las coordenadas 0.3782531210228751, -78.12389737777924.

Figura 1

Ubicación del laboratorio CTEX



Fuente: (Maps, 2023).

En la **Figura 1** se muestra la ubicación del laboratorio de CTEX, que se encuentra en la ciudad de Ibarra, donde se realizarán las pruebas de laboratorio que cuentan con los equipos necesarios para realizar la aplicación de dióxido de titanio.

CAPÍTULO II

2.1 Estudios previos

Según Jaguaco (2018), el TiO_2 es un compuesto ampliamente conocido por su capacidad de inducir reacciones fotocatalíticas bajo la exposición a la luz UV, lo que permite la descomposición de contaminantes orgánicos en la superficie del tejido textil. Este estudio analiza su aplicación, cómo modifica y mejora las características funcionales del algodón.

Los resultados indican que el tratamiento con TiO_2 confiere al tejido propiedades fotocatalíticas que permiten la limpieza mediante la descomposición de compuestos orgánicos bajo la exposición a la luz UV, también se observa una mejora en las propiedades antibacterianas, ya que contribuye a la eliminación de microorganismos, reduciendo la proliferación de bacterias. Por lo cual, indica que bloquea la radiación UV, proporcionando protección y previene la degradación del tejido (Aguilar, 2018).

Los resultados muestran que el TiO_2 reduce los lavados frecuentes por lo tanto el uso de agua y detergentes, además mejora la resistencia a los microorganismos, identifica que es un acabado temporal (Bustamante, 2014). En este estudio de la influencia del fotocatalizador dióxido de titanio en las propiedades autolimpiantes y mecánicas del mortero de cemento, lo realizó añadiendo en diferentes concentraciones, como resultado obtuvo que su incorporación, sobre dichos tratamientos disminuyó el porcentaje de absorción (Medina, 2017).

Para la investigación sobre la degradación de aguas residuales de la industria textil por medio de fotocatálisis, hizo los ensayos en colector solar cilindro parabólico compuesto y como resultado obtuvo que las mejores concentraciones de dióxido de titanio en 100 mg/L y 2% de H_2O_2 (Garcés Giraldo et al., 2005).

Este estudio demuestra que la fotocatálisis heterogénea es un método válido y eficaz para tratar efluentes líquidos que contienen mezclas del pesticida Mertect, ampliamente utilizado en la producción bananera para controlar enfermedades en la corona, el cuello y los dedos del banano y del plátano. Este proceso no solo mejora la calidad de vida de las comunidades, sino que también fortalece la competitividad del sector bananero, fomenta el desarrollo tecnológico y amplía la oferta de soluciones innovadoras para el tratamiento de aguas residuales y residuos tóxicos en el país (Arroyave et al., 2007).

Esta investigación experimental tuvo como objetivo evaluar la efectividad de la luz ultravioleta solar en el tratamiento de efluentes textiles. Los resultados de las pruebas de laboratorio confirmaron que la radiación UV solar puede utilizarse para degradar los colorantes presentes en estos efluentes. Se observó que la adición de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) mejora significativamente la pérdida de color (Tinoco et al., 2014).

Además, se determinó que menores concentraciones de dióxido de titanio (TiO_2) incrementan la eficiencia del proceso de degradación del color, posiblemente debido a una reducción en la formación de radicales hidroxilos que optimiza la interacción del sistema. El tiempo óptimo para la degradación del color fue de 2 horas, alcanzándose con una concentración de TiO_2 de 50 ppm (Tinoco et al., 2014).

Este estudio aborda el tratamiento de efluentes de tintura de algodón con colorantes reactivos mediante fotocatálisis solar heterogénea con dióxido de titanio y el proceso foto-Fenton. Se analizaron colorantes con cromóforos azo, antraquinona y ftalocianina, evaluando su degradación en reactores solares y plantas piloto. La fotocatálisis con TiO_2 resultó efectiva para decolorar colorantes azo y antraquinona, permitiendo la reutilización de los efluentes tratados. En el caso de los colorantes ftalocianina, el proceso foto-Fenton

presentó mayor eficiencia. Además, los efluentes tratados permitieron obtener tinturas reproducibles, con buenos resultados en calidad y ahorro de agua (Pey Clemente, 2008).

La creciente resistencia de microorganismos ha impulsado la búsqueda de materiales antibacterianos efectivos en diversas industrias. Las nanopartículas de dióxido de titanio (TiO_2) han ganado atención en aplicaciones biomédicas debido a su capacidad antibacteriana mediante fotoactivación, aunque su actividad fotocatalítica se limita a la región UV ($\lambda > 387$ nm). La investigación se centra en extender esta actividad a la luz visible para ampliar su uso. Este estudio revisa el uso de nanopartículas como materiales antibacterianos, destacando el mecanismo de acción del TiO_2 y posibles mejoras para su eficacia bajo luz visible (Betancur et al., 2016).

2.2 Marco legal

Esta parte establece cuáles son las bases normativas en las que se fundamentará la investigación y su desarrollo, también este proyecto revisa la Constitución de la República del Ecuador, así como las líneas de investigación de la Universidad Técnica del Norte y cuenta con relevancia en el campo de estudio.

2.2.1 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 fiscomisional, artesanal y comunitaria, siempre que cumplan con los principios de gratuidad, obligatoriedad e igualdad de oportunidades, rindan cuentas de sus resultados educativos y del manejo de los recursos públicos, y estén debidamente calificadas, de acuerdo con la ley. Las instituciones educativas que reciban financiamiento público no tendrán fines de lucro.

La falta de transferencia de recursos en las condiciones señaladas será sancionada con la destitución de la autoridad y de las servidoras y servidores públicos remisos de su obligación.

2.2.2 Líneas de investigación de la Universidad Técnica del Norte

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

Para esta investigación se utilizó la línea uno.

- Producción industrial y tecnología sostenible

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Tejido de punto

Se refiere a la disposición en la que la orientación principal de los hilos que conforman las mallas es horizontal, con al menos un hilo que se entrelaza consigo mismo, formando líneas horizontales en el tejido. Para analizar correctamente un tejido de punto, debe colocarse de manera que el vértice de la "V" de sus mallas quede orientado hacia abajo (Baltanás et al., n.d.).

2.3.2 Dióxido de Titanio

El TiO_2 es un compuesto químico y también un metal no combustible; se obtiene en su mayoría en forma impura de minas o arena, siendo el rutilo su forma más común. Los métodos utilizados para extraer este material son la clorofícación de rutilio y el método que utiliza ácido sulfúrico e ilmenita, llamado método de Kroll (Gutiérrez & Lizárraga, 2016).

Según Mora & Puente (2021) "Los textiles inteligentes se definen como textiles que pueden detectar y reaccionar a condiciones medioambientales o a estímulos mecánicos, térmicos, químicos, fuentes eléctricas o magnéticas" (p. 6). Este concepto es fundamental para el proyecto de investigación, ya que el tejido a utilizarse será aplicado con TiO_2; se considera parte de esta categoría al ser un producto que responde a un estímulo que es la exposición a la luz UV para la activación de su propiedad autolimpiante mediante un proceso fotocatalítico.

2.3.3 Método de agotamiento

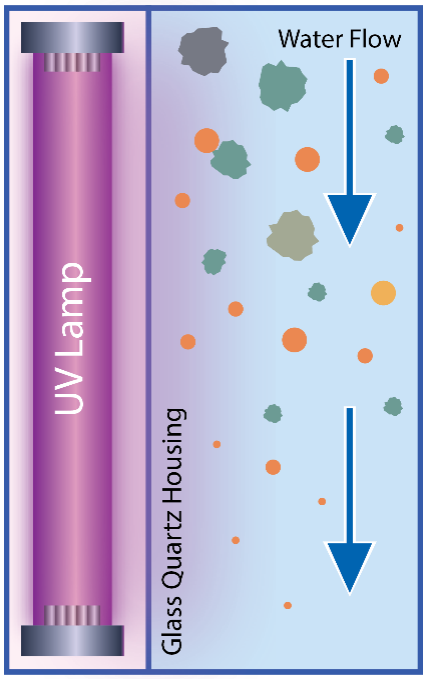
El tratamiento de hilados o tejidos mediante baños de agotamiento es especialmente recomendado cuando se aplican productos químicos estables al sustrato textil. Esta técnica es común en la industria textil, especialmente para tejidos de calcetería y géneros de punto tubulares, donde se busca una distribución uniforme de los productos de acabado (Lockuán, 2012).

2.3.4 Luz ultravioleta (UV)

La luz ultravioleta (UV) es una forma de radiación electromagnética con longitudes de onda entre 100 y 400 nanómetros (nm). La energía producida por la luz UV aumenta a medida que disminuye la longitud de onda. La luz UV **Figura 2** se produce cuando la corriente fluye a través del vapor de mercurio entre los electrodos de la lámpara, causando colisiones entre electrones y átomos de mercurio que emiten radiación UV (Terrán, 2002).

Figura 2

Luz ultravioleta



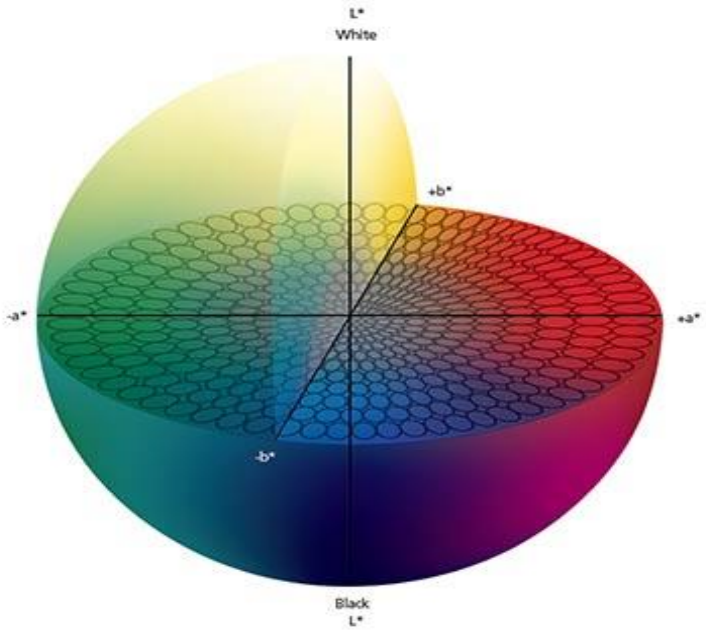
Fuente: (Elga LabWater, 2025).

2.3.5 Espacio CIELAB

El espacio de color L*a*b*, conocido también como CIELAB **Figura 3**, es utilizado actualmente como uno de los espacios de color más populares, ya que es usado para realizar la evaluación del color de cualquier objeto, también para correlacionar los valores numéricos de color consistentemente con la percepción visual humana (ISO/CIE, 2019).

Figura 3

Espacio de color CIELab



Nota: la figura muestra espacios de color CIELab, también conocidos como L (luminosidad), A (variación entre rojo y verde), B (variación entre amarillo y azul) o Lab, utilizados para medir y comparar diferencias de color de manera precisa, siendo empleados en la industria textil para evaluar cambios de color y procesos de decoloración. Fuente: (X-Rite, 2018).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

La metodología de este trabajo se diseñó para analizar el efecto de diferentes condiciones de acabado con (TiO_2) sobre las propiedades colorimétricas del tejido. Debido a que las nanopartículas, los ligantes y los extractos naturales pueden modificar la apariencia del material, se empleó un procedimiento experimental controlado.

- **Diseño experimental**

  Se empleó un diseño factorial aleatorizado 2^2 en el software *Statgraphics Centurion* para evaluar el efecto del ligante y de los extractos naturales de mora y té negro sobre el comportamiento colorimétrico del tejido tratado con TiO_2. Este diseño generó cuatro combinaciones de tratamiento (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), cada una con tres réplicas, obteniéndose un total de 12 muestras experimentales. La concentración del dióxido de titanio se mantiene constante en todas las formulaciones a fin de aislar el efecto real de los factores experimentales (Lozada y Urrutia, 2008).

Tabla 1
Variables de estudio

Respuestas	**Unidades**
Claridad (L)	Claridad
a*	eje verde–rojo
b*	eje azul–amarillo
E*	Diferencia de color

Nota: En la **Tabla 1** se presentan las variables de respuesta que se obtienen durante la evaluación colorimétrica del tejido tratado, estas se expresan en el espacio del color CIELAB. Fuente: (Cristóbal, 2015)

3.1 Enfoque de investigación

En esta sección se describen los tipos de investigación, las normas para la elaboración de probetas, los equipos y materiales utilizados, así como el procedimiento para obtener los datos y resultados de las pruebas realizadas.

3.2 Tipos de investigación

3.2.1 Investigación exploratoria

La investigación exploratoria tiene como finalidad principal ofrecer una comprensión general de un tema que, por lo general, es poco conocido o ha sido poco estudiado. Este tipo de investigación se enfocó en explorar nuevas áreas de conocimiento, establecer un marco de referencia y sentar las bases para estudios futuros más detallados. Entre sus propósitos se encuentra la formulación del problema de investigación, ya que permite identificar y delimitar el objeto de estudio de manera más precisa (Morales, 2015). A través de este proceso, se recopilan datos y conceptos cruciales que facilitan la generación de preguntas necesarias para guiar el desarrollo de la investigación.

3.2.2 Investigación experimental

Este proyecto se enfoca en comprobar de una manera objetiva las variables involucradas. Según Grajales (2000), la investigación experimental toma como criterio al investigador, ya que no solo identifica las características a estudiar, ya que también las

manipula o controla para observar los efectos de estas modificaciones, minimizando la influencia de otros factores externos (p. 1).

3.3 Técnicas de investigación

Las técnicas de investigación cuantitativa forman un conjunto de procedimientos sistemáticos que permiten recolectar datos, analizarlos y procesar información numérica, teniendo con el propósito de comprobar hipótesis y, a su vez, validar relaciones entre variables. También se caracteriza por su rigurosidad metodológica y a su vez por el uso de instrumentos estandarizados. Las técnicas de investigación ofrecen una base estadística sólida que contribuye a garantizar la validez, objetividad y confiabilidad de los resultados obtenidos en la investigación (Rodríguez, 2007).

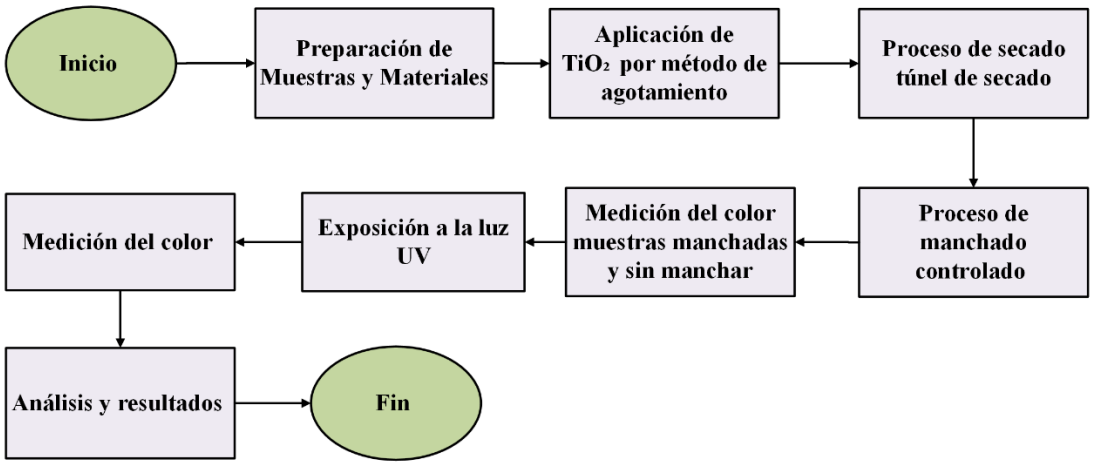
3.4 Flujogramas

3.4.1 Flujograma general

En la **Figura 4** se presenta de manera general el flujo metodológico empleado, el cual comprende la planificación, la ejecución de ensayos y el procesamiento de los resultados obtenidos.

Figura 4

Flujograma general



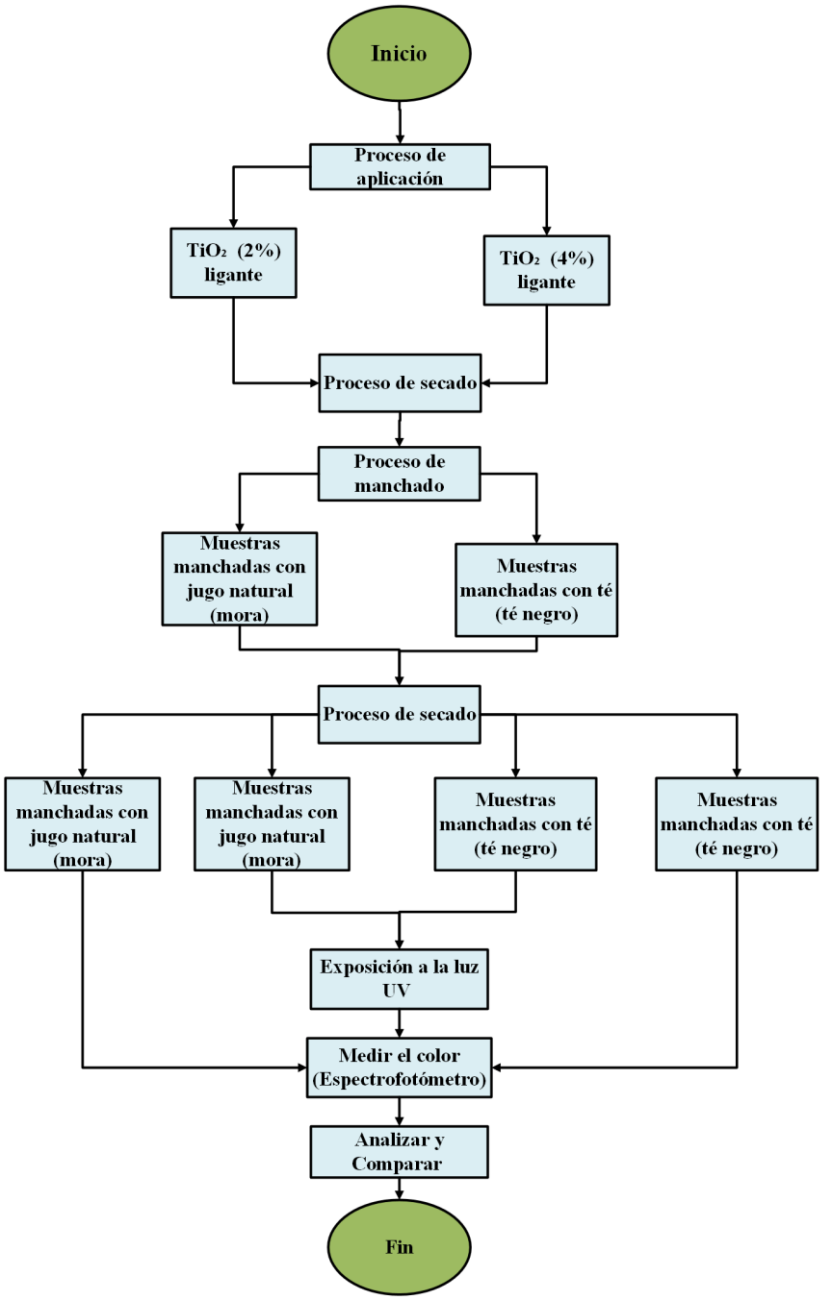
Fuente: Propia

3.4.2 Flujograma muestral

En la **Figura 5 s**e presenta el flujograma muestral, el cual detalla de forma esquemática las etapas secuenciales del proceso de aplicación del TiO_2 sobre el tejido de algodón jersey 100%, así como los equipos utilizados en cada fase del procedimiento experimental.

Figura 5

Proceso detallado de aplicación de TiO_2



Fuente: Propia

3.5 Materiales y equipos

En esta sección se describen las características del tejido, así como los materiales, reactivos y equipos de laboratorio necesarios para la ejecución de los tratamientos y la realización de las pruebas experimentales.

3.5.1 Materiales

- **Muestras de tejido jersey algodón 100%**

Este tipo de tejido presenta una estructura suave, posee un excelente tacto y estabilidad dimensional. Como se muestra en la **Tabla 2**, el producto es apto para procesos de tintura y acabados textiles (ver **Anexo *1***).

Tabla 2
Caracterización del tejido

CARACTERÍSTICAS	
Composición	100% algodón
Tipo de tejido	Punto simple (Jersey)
Color	Blanco (APT Ab)
Peso	163 g/m^2
Usos típicos	Camisetas, ropa interior, prendas casuales.

Fuente: (Indutexma, 2025)

- **Dióxido de titanio**

El TiO_2 es un compuesto inorgánico sólido, blanco, químicamente inerte, térmicamente estable, no inflamable y clasificado como no peligroso por la ONU. Se

encuentra de forma natural en rocas y arenas minerales y ha sido utilizado durante más de 90 años en diversos productos industriales y de consumo. La **Tabla 3** muestra las características del producto (Titanium Dioxide Manufactures Association [TDMA], 2018).

Tabla 3
Especificaciones de dióxido de titanio

CARACTERÍSTICAS	
Fórmula molecular	TiO_2
Apariencia	Polvo
Color	Blanco
Olor	Inoloro
Pérdida por secado	0.5 Max
Pérdida por ignición	0.5 Max
Materia soluble en agua	0.25 Max

Fuente: (SESAN SAS, 2017)

- **Ligante**

  Para el desarrollo de este proyecto se utilizó el ligante tampón (**Anexo *2***), ya que es un polímero acuoso aniónico empleado como agente fijador. Este producto fue elegido debido a su compatibilidad con tejidos de algodón, la dosis sugerida para su uso en textiles es de 2 a 5 g/L, dependiendo de la concentración de TiO_2 en cada prueba requerida (Seyquiin, 2024).

3.5.2 Equipos

- **Equipo IR DYER**

Para realizar las pruebas de laboratorio se utilizó el equipo IR Dyer de la Carrera de Textiles de la Universidad Técnica del Norte (ver **Tabla 4**). El calentamiento se llevó a cabo mediante rayos infrarrojos y permite procesar simultáneamente 24 vasos de acero inoxidable. Trabaja dentro de un rango de 20 °C a 140 °C; una vez alcanzada la temperatura deseada, el equipo la mantiene durante el tiempo establecido (Chiu, 2024). Especificaciones del equipo:

Tabla 4
Especificaciones del equipo IR Dyer

CARACTERÍSTICAS	
Capacidad	24 porta-muestras
Tipo de calentamiento	Radiación infrarroja (IR)
Aplicaciones principales	Tintura a escala de laboratorio y fijación
Capacidad del vaso	150 – 300 mL
Precisión del control de térmico	± 1 °C
Temperatura	20-140 °C
Voltaje	220

Fuente: Propia

- **Espectrofotómetro X-rite Color i5**

Para realizar las pruebas de laboratorio se ocupó el espectrofotómetro de la Carrera de Textiles. Este equipo permite evaluar cuantitativamente el color, comparar

tonos de colores, así como analizar la degradación del color por factores ambientales. (García, 2018). En la **Tabla 5** se muestran las características técnicas del espectrofotómetro.

Tabla 5

Características del Espectrofotómetro

CARACTERÍSTICAS		
Descripción	Cantidad	Imagen
Repetitividad RMS ΔE*	0,01	
Resolución fotométrica	0,001% reflectancia	
Rango espectral	De 360nm a 750 nm	
Intervalo de longitud de onda	10 nm	
Rangos de apertura	6 mm, 10 mm, 25 mm	

Fuente: Propia

- **Túnel de secado**

El túnel de secado es un equipo utilizado para el proceso de secado de materiales textiles después de procesos como tintura, impregnación o aplicación de acabados. Su funcionamiento consiste en transportar las muestras a través de una cámara de aire caliente mediante una banda continua, permitiendo controlar variables como la temperatura y la velocidad de avance.

Tabla 6

Características del túnel de secado

CARACTERÍSTICAS		
Alimentación eléctrica	220 V	
Longitud de banda	2,50 m	
Temperatura máxima	300 °C	
Tipo de secado	Aire caliente con circulación continua	

Fuente: Propia

- **Horno de vacío (Vaccuum Drying Oven)**

E horno de vacío (**Figura 6**) es un equipo utilizado para el secado o termofijado de las muestras bajo condiciones de presión reducida y temperatura controlada, y su funcionamiento se basa en la disminución de la presión dentro de una cámara hermética, lo que permite la evaporación de la humedad y de compuestos volátiles.

Figura 6

Horno de vacío



Fuente: Propia

3.6 Normas de referencia

- **La medición del color en el espacio CIELAB D65/10**

El espacio de color CIELAB (CIE 1976 L*a*b*) es un sistema colorimétrico desarrollado por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) para representar de forma numérica la percepción visual del color. Este modelo se basa en tres coordenadas: L*, que expresa la luminosidad; a*, que representa la variación entre verde y rojo; b*, que indica la variación entre azul y amarillo. El uso del iluminante estándar D65 y del observador estándar 10° permite obtener mediciones objetivas y reproducibles, facilitando la comparación de las diferencias de color entre muestras textiles y la evaluación de los cambios cromáticos producidos por distintos tratamientos (ISO/CIE, 2019).

3.7 Procedimiento

- **Preparación y corte de probetas**

Las muestras de tejido jersey 100% algodón se lavaron y enjuagaron para eliminar impurezas, asegurar una adecuada uniformidad y garantizar la correcta fijación del acabado. Posteriormente, se cortaron las probetas según las dimensiones requeridas de 15 cm por 15 cm.

- **Preparación de las formulaciones**

Se trabajó con una relación de baño de 1:20 y un pH entre 5,5 y 6,5, y se formularon las siguientes recetas: Para cada tratamiento se prepararon soluciones con:

- Concentración de TiO_2 (2 o 4 g/L)
- Concentración de ligante según el nivel asignado (2 o 4 g/L).
- Extracto natural correspondiente (mora o té).

Las formulaciones se homogeneizaron para asegurar una dispersión estable antes de su aplicación, con el fin de garantizar una reproducibilidad del proceso.

- **Aplicación del acabado por agotamiento**

En la **Tabla** *7* se muestran las diferentes concentraciones empleadas para la realización del acabado que se aplicó mediante el proceso de agotamiento:

Tabla 7

Receta general para la aplicación del acabado

Ítem	**Producto**	**Dosificación**	**Peso**
		RECETA 1	
1	TiO_2	2 g/L	0,36 g
2	Ligante	2 g/L	0,36 g
		RECETA 2	
3	TiO_2	2 g/L	0,36 g
4	Ligante	4 g/L	0,72 g
		RECETA 3	
5	TiO_2	4 g/L	0,72 g
6	Ligante	2 g/L	0,36 g
		RECETA 4	
7	TiO_2	4 g/L	0,72 g
8	Ligante	4 g/L	0,72 g

Fuente: Propia

- **Proceso de agotamiento en el equipo IR Dyer**

a) Los vasos del equipo fueron previamente lavados y secados, cada vaso se cargó con una relación de baño de 1:20, empleando 9 g de muestra y 180 mL de baño por tratamiento (**Figura 7**).

Figura 7

Preparación de las soluciones de TiO_2



b) Los vasos se colocaron en el carrusel del IR Dyer y se aseguraron correctamente para evitar derrames.

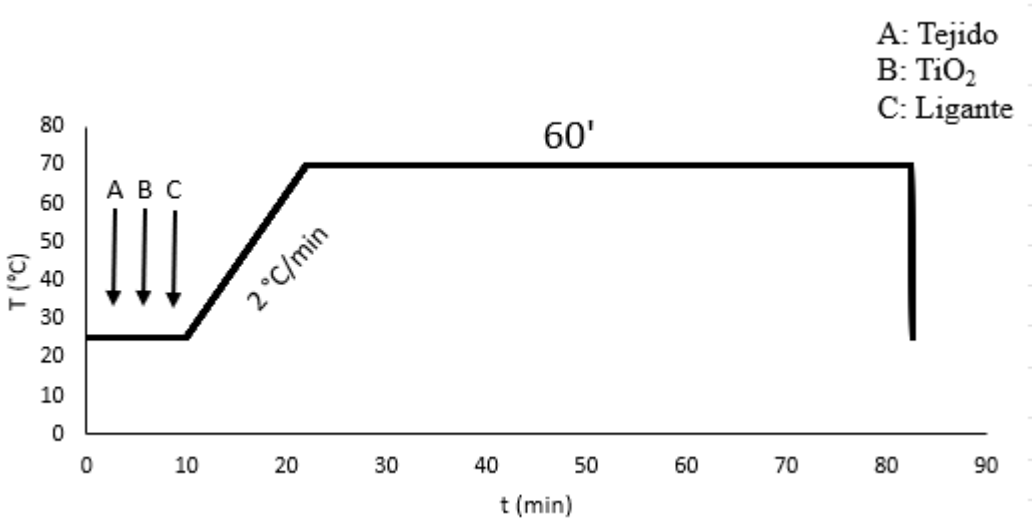
c) El proceso se programó según la curva (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)** bajo las siguientes condiciones

- Inicio en frío 25 °C
- Calentamiento progresivo hasta 70 °C a 2 °C/min
- Mantenimiento a 70 °C durante 60 minutos

- Enfriamiento automático hasta 30 °C
- Escurrir las muestras de manera manual

Figura 8

Curva de proceso por agotamiento



- **Secado**

Las muestras se colocaron en el túnel de secado a 90 °C durante 10 minutos, para permitir la evaporación del agua.

- **Curado**

Las muestras se colocaron en el horno de vacío (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) a una temperatura de 120 °C durante 3 minutos.

- **Aplicación del manchado de las muestras**

Cada muestra tratada fue colocada sobre una superficie plana y limpia, el manchado se realizó utilizando una pipeta para asegurar la uniformidad del volumen aplicado y la repetibilidad del ensayo.

Para la preparación de las manchas, se aplicaron 1 mL de jugo de mora y 1 mL de té negro sobre el área central de las muestras. Después de la aplicación, se dejaron en reposo para permitir que los agentes manchantes penetraran en las fibras del tejido. Durante este tiempo, la mancha se extendió de forma natural hasta alcanzar un diámetro aproximado de 8 cm. Posteriormente, las muestras se dejaron secar a temperatura ambiente hasta eliminar completamente la humedad.

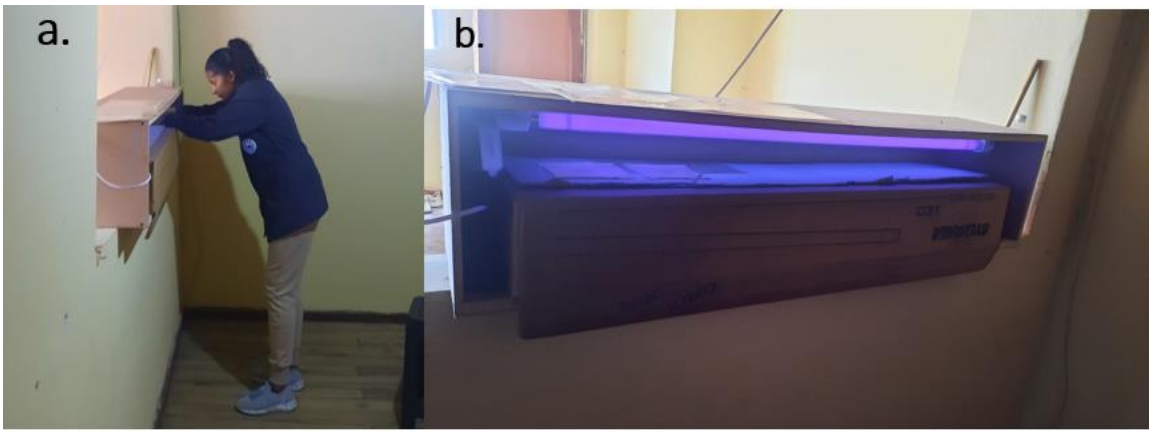
- **Exposición a la luz UV**

Las muestras manchadas se dividieron en dos grupos:

- **Grupo A:** (control, sin UV): estas muestras se mantuvieron en un espacio oscuro, protegidas de radiación UV y de la luz solar, para evitar reacciones fotodegradativas.
- **Grupo B** (con UV): Las muestras correspondientes a este grupo se colocaron dentro de una caja con una lámpara de luz UV (ver **Figura 9**), donde permanecieron expuestas durante 72 horas. Las muestras fueron distribuidas de manera uniforme dentro de la caja para asegurar una exposición constante. Finalizando el tiempo de exposición, fueron retiradas para continuar con las evaluaciones correspondientes.

Figura 9

Exposición de las muestras a la luz UV

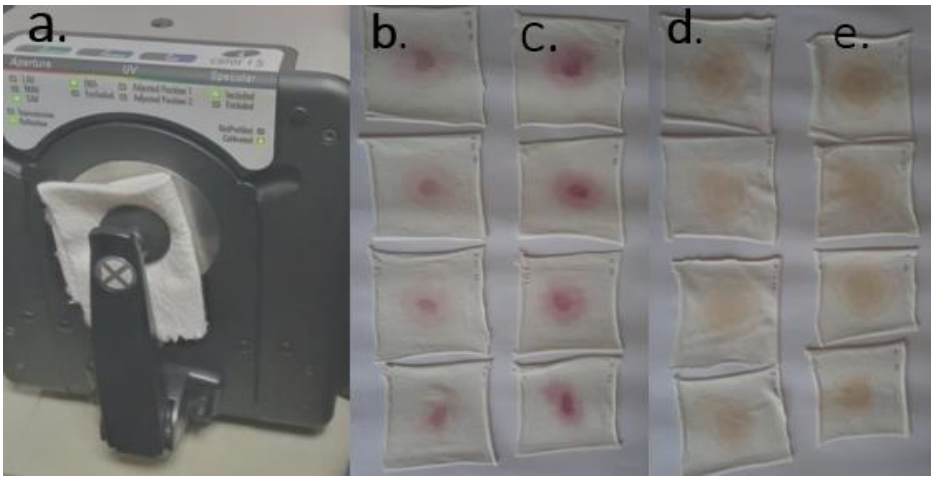


- **Medición del color mediante espectrofotómetro**

El análisis colorimétrico se realizó con el espectrofotómetro X-rite Color i5 (ver **Figura 10**), previamente calibrado utilizando un blanco estándar. Con el fin de garantizar la confiabilidad de las mediciones. La medición del color se efectuó en el espacio de color CIELAB, empleando el iluminante estándar D65, un observador de 10° (D65/10°) y una apertura de medición de 10 mm de diámetro (a). En cada muestra se registraron los parámetros L*, a*, b* y DEcmc; las mediciones se realizaron primero para las muestras del Grupo A (control, sin UV, c y e) y después para las del Grupo B (expuestas a luz UV, b y d), registrando los valores obtenidos para su posterior análisis y comparación.

Figura 10

Medición en el espectrofotómetro y muestras manchadas



Nota: (a) espectrómetro, (b y d) muestras manchadas y expuestas a luz UV, (c y e) muestras manchadas sin exposición a luz UV.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir de las pruebas realizadas en el espectrofotómetro. Los datos recolectados muestran el efecto del TiO_2 en tejidos de algodón, lo que permitió evaluar el desarrollo de propiedades autolimpiantes bajo exposición a la luz UV. Para el análisis del comportamiento autolimpiante, se emplearon dos agentes de manchado: jugo de mora y té negro.

4.1.1 Resultados de muestras manchadas con jugo de mora y té negro, expuestas a la luz UV

Las variables respuesta son: DL* y DEcmc, se estableció como unidad experimental el tejido jersey algodón 100%, mientras que los factores de estudio fueron la concentración de TiO_2 (2 g/L y 4 g/L) y del ligante (2 g/L y 4 g/L), tal como se muestra en la **Tabla 8**.

Tabla 8

Variables de respuesta

Factores	Bajo	Alto	Niveles	Unidades
Dióxido de titanio	2,0	4,0	2	g/L
Ligante	2,0	4,0	2	g/L

Fuente: Propia

En la **Tabla 9** se presentan los valores de las mediciones realizadas con el espectrofotómetro en las muestras manchadas con jugo de mora antes de la exposición a la luz UV. Cada bloque representa un conjunto de pruebas que fueron realizadas bajo las mismas condiciones experimentales.

Tabla 9

Mediciones colorimétricas (antes de la exposición UV) en muestras manchadas con jugo de mora

Bloque	**TiO_2 (g/L)**	**Ligante (g/L)**	**DL* Luminosidad**	**Da* G**	**Db* Y**	**DE cmc**
1	2	2	4,51	1,59	-0,05	2,06
1	4	2	4,44	1,86	-0,02	1,22
1	2	4	3,75	2,30	-0,15	2,02
1	4	4	-2,33	6,49	1,34	3,97
2	2	2	4,89	1,26	-0,39	2,16
2	4	4	-1,99	6,25	1,19	3,78
2	2	4	4,26	2,25	-0,30	2,17
2	4	2	2,12	3,65	0,11	2,24
3	2	4	4,84	1,37	-0,23	2,15
3	2	2	6,01	1,05	-0,45	2,57
3	4	2	3,57	2,48	0,05	2,04
3	4	4	-2,46	6,39	1,55	3,98

En la **Tabla 10** se presentan los valores obtenidos a partir de mediciones realizadas con el espectrofotómetro en las muestras manchadas con té negro y expuestas a la luz UV. Cada bloque representa un conjunto de pruebas que fueron realizadas bajo las mismas condiciones experimentales.

Tabla 10

Mediciones colorimétricas (después de la exposición UV) en muestras manchadas con jugo de mora

Bloque	TiO_2 (g/L)	Ligante (g/L)	DL* Luminosidad	Da* G	Db* Y	DE cmc
1	2	2	7,46	-4,89	0,35	4,15
1	4	2	7,52	-4,42	2,11	4,33
1	2	4	9,78	-6,44	1,08	5,50
1	4	4	2,36	-0,06	0,86	1,19
2	2	2	7,35	-4,53	0,52	3,99
2	4	4	2,78	-5,24	0,85	1,39
2	2	4	8,74	-5,35	1,42	4,84
2	4	2	6,13	-2,96	1,94	3,40
3	2	4	8,41	-4,95	1,35	4,58
3	2	2	8,13	-5,21	0,50	4,49
3	4	2	8,53	-5,46	1,50	4,83
3	4	4	3,21	-0,32	1,10	1,60

En la **Tabla 11** se presenta el cuadro de optimización de los factores evaluados para maximizar DL* en las muestras con manchas de jugo de mora. El análisis determinó el nivel óptimo que permite alcanzar un cambio máximo en la claridad del tejido de 8,97667. Asimismo, se identificó el nivel óptimo para maximizar el DEcmc, con un valor de 4,97333. Alcanzando mediante la combinación de 2 g/L de TiO_2 y 4 g/L de ligante. Estos resultados indican las condiciones experimentales más favorables para mejorar el cambio de color del tejido.

Tabla 11

Valor óptimo para maximizar DL y DEcmc con manchas de jugo de mora*

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
TiO_2	2,0	4,0	2,0
Ligante	2,0	4,0	4,0

En la **Tabla 12**, se presentan los valores de las mediciones realizadas con el espectrofotómetro en las muestras manchadas con jugo de mora antes de la exposición a la luz UV. Cada bloque representa un conjunto de pruebas que fueron realizadas bajo las mismas condiciones experimentales.

Tabla 12

Mediciones colorimétricas (antes de la exposición UV) en muestras manchadas con té negro

Bloque	TiO_2 (g/L)	Ligante (ml/l)	DL* Luminosidad	Da* G	Db* Y	DE cmc
1	4,0	2,0	2,25	-0,09	-0,34	0,86
1	4,0	4,0	1,47	0,04	1,69	1,32
1	2,0	4,0	1,92	-0,25	-0,16	0,77
1	2,0	2,0	0,72	0,30	0,39	0,51
2	2,0	2,0	1,00	0,20	0,45	0,53
2	4,0	2,0	2,19	-0,13	-0,27	0.83
2	4,0	4,0	0,85	0,29	1,78	1,31
2	2,0	4,0	1,95	-0,21	-0,27	0,77
3	2,0	2,0	1,35	0,17	0,65	0,68
3	4,0	4,0	0,69	0,25	1,71	1,24
3	2,0	4,0	1,87	-0,25	-0,27	0,76
3	4,0	2,0	1,85	-0,02	-0,25	0,70

En la **Tabla 13**, se presentan los valores obtenidos a partir de mediciones realizadas con el espectrofotómetro en las muestras manchadas con té negro y expuestas a la luz UV. Cada bloque representa un conjunto de pruebas que fueron realizadas bajo las mismas condiciones experimentales.

Tabla 13

Mediciones colorimétricas (después de la exposición UV) en muestras manchadas con té negro

Bloque	TiO_2 (g/L)	Ligante (ml/l)	DL* Luminosidad	Da* G	Db* Y	DE cmc
1	4,0	2,0	3,95	-0,43	-1,29	1,74
1	4,0	4,0	2,92	-0,41	-0,64	1,23
1	2,0	4,0	3,86	-0,80	-2,89	2,53
1	2,0	2,0	2,73	-0,02	-0,86	1,17
2	2,0	2,0	5,02	-0,72	-2,42	2,56
2	4,0	2,0	4,48	-0,72	-1,96	2,23
2	4,0	4,0	3,10	-0,53	-0,63	1,35
2	2,0	4,0	4,61	-0,95	-3,21	2,91
3	2,0	2,0	4,38	-0,63	-1,79	2,10
3	4,0	4,0	2,71	-0,34	-0,53	1,11
3	2,0	4,0	5,99	-1,39	-4,08	3,81
3	4,0	2,0	3,85	-0,46	-1,22	1,70

En la **Tabla 14**, se muestra el cuadro de optimización que presenta los factores evaluados para maximizar DL* en las muestras con manchas de té negro. El análisis determina el nivel óptimo para lograr un cambio posible en la claridad del tejido de 4,82. También se busca maximizar el DEcmc con un valor óptimo de 3,08333. Alcanzado con una combinación de 2 g/L de TiO_2 y 4 g/L de ligante. Este estudio indica las condiciones ideales para mejorar el cambio de color.

Tabla 14

Valor óptimo para maximizar DL y DEcmc con manchas de té negro*

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
TiO_2	2,0	4,0	2,0
Ligante	2,0	4,0	4,0

4.2 Discusión de los resultados

4.2.1 Análisis de varianza DL* muestras con manchas de jugo de mora

La **Tabla 15, s**e realizó un análisis de varianza de dos factores (ANOVA) considerando la concentración de TiO_2 (2 g/L y 4 g/L) y el ligante (2 g/L y 4 g/L). El cual divide la variabilidad del parámetro DL* en componentes asociados a cada uno de los efectos evaluados. La significancia estadística de cada efecto se determina mediante la comparación de sus cuadrados medios con una estimación del error experimental. En este caso, ninguno de los efectos presenta un valor p menor que 0,05%, lo que indica que no existen diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95,0 %.

Tabla 15

Análisis de varianza para DL muestras manchadas con jugo de mora*

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Concentración TiO_2	11,9401	1	11,9401	1,94	0,2135
B: Ligante	0,508408	1	0,508408	0,08	0,7837
AB	9,10021	1	9,10021	1,48	0,2701
bloques	3,80302	2	1,90151	0,31	0,7457
Error total	37,0034	6	6,16723		
Total (corr.)	62,3551	11			

R^2 = 40,657 %

R^2 (ajustado por g.l.) = 0,0 %

Error estándar del est. = 2,48339

Error absoluto medio = 1,43097

Estadístico Durbin-Watson = 2,29445 (P=0,5074)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,191948

El estadístico R^2 indica que el modelo ajustado explica el 40,657% de la variabilidad en DL*. El estadístico R^2 ajustado, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 0,0%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 2,48339. El error medio absoluto (MAE) de 1,43097 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos. Puesto que el valor-P es mayor que 5,0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5,0%.

Los coeficientes de regresión estimados muestran efectos positivos individuales de la concentración de TiO_2 (1,615) y del ligante (2,40667) sobre la luminosidad (**Tabla 16**), siendo el ligante el factor con mayor contribución relativa, mientras que la interacción TiO_2–ligante presenta un coeficiente negativo (-0,870833), lo que indica una disminución de la respuesta cuando ambos factores se incrementan simultáneamente.

Tabla 16

*Coeficiente de regresión para DL**

Coeficiente	Estimado
constante	3,08667
A: Concentración TiO_2	1,615
B: Ligante	2,40667
AB	-0,870833

El modelo matemático obtenido se describe mediante la ecuación:

DL* = 3,08667 + 1,615 * concentración TiO_2 + 2,40667 * Ligante - 0,870833 * concentración TiO_2* Ligante

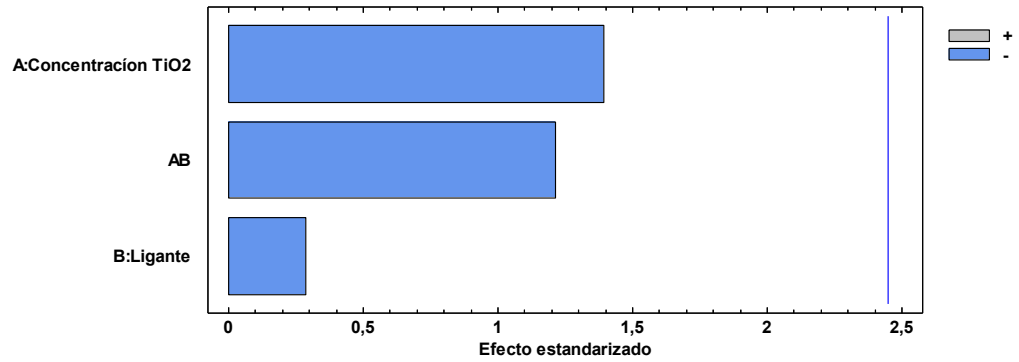
Donde el término constante (3,08667) representa el punto base de la predicción.

El diagrama de Pareto estandarizado (**Figura 11**) para la respuesta DL* permite visualizar la magnitud relativa de los efectos de la concentración de TiO_2, el ligante y su interacción (A×B) sobre la luminosidad del tejido. En la figura se observa que el factor A (concentración de TiO_2) presenta el mayor efecto estandarizado, seguido por la interacción entre la concentración de TiO_2 y el ligante, mientras que el ligante muestra el menor efecto sobre la respuesta.

No obstante, ninguno de los efectos supera la línea de referencia de significancia estadística establecida para un nivel de confianza del 95 %, lo que indica que ningún factor ni interacción resulta estadísticamente significativo sobre DL* dentro del rango experimental evaluado. Estos resultados son consistentes con el análisis de varianza (ANOVA), en el cual no se identificaron efectos significativos ($p > 0,05$).

Figura 11

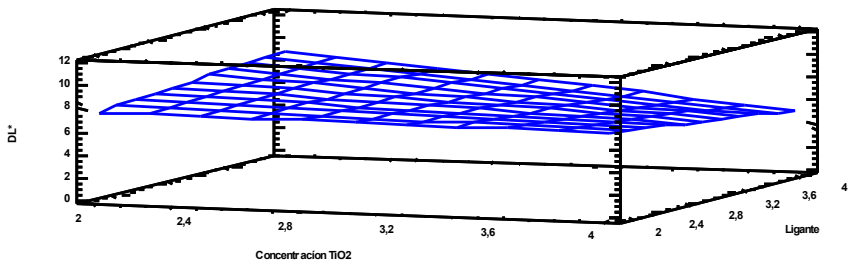
Diagrama de Pareto estandarizado para DL (jugo de mora)*



En la **Figura 12** se observa que la tendencia general de la superficie muestra un incremento de la luminosidad a niveles bajos de concentración de TiO_2 combinados con niveles altos de ligante, mientras que al aumentar simultáneamente ambos factores se evidencia una ligera disminución de la respuesta. Este comportamiento concuerda con los coeficientes de regresión obtenidos, en los cuales los efectos individuales de la concentración de TiO_2 y del ligante son positivos, mientras que la interacción entre ambos presenta un efecto negativo.

Figura 12

Superficie de respuesta estimada (jugo de mora)



4.2.2 Análisis de varianza DEcmc muestras con manchas de jugo de mora

El análisis de varianza (ANOVA) se realizó con el objetivo de evaluar la influencia de la concentración de TiO_2, el ligante, su interacción y los bloques sobre la variable respuesta DEcmc. En la **Tabla 17**, los resultados indican que ninguno de los factores evaluados presenta un valor-P menor a 0,05, por lo que no se evidencia un efecto estadísticamente significativo de estos factores sobre DEcmc con un nivel de confianza del 95 %.

Tabla 17

Análisis de varianza para DEcmc muestras manchadas con jugo de mora

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: concentración TiO_2	4,13013	1	4,13013	2,37	0,1745
B: Ligante	0,448533	1	0,448533	0,26	0,6299
AB	3,9675	1	3,9675	2,28	0,1820
bloques	0,71745	2	0,358725	0,21	0,8194
Error total	10,4503	6	1,74171		
Total (corr.)	19,7139	11			

R^2= 46,9903 %

R^2 (ajustado por g.l.) = 2,81551 %

Error estándar del est. = 1,31974

Error absoluto medio = 0,766389

Estadístico Durbin-Watson = 2,26537 (P=0,4805)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,174294

El modelo ajustado presenta un coeficiente de determinación R^2 de 46,99 %, lo que significa que aproximadamente la mitad de la variabilidad observada en DEcmc es explicada por los factores incluidos en el modelo. Sin embargo, el R^2 ajustado es bajo (2,82 %), lo cual sugiere que el modelo tiene una capacidad limitada para explicar la variabilidad real de la respuesta cuando se considera el número de factores y el tamaño de la muestra. Esto puede atribuirse a la alta variabilidad experimental o a que los factores evaluados no son los principales responsables de los cambios en DEcmc.

El error estándar del estimado (1,31974) y el error absoluto medio (0,766389) indican una dispersión moderada de los residuos alrededor de los valores predichos. Por otro lado, el estadístico de Durbin-Watson (2,26537) con un valor-P de 0,4805 confirma que no existe autocorrelación significativa de los residuos, validando uno de los supuestos básicos del modelo estadístico.

Los coeficientes de regresión indican que tanto la concentración de dióxido de titanio (TiO_2) como el ligante presentan una tendencia positiva sobre la variable respuesta DEcmc (ver **Tabla 18**) con valores estimados de (1,13833) y (1,53167) respectivamente, lo que sugiere que el incremento individual de estos factores favorece el aumento de DEcmc dentro del rango experimental evaluado, siendo el ligante el factor con mayor influencia relativa.

Sin embargo, el coeficiente negativo de la interacción TiO_2 y ligante (−0,575) evidencia que el aumento simultáneo de ambos factores tiende a disminuir la respuesta, lo que podría estar asociado a fenómenos de saturación o interferencia entre el material activo y el agente de fijación; no obstante, considerando que ninguno de los coeficientes resultó

estadísticamente significativo según el ANOVA ($p > 0,05$), estos efectos deben interpretarse únicamente como tendencias experimentales y no como conclusiones definitivas.

Tabla 18
Coeficiente de regresión para DEcmc

Coeficiente	Estimado
constante	1,17
A: Concentración TiO_2	1,13833
B: Ligante	1,53167
AB	-0,575

La ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es: DE = 1,17 + 1,13833* Concentración TiO_2 + 1,53167* Ligante - 0,575* Concentración TiO_2* Ligante

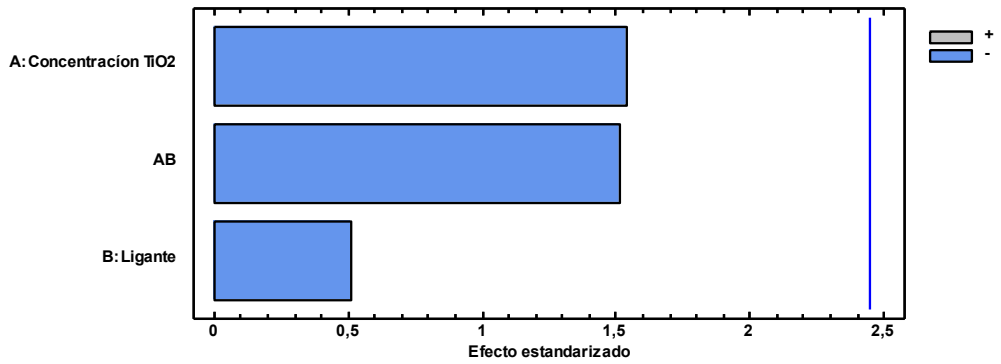
En la **Figura** 13 se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para la respuesta DEcmc, se observa que el factor A (concentración de TiO_2) presenta el mayor efecto estandarizado, seguido de la interacción TiO_2 y ligante, mientras que el ligante muestra el menor efecto relativo sobre la respuesta.

Sin embargo, ninguno de los efectos evaluados supera la línea de referencia de significancia estadística establecida para un nivel de confianza del 95 %, lo que indica que ningún factor ni interacción resulta estadísticamente significativo sobre DEcmc dentro del rango experimental estudiado. Este comportamiento es consistente con los resultados obtenidos en el análisis de varianza (ANOVA), en el cual no se identificaron efectos significativos ($p > 0,05$).

El orden de importancia relativa observado en el diagrama de Pareto sugiere que la concentración de TiO_2 es el factor con mayor influencia potencial sobre la diferencia de color, seguido de la interacción con el ligante, mientras que el ligante de forma individual presenta una contribución limitada.

Figura 13

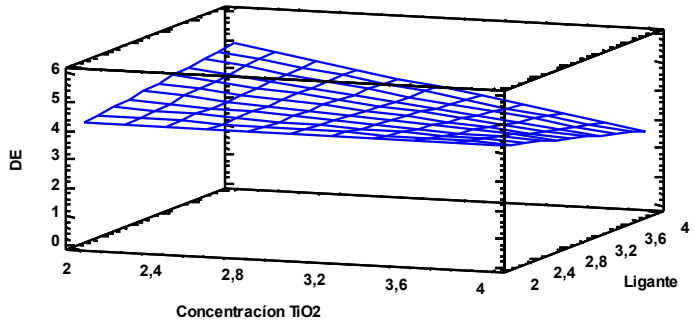
Diagrama de Pareto estandarizado para DEcmc (jugo de mora)



En la **Figura 14** se observa el incremento del ligante, que se asocia con una reducción progresiva del DE, lo que sugiere una mejor adhesión y fijación del TiO_2 sobre la superficie del tejido, favoreciendo una distribución más uniforme del acabado. La superficie presenta una pendiente suave y relativamente plana, lo cual evidencia que los efectos principales de ambos factores son moderados dentro del rango experimental evaluado. En conjunto, los resultados muestran que el uso de mayores niveles de TiO_2 y ligante permite minimizar la diferencia total de color.

Figura 14

Superficie de respuesta estimada (jugo de mora)



4.2.3 Análisis de varianza DL* muestras con manchas de té negro

En la **Tabla 19**, se muestra el análisis de varianza (ANOVA) que muestra que ninguno de los efectos principales, la interacción entre factores ni los bloques presentan diferencias estadísticamente significativas sobre DL* ($p > 0,05$). No obstante, la concentración de TiO_2 ($p = 0,0712$) y la interacción TiO_2–ligante ($p = 0,0606$) presentan valores cercanos al nivel de significancia, evidenciando una posible influencia dentro del rango experimental evaluado.

Tabla 19

Análisis de varianza para DL muestras manchadas con té negro*

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Concentración TiO_2 (Té)	2,5947	1	2,5947	4,79	0,0712
B: Ligante	0,124033	1	0,124033	0,23	0,6492
AB	2,8812	1	2,8812	5,32	0,0606
bloques	2,18182	2	1,09091	2,01	0,2142
Error total	3,25032	6	0,541719		
Total (corr.)	11,0321	11			

R^2= 70,5376 %

R^2 (ajustado por g.l.) = 45,9855 %

Error estándar del est. = 0,736016

Error absoluto medio = 0,456111

Estadístico Durbin-Watson = 2,46376 (P=0,5448)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,304074

El modelo estadístico R^2 ajustado explica el 70,54 % de la variabilidad total de la respuesta DL*, con un coeficiente de determinación ajustado de 45,99 %, lo que indica una capacidad explicativa moderada al considerar el número de factores y los grados de libertad del error. El error estándar del estimado fue de 0,736, mientras que el error absoluto medio alcanzó un valor de 0,456, lo que refleja una dispersión aceptable de los residuos. Asimismo, el estadístico de Durbin-Watson no evidenció autocorrelación serial significativa de los residuos ($p > 0,05$), cumpliéndose los supuestos de independencia del modelo.

Los coeficientes de regresión obtenidos indican efectos positivos individuales tanto de la concentración de TiO_2 como del ligante sobre la luminosidad (ver **Tabla 20**), siendo el ligante el factor con mayor contribución relativa. En contraste, la interacción entre ambos factores presentó un coeficiente negativo, lo que sugiere una disminución de la respuesta cuando ambos factores se incrementan simultáneamente. La ecuación del modelo ajustado para DL* se expresa en función de las variables en sus unidades originales.

Tabla 20

*Coeficiente de regresión para DL**

Coeficiente	Estimado
constante	1,25667
A: Concentración TiO_2 (Té)	1,005
B: Ligante	1,36833
AB	-0,49

La ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es:

DL* = 1,25667 + 1,005* Concentración TiO_2 (Té) + 1,36833*Ligante - 0,49*Concentración TiO_2 (Té)* Ligante

En donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales.

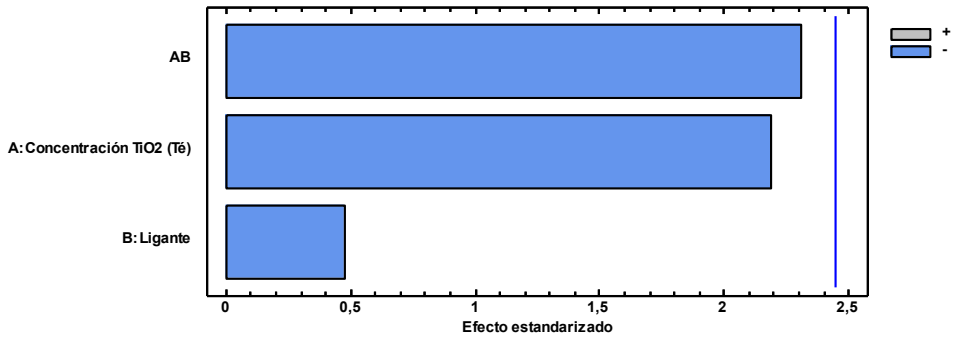
En la **Figura 15** se presenta el diagrama de Pareto estandarizado correspondiente a la respuesta DL*, la interacción entre la concentración de dióxido de titanio y el ligante (A×B) presenta el mayor efecto estandarizado, seguida por la concentración de TiO_2, mientras que el ligante muestra el menor efecto individual sobre la respuesta.

Ninguno de los efectos evaluados supera la línea de referencia de significancia estadística para un nivel de confianza del 95 %, lo que indica que no se evidencian efectos estadísticamente significativos sobre la variación de la luminosidad dentro del rango experimental analizado. Este comportamiento concuerda con los resultados obtenidos en el análisis de varianza (ANOVA), donde no se identificaron diferencias significativas ($p > 0,05$).

El orden de magnitud observado en el diagrama de Pareto sugiere que la interacción entre la concentración de TiO_2 y el ligante presenta una mayor influencia relativa sobre DL*, seguida por el efecto principal de la concentración de TiO_2, mientras que el ligante de manera individual tiene una contribución menor. Estos resultados se presentan como tendencias experimentales, sin establecer conclusiones definitivas, y complementan el análisis estadístico de la respuesta DL*.

Figura 15

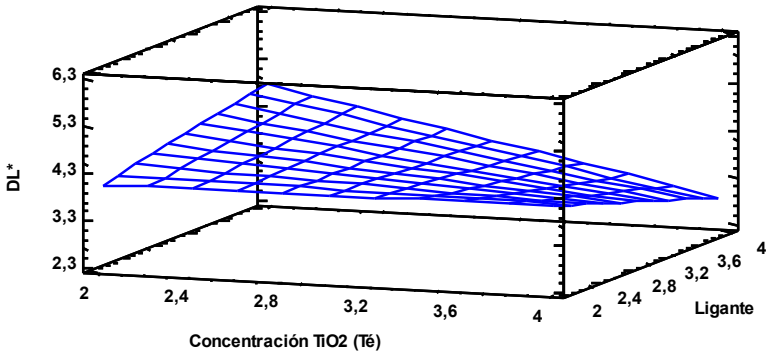
Diagrama de Pareto estandarizado para DL (té negro)*



En la **Figura 16** se observa que el incremento del contenido de ligante contribuye a una reducción progresiva del DL*, lo que sugiere una mejor fijación del acabado y una distribución más homogénea del TiO_2 sobre la superficie del tejido. La pendiente relativamente uniforme de la superficie evidencia que los efectos de ambos factores son moderados y que no se presentan cambios bruscos en la respuesta dentro del rango experimental evaluado. En conjunto, los resultados permiten concluir que mayores concentraciones de TiO_2 y ligante favorecen una menor alteración de la luminosidad del tejido.

Figura 16

Superficie de respuesta estimada (té negro)



4.2.4 Análisis de varianza DEcmc muestras con manchas de té negro

En la **Tabla 21**, se muestra el análisis de varianza (ANOVA) aplicado a la respuesta DE, los resultados muestran que la concentración de TiO_2 presenta un efecto estadísticamente significativo sobre DEcmc (p = 0,0109), al igual que la interacción entre la concentración de TiO_2 y el ligante (p = 0,0140), con un nivel de confianza del 95 %. En contraste, el efecto del ligante de forma individual (p = 0,3956) y el de los bloques (p = 0,2143) no resultaron estadísticamente significativos.

Tabla 21

Análisis de varianza para DEcmc muestras manchadas con té negro

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Concentración TiO_2 (Té)	2,72653	1	2,72653	13,21	0,0109
B: Ligante	0,1728	1	0,1728	0,84	0,3956
AB	2,43	1	2,43	11,77	0,0140
bloques	0,831317	2	0,415658	2,01	0,2143
Error total	1,23882	6	0,206469		
Total (corr.)	7,39947	11			

R^2 = 83,258 %

R^2 (ajustado por g.l.) = 69,3064 %

Error estándar del est. = 0,454389

Error absoluto medio = 0,281667

Estadístico Durbin-Watson = 2,44097 (P=0,5270)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,284718

El estadístico R^2 indica que el modelo, así ajustado, explica 83,258% de la variabilidad en DEcmc. El estadístico R^2 ajustado, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 69,3064%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,454389. El error medio absoluto (MAE) de 0,281667 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es

mayor que 5,0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5,0%.

En la **Tabla 22**, los coeficientes de regresión estimados indican un efecto positivo de la concentración de TiO_2 y del ligante sobre la respuesta DEcmc, mientras que la interacción entre ambos factores presenta un coeficiente negativo, lo que refleja una reducción de la respuesta cuando ambos factores se incrementan simultáneamente. La ecuación del modelo ajustado describe la relación funcional entre DEcmc y las variables experimentales en sus unidades originales.

Tabla 22
Coeficiente de regresión para DEcmc

Coeficiente	**Estimado**
constante	-0,943333
A: Concentración TiO_2 (Té)	0,873333
B: Ligante	1,47
AB	-0,45

La ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es: DEcmc= -0,943333 + 0,873333* Concentración TiO_2 (Té) + 1,47*Ligante - 0,45* Concentración TiO_2 (Té)* Ligante

en donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales.

La **Figura 17** muestra el Diagrama de Pareto estandarizado correspondiente a la variable respuesta diferencia de color DEcmc, de acuerdo con los resultados observados, el

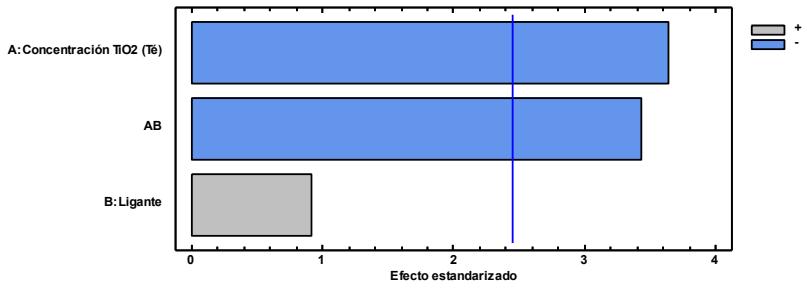
factor A: concentración de TiO_2 presenta el mayor efecto estandarizado, superando el umbral de significancia. Esto indica que la concentración de dióxido de titanio influye de manera estadísticamente significativa sobre la diferencia de color del tejido.

Asimismo, la interacción AB (concentración de TiO_2 y ligante) también supera la línea de significancia estadística, lo que evidencia que el efecto del TiO_2 sobre la diferencia de color depende del tipo o nivel de ligante utilizado.

Por otro lado, el factor B: ligante, considerado de forma individual, no supera el límite de significancia, por lo que se concluye que no ejerce un efecto estadísticamente significativo sobre el DEcmc dentro del rango de niveles evaluados. No obstante, su participación resulta relevante cuando actúa en combinación con la concentración de TiO_2, tal como lo demuestra la significancia de la interacción AB

Figura 17

Diagrama de Pareto estandarizada para DEcmc (té negro)

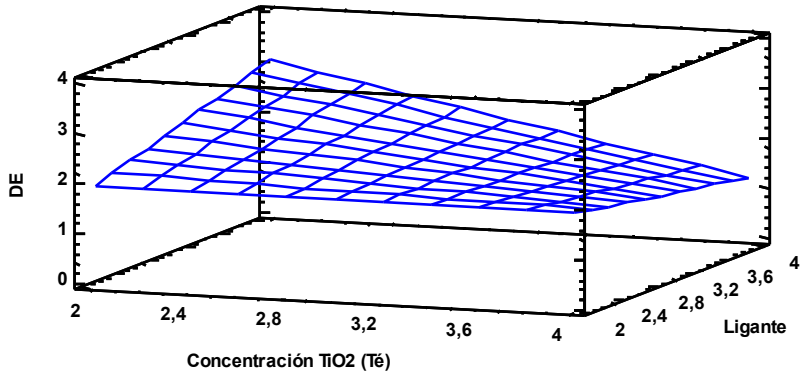


La superficie de respuesta estimada (**Figura 18**) muestra el comportamiento de la diferencia de color (DEcmc) en función de la concentración de TiO_2 y del ligante. Se observa una tendencia general a la disminución del valor de DEcmc conforme aumenta la concentración de TiO_2, lo que sugiere que niveles más altos de este agente contribuyen a una

mayor estabilidad cromática del tejido tratado. De manera similar, el incremento del ligante también se asocia con una ligera reducción del DEcmc, indicando una mejor fijación del acabado sobre la superficie textil.

Figura 18

Superficie de respuesta estimada (té negro)



CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se empleó TiO_2 en las concentraciones de 2 g/L y 4 g/L, en combinación con concentraciones de ligante de 2 g/L y 4 g/L. El método de agotamiento permitió una incorporación homogénea y una distribución aproximadamente uniforme del TiO_2 en las fibras de algodón, sin comprometer la integridad estructural del tejido.
- Se realizó el manchado controlado con 1 mL de jugo de mora y 1 mL de té negro por muestra, obteniéndose una reproducibilidad en los ensayos. Los dos agentes se mostraron adecuados para simular condiciones reales de suciedad y evidenciar la actividad fotocatalítica del TiO_2 bajo exposición UV.
- La exposición a la luz UV durante 72 horas produjo cambios colorimétricos cuantificables. En las manchas de jugo de mora, la condición óptima (2 g/L TiO_2 + 4 g/L ligante) presentó un incremento DL* de 4,28 a 8,98 (+4,69) y DEcmc de 2,11 a 4,97 (+2,86). En las manchas de té negro, se comprobó que esa misma condición aumentó el DEcmc desde 0,77 a 3,08 (+2,31), lo que confirma la degradación de las manchas por efecto fotocatalítico.
- El ANOVA ($p < 0,05$) mostró que, para las manchas de jugo de mora ningún factor resultó significativo ($p > 0,05$). Para las manchas de té negro, la concentración de TiO_2 ($p = 0,0109$) y su interacción con el ligante ($p = 0,0140$) fueron estadísticamente significativas sobre DEcmc, demostrando que estos factores influyen en la eficiencia autolimpiante del tejido tratado.

Recomendaciones

- Evaluar las variables de proceso (tiempo, temperatura y tipo de tejido) para optimizar la fijación y distribución del TiO_2 y el ligante en tejido jersey 100% algodón. Asimismo, se recomienda ampliar el rango de concentraciones de TiO_2 y ligante, e incorporar ensayos de solidez al lavado.
- Incluir otros agentes de manchado de origen natural (como café, té, jugo de frutas o tierra) para ampliar el análisis del comportamiento autolimpiante del tejido frente a distintos tipos de suciedad presentes en el uso cotidiano, permitiendo así una evaluación más representativa del desempeño real del material.
- Explorar diferentes fuentes de luz UV, intensidades y tiempos de exposición, a fin de identificar las condiciones más eficientes para la activación fotocatalítica del TiO_2 que permitan reducir el tiempo de exposición sin afectar las propiedades colorimétricas del tejido. Para garantizar resultados precisos y reproducibles, se debe registrar y controlar rigurosamente la distancia a la lámpara, la irradiancia, la longitud de onda, así como la temperatura y la humedad relativa durante las 72 horas de ensayo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, B. M. (2018). *Efecto del* TiO_2 *en las propiedades de los tejidos de algodón*. https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/22932cd1-803a-4b49-9a01-ac8274018402/content

Ahmad, I., & Kan, C. W. (2017). Visible-light-driven, dye-sensitized TiO 2 photo-catalyst for self-cleaning cotton fabrics. *Coatings*, *7*(11). https://doi.org/10.3390/coatings7110192

Arroyave, J. A., Garcés, L. F., & Cruz, A. F. (2007). Fotodegradación de las aguas residuales con pesticida Mertect en la industria bananera empleando Fotocatálisis con Dióxido de Titanio y Lámpara de Luz Ultravioleta. *Revista Lasallista de Investigación*, *4*(1), 7–13. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-44492007000100002&script=sci_arttext

Asamblea Constituyente. (2013, December 19). *Constitución del ecuador*. https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/01/TRANSP-NORMAS_CONSTITUCIONALES.pdf

Baltanás, G., Cugniet, L., & Fourcade, V. (n.d.). *Estructura del tejido de punto-primera parte*.

Betancur, C. P., Hernández, V., & Buitrago, R. (2016). Nanopartículas para materiales antibacterianos y aplicaciones del dióxido de titanio. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, *35*(4), 366–381. https://www.medigraphic.com/pdfs/revcubinvbio/cib-2016/cib164g.pdf

Bustamante, V. (2014). *Desarrollo de superficies autolimpiables en textiles de algodón con TiO2 mediante fotocatálisis heterogénea* [Tecnológico de Antioquia I.U.]. https://dspace.tdea.edu.co/bitstream/handle/tdea/6068/S%c3%adntesis%20-%20tesis%20maestr%c3%ada.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Chiu, V. (2024). *InfraDye Infrared Lab Dyeing Machine*. https://chiuvention.com/es/product/infradye-infrared-lab-dyeing-machine

Cristóbal, P. (2015). *El espacio de color CIE L*A*B**.

Echeverri, M. L. (2019). *Acabados Antimicrobianos en Textiles: Tendencias y Aplicaciones*.

Elga LabWater. (2025). *UV drawing*. https://br.elgalabwater.com/technologies/ultraviolet

Garcés Giraldo, C., Fernando, L., Ángel, H., Lucía, M., Mesa, P., Antonio, G., Restrepo, R., Palacio, S., & Andrés, J. (2005). *Degradación de aguas residuales de la industria textil por medio de fotocatálisis*. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69520103

García, R. D. (2018). *Instrumentos que revolucionaron la química: la historia del espectrofotómetro*. www.saber.ula.ve/avancesenquimicaAvancesenQuímica,13

Grajales, T. (2000). *Tipos de investigación*.

Gutiérrez, A. F., & Lizárraga, T. L. (2016). *Efectos sobre la salud en los trabajadores expuestos al dióxido de titanio*.

Indutexma. (2025). *Indutexma*.

ISO/CIE. (2019). *Colorimetry-Part 4: CIE 1976 L*a*b* colour space Colorimétrie-Partie 4: Espace chromatique L*a*b* CIE 1976 COPYRIGHT PROTECTED DOCUMENT*. https://www.cie.co.at/publications/colorimetry-part-4-cie-1976-lab-colour-space-0

Jaguaco, D. E. (2018). *Incorporación de Dióxido de Titanio en Telas para generar Propiedades Auto-limpiante*.

Lockuán, F. E. (2012). *VI. La industria textil y su control de calidad*.

Lozada, C., & Urrutia, J. (2008). *Diseño factorial fraccionado 2 k-p aplicado a la determinación del valor de conservación de inmuebles de interes cultural.*

Maps, G. (2023). *Mapa de google.pdf*.

Medina, E. (2017). *Influencia del fotocatalizador dióxido de titanio en las propiedades autolimpiables y mecánicas del mortero de cemento - arena 1:4 - Cajamarca*.

Mora, E., & Puente, M. (2021). El modelo de producción y consumo denominado "moda rápida" analizado bajo aspectos toxicológicos y ecológicos. *Revista Biorrefinería*, *4*, 6.

Morales, N. (2015). *Investigación Exploratoria: Tipos, Metodología y Ejemplos*.

Nevárez, M. C., Espinoza, P. J., Quiroz, F. J., & Ohtani, B. (2017). Fotocatálisis: inicio, actualidad y perspectivas a través del TiO 2 Photocatalysis: beginning, present and trends through TiO 2. *Avances En Química*, *12*(3).

Pey Clemente, J. (2008). Aplicación de procesos de oxidación avanzada (Fotocatálisis solar) para el tratamiento y reutilización de efluentes textiles. In *Universidad Politécnica De Valencia*.

Rodríguez, F. N. (2007). *Generalidades acerca de las técnicas de investigación cuantitativa*. *2*(1), 9–39.

SESAN SAS. (2017). *Ficha técnica Dióxido deTitanio*.

Seyquiin. (2024). *LiganteTampon*.

Shahidi, S., Wiener, J., & Ghoranneviss, M. (2013). Surface Modification Methods for Improving the Dyeability of Textile Fabrics. In *Eco-Friendly Textile Dyeing and Finishing*. InTech. https://doi.org/10.5772/53911

Terrán, E. P. (2002). *Desinfección por luz Ultravioleta*.

Tinoco, O. R., Medina, A. M., & Zapata, H. (2014). Tratamiento de efluentes textiles con luz ultravioleta solar. *Industrial Data*, *14*(2), 9–15. https://doi.org/10.15381/idata.v14i2.6217

Titanium Dioxide Manufactures Association [TDMA]. (2018). Sobre el dióxido de titanio. *Titanium Dioxide Stewardship Council*.

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

X-Rite. (2018). *CIELAB-1*. https://www.xrite.com/es/blog/tolerancing-part-3

ANEXOS

Anexo 1

Ficha técnica tejido jersey color APT Ab 100% algodón



MUESTRA: 883-43 FECHA ACTUALIZACIÓN: 24-02-2025

XDYED	JERSEY COLOR APT Ab					ALGODÓN 100%
ESPECIFICACIONES	ANCHO	PESO	RENDIMIENTO	ENCOGIMEINTO %	REVIRADO %	TÉCNICAS: SERIGRAFÍA, VINILO, NO SUBLIMAR
ESTÁNDAR	1.63	163	3.76	A: -2 L:-9	5%	SEGMENTO: FEMENINO, MASCULINO E INFANTIL
TOLERANCIA:	máx: 1,65 - min: 1,61	máx: 171 - min: 155	máx: 4.01 - min: 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.

No limpieza en seco.

Secado en tendedero a la sombra.

Anexo 2

Ficha técnica del ligante TAMPON

LC81

TAMPON

INFORMACION TECNICA

Ligante aniónico multipropósito, obtenido a partir de polímero acrílico. Genera tacto suave, película transparente, brillante, flexible, muy blanda y autoreticulante.

PROPIEDADES

Composición:	Polímero acuoso
Carácter:	aniónico
Apariencia:	Liquido blanco.
pH:	n.d.
Solubilidad:	Diluible en agua temperada.
Almacenamiento:	Mantener los envases bien cerrados.

CARACTERISTICAS

- Estabiliza la fijación en la tintura pigmentaria.
- Estampación de pieza, en mesa o maquinas, con buen rendimiento colorístico, tacto suave y elástico.
- Estampación sobre mezclas de poliéster algodón, fibras sintéticas, telas delgadas, algodón, etc.

DOSIFICACION

- 2 a 5 g/L (Dependiendo del % de Pigmento)

Anexo 3

Certificado de uso de laboratorio de la Carrera de Textiles

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

LABORATORIO DE PROCESOS TEXTILES DE LA CARRERA DE TEXTILES

IBARRA - ECUADOR
Carrera de Textiles
Ingeniería

Ibarra, 14 de julio del 2026

CERTIFICADO DE LABORATORIO

Yo, **MSc. José Rafael Posso Pasquel**, en calidad de responsable técnico del laboratorio de procesos textiles de la Carrera de Textiles:

CERTIFICO

Que la señorita **Mirka Maide Gómez Méndez**, portadora de la cédula de ciudadanía N° **1004356596**, ha realizado ensayos de laboratorio referentes al Trabajo de Titulación, con el tema: **"APLICACIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO (TiO_2) EN TEJIDO DE PUNTO JERSEY 100% ALGODÓN, PARA EL DESARROLLO DE PROPIEDADES AUTOLIMPIANTES, MEDIANTE LA EXPOSICIÓN UV"**, los equipos utilizados en el laboratorio fueron:

- **Balanza analítica, vasos de precipitación**
- **Equipo IR Dyer**
- **Horno de vacío**
- **Espectrofotómetro X-rite Color i5**
- **Túnel de secado.**

Además, se le ayudó con las asesorías necesarias para cumplir a cabalidad el proceso.

Atentamente:

MSc. JOSÉ POSSO.

RESPONSABLE TÉCNICO DEL LABORATORIO DE PROCESOS TEXTILES – CTEX