



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

## Escuela Politécnica Superior de Alcoy

Tejidos con protección solar y baja coloración a partir de extractos de residuos orgánicos.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Química

AUTOR/A: Ruiz Masegosa, Paula

Tutor/a: Santos-Juanes Jordá, Lucas

Cotutor/a: Bou Belda, Eva

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se centra en el desarrollo de tejidos con protección solar y baja coloración a partir de extractos de residuos orgánicos del café (sustancias tipo húmicas). Este enfoque, que combina conocimientos del ámbito textil y de la ingeniería química, busca aprovechar los residuos orgánicos generados por la industria cafetalera para crear tejidos con propiedades específicas y beneficiosas.

La utilización de los extractos derivados de los residuos orgánicos del café es un aspecto fundamental en este enfoque novedoso. Estos extractos contienen compuestos con propiedades beneficiosas que pueden ser aplicados como tratamiento para aportar nuevas propiedades a éste, obteniendo un textil funcionalizado. La investigación del presente proyecto se centró en la realización de experimentos de teñido utilizando estos extractos de residuos orgánicos del café, con el propósito de obtener tejidos que cumplan con los requisitos de protección solar y mantengan la coloración inicial del textil.

Durante el desarrollo del proceso, se ha utilizado un diseño experimental de matrices Doehlert para optimizar el proceso. Se han obtenido resultados óptimos en términos de máxima protección ultravioleta, enfocándose en valores de pH cercanos a la neutralidad, temperaturas elevadas y concentraciones medias de sustancias húmicas extraídas del café. Además, se ha empleado equipamiento especializado para alcanzar los objetivos planteados.

Los resultados obtenidos en este estudio poseen implicaciones significativas en la optimización de los procesos de adhesión de sustancias húmicas. Comprender y establecer la relación entre concentración, temperatura y adhesión nos brinda la oportunidad de mejorar las condiciones de trabajo, logrando una mayor eficiencia y efectividad en diversos procesos industriales.

Este enfoque innovador no solo permite el desarrollo de tejidos con propiedades específicas, sino que también contribuye la sostenibilidad al aprovechar los residuos orgánicos del café como materia prima. Estas investigaciones brindan oportunidades para futuros avances en el área de protección solar y reducción de la coloración en tejidos.

**Palabras clave:** tintura; extractos del café; protección ultravioleta; industria textil.

## **ABSTRACT**

The present research work focuses on the development of fabrics with solar protection and low coloration from extracts of organic coffee residues. This approach, which combines knowledge from the textile and chemical engineering fields, seeks to take advantage of the organic residues generated by the coffee industry to create fabrics with specific and beneficial properties.

The use of extracts derived from organic coffee waste is a fundamental aspect of this novel approach. These extracts contain compounds with beneficial properties that can be applied as a treatment to provide new properties to it, obtaining a functionalized textile. The research of the present project focused on conducting dyeing experiments using these extracts of organic coffee residues, with the purpose of obtaining fabrics that meet the requirements of sun protection and maintain their initial coloration of the textile.

During the development of the process, an experimental design of Doehlert matrices has been used to optimize the process. Optimum results have been obtained in terms of maximum UV protection, focusing on pH values close to neutrality, high temperatures and medium concentrations of humic substances. In addition, specialized equipment has been used to achieve the objectives set.

The results obtained in this study have significant implications in the optimization of humic substances adhesion processes. Understanding and establishing the relationship between concentration, temperature and adhesion gives us the opportunity to improve working conditions, achieving greater efficiency and effectiveness in various industrial processes.

This innovative approach not only allows the development of fabrics with specific properties, but also contributes to sustainability by taking advantage of organic coffee waste as a raw material. This research provides opportunities for future advances in the area of sun protection and color reduction in fabrics.

**Keywords:** dyeing; coffee extracts; ultraviolet protection; textile industry.

## RESUM

El present treball de recerca se centra en el desenvolupament de teixits amb protecció solar i baixa coloració a partir d'extractes de residus orgànics del café. Aquest enfocament, que combina coneixements de l'àmbit tèxtil i de l'enginyeria química, cerca aprofitar els residus orgànics generats per la indústria cafetalera per a crear teixits amb propietats específiques i beneficioses.

La utilització dels extractes derivats dels residus orgànics del café és un aspecte fonamental en aquest enfocament nou. Aquests extractes contenen compostos amb propietats beneficioses que poden ser aplicats com a tractament per a aportar noves propietats a aquest, obtenint un tèxtil funcionalitzat. La investigació del present projecte es va centrar en la realització d'experiments de tenyit utilitzant aquests extractes de residus orgànics del café, amb el propòsit d'obtenir teixits que complisquen amb els requisits de protecció solar i mantinguen la seua coloració inicial del tèxtil.

Durant el desenvolupament del procés, s'ha utilitzat un disseny experimental de matrius Doehlert per a optimitzar el procés. S'han obtingut resultats òptims en termes de màxima protecció ultraviolada, enfocant-se en valors de pH pròxims a la neutralitat, temperatures elevades i concentracions mitjanes de substàncies húmiques. A més, s'ha emprat equipament especialitzat per a aconseguir els objectius plantejats.

Els resultats obtinguts en aquest estudi posseeixen implicacions significatives en l'optimització dels processos d'adhesió de substàncies húmiques. Comprendre i establir la relació entre concentració, temperatura i adhesió ens brinda l'oportunitat de millorar les condicions de treball, aconseguint una major eficiència i efectivitat en diversos processos industrials.

Aquest enfocament innovador no sols permet el desenvolupament de teixits amb propietats específiques, sinó que també contribueix la sostenibilitat en aprofitar els residus orgànics del café com a matèria primera. Aquestes investigacions brinden oportunitats per a futurs avanços en l'àrea de protecció solar i reducció de la coloració en teixits.

**Paraules clau:** tintura; extractes del café; protecció ultraviolada; indústria tèxtil.

# ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN.....</b>	<b>I</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>II</b>
<b>RESUM .....</b>	<b>III</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>2</b>
1.1 ESCASEZ DE RECURSOS Y CONTAMINACIÓN EN EL PLANETA.....	2
1.2 ECONOMÍA CIRCULAR, REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS .....	7
1.3 REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS PARA SU USO EN LA INDUSTRIA TEXTIL .....	10
1.4 USO DE RESIDUOS COMO COLORANTES TEXTILES .....	12
1.5 CAPACIDAD DE PROTECCIÓN UV EN TEXTILES .....	15
1.6 APLICACIONES QUE APORTEN PROTECCIÓN UV SIN DOTAR DE COLOR EL TEXTIL....	19
1.7 PROCESOS DE TINTURA.....	24
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>26</b>
<b>3. EXPERIMENTAL .....</b>	<b>29</b>
3.1 MATERIALES .....	29
3.2 EQUIPOS .....	32
3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	39
<b>4. RESULTADOS EXPERIMENTALES .....</b>	<b>45</b>
4.1 OPTIMIZACIÓN .....	50
<b>5. DIMENSIONADO .....</b>	<b>53</b>
5.1 CÁLCULOS.....	53
<b>6. ESTUDIO ECONÓMICO Y PRESUPUESTO.....</b>	<b>57</b>

6.1	COSTE PERSONAL .....	57
6.2	COSTE ENERGÍA.....	59
6.3	COSTE COLORANTE NATURAL .....	59
6.4	COSTE COLORANTE COMERCIAL .....	62
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>68</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>70</b>

## LISTADO DE TABLAS

<b>TABLA 1:</b> DEPENDIENDO EL DISEÑO HAY DIFERENTES UPF. ....	18
<b>TABLA 2:</b> VALORES CORRESPONDIENTES A LOS DIFERENTES EXPERIMENTOS. ....	41
<b>TABLA 3:</b> COORDENADAS CROMÁTICAS DE LAS DIFERENTES MUESTRAS TRAS LAS DISTINTAS TEMPERATURAS DE TINCIÓN CON CAFÉ.....	48
<b>TABLA 4:</b> ANALIZAR EXPERIMENTO L*.....	51
<b>TABLA 5:</b> ANALIZAR EXPERIMENTO UPF.....	52
<b>TABLA 6:</b> COMPARACIÓN DEL CONSUMO A ESCALA DE LABORATORIO Y ESCALA INDUSTRIAL PARA LOS RECURSOS UTILIZADOS EN EL PROCESO. ....	56
<b>TABLA 7:</b> COSTE TOTAL DE GASTOS DE PERSONAL.....	58
<b>TABLA 8:</b> COSTE TOTAL DEL COLORANTE NATURAL.....	62
<b>TABLA 9:</b> COSTE TOTAL DEL COLORANTE NATURAL.....	66

## 1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo, se abordará el tema de los tejidos con protección solar y baja coloración utilizando extractos de residuos orgánicos del café. Este proyecto tiene como objetivo principal desarrollar tejidos que puedan proporcionar protección solar efectiva y al mismo tiempo presenten una baja coloración, utilizando materiales provenientes de residuos orgánicos de café. Se proporcionará el contexto del proyecto, destacando la importancia de la protección solar en la industria textil y la creciente preocupación por la sostenibilidad y el aprovechamiento de residuos orgánicos. Además, se explicará de manera concisa en qué consiste el proyecto, es decir, cómo se utilizarán los extractos de residuos orgánicos del café para obtener los compuestos necesarios para impregnar los tejidos y brindarles propiedades de protección solar.

### 1.1 Escasez de recursos y contaminación en el planeta

En esta sección, se explorará el problema del impacto ambiental generado por la industria textil, así como la importancia de poder reutilizar materias primas provenientes de otras industrias para su aplicación en el sector textil. Se pondrá especial énfasis en el desarrollo de tinturas que minimicen la modificación del color del tejido pero que a su vez proporcionen una protección ultravioleta efectiva. Se proporcionará una explicación del contexto en que se lleva a cabo el proyecto y se presentará una visión general de las diversas estrategias para mejorar la sostenibilidad en la producción textil, incluyendo el uso de materiales más resistentes a la radiación solar y la implementación de procesos de reciclaje más eficientes.

En la actualidad, nuestro planeta se enfrenta a desafíos significativos que amenazan su equilibrio y sostenibilidad. Dos de los problemas más importantes que debemos abordar de manera urgente son la escasez de recursos y el incremento de la contaminación. La escasez de recursos se refiere a la disminución de los recursos naturales renovables y no renovables que son vitales para nuestra subsistencia, como el agua, los combustibles fósiles y los minerales. Este agotamiento es debido al aumento de la población mundial y al creciente consumo de dichos recursos en diversos sectores. Esta demanda insostenible ha generado una presión sin precedentes sobre nuestros ecosistemas y pone en peligro la viabilidad de nuestras futuras generaciones.

Si no tomamos medidas para cambiar nuestros patrones actuales de producción y consumo, pronto enfrentaremos una doble crisis ecológica que combina la escasez de recursos con un desperdicio excesivo [1]. Nuestra sociedad se encuentra atrapada en un sistema que agota los



recursos naturales de manera insostenible. Según las estimaciones proporcionadas por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) [2], en el año 2010 se recolectaron alrededor de 11.200 millones de toneladas de desechos, lo que representa aproximadamente 2 toneladas por persona en el planeta. Es importante destacar que la cantidad de desechos no recolectados se mantiene constante.

Además, se prevé que estos impactos empeoren a medida que la creciente población mundial adopte patrones de consumo insostenibles. El bienestar humano está estrechamente vinculado a la preservación de un entorno saludable. En su nivel más fundamental, las personas dependen del medio ambiente para satisfacer necesidades básicas, como el acceso al agua potable, alimentos y vivienda.

Es ampliamente reconocido que los seres humanos tienen una capacidad única para influir en su entorno, y esto se hace cada vez más evidente a medida que la población, los ingresos y el consumo se relacionan con una mayor extracción de recursos y generación de desechos. Esta interacción entre el ser humano y el medio ambiente tiene un impacto directo en la calidad de vida de las personas y en la sostenibilidad del planeta. Además, nuestra dependencia excesiva de las emisiones y el reciclaje en lugar de la reutilización agrava aún más estos problemas [3].

Los recursos híbridos se encuentran sometidos a una gran presión debido al crecimiento demográfico, el desarrollo socioeconómico y los cambios en los patrones de consumo. Se espera que estas presiones aumenten en las próximas décadas, según el Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO en 2019. La crisis de la biodiversidad está teniendo un impacto significativo en los recursos de agua dulce, lo que nos indica que nos encontramos al borde de una sexta extinción masiva en la historia del planeta. La pérdida de biodiversidad es un problema reconocido tanto por los gobiernos como por los actores económicos [4].

Esta interacción entre el ser humano y el medio ambiente se ve agravada por la emergencia climática, la cual representa una crisis sanitaria global definitiva en un escenario complejo e injusto. Las comunidades desfavorecidas y las poblaciones vulnerables del Sur Global (p. ej., mujeres, pueblos indígenas o grupos discapacitados) están experimentando las consecuencias más duras porque su mayor exposición y vulnerabilidad tienen sus raíces en desafíos estructurales. Estos tres aspectos; el impacto humano en el medio ambiente, la presión sobre los recursos hídricos, la pérdida de biodiversidad, y la emergencia climática están intrínsecamente interrelacionados y demandan una acción urgente y colectiva.

Hoy en día, el agua sigue siendo una fuente fundamental para la vida. Sin embargo, su acceso y distribución son desiguales a pesar de ser un recurso compartido por todos. Los administradores, usuarios y proveedores de servicios de agua se enfrentan a muchos desafíos para garantizar un acceso equitativo y sostenible a servicios de agua, considerando la creciente demanda y necesidad de una gestión eficiente de los recursos hídricos. Aunque las crisis mundiales del agua se atribuyen principalmente a la insuficiencia de agua.

Un porcentaje mayoritario de la población global enfrenta escasez de agua durante al menos un mes al año. El cambio climático y el aumento en la cantidad de personas continúan ejerciendo una fuerte presión sobre los limitados recursos hídricos disponibles [5].

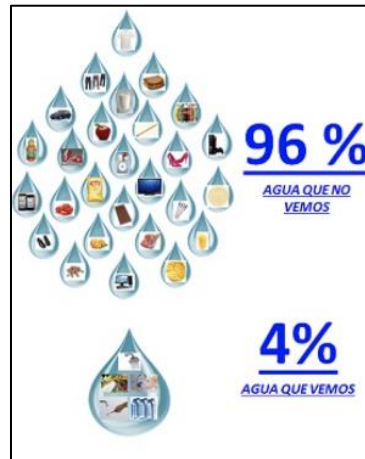
En particular, la industria textil es ampliamente conocida por su alto consumo de agua en diferentes etapas de producción, lo que representa un importante problema medioambiental y social.

De acuerdo con los datos proporcionados por la ONU, se estima que la industria textil es responsable del 20% del agua contaminada a nivel mundial [3]. Además, esta industria utiliza cantidades significativas de agua en sus procesos. Por ejemplo, durante el proceso de teñido con colorantes dispersos, se emplean aproximadamente entre 100 y 150 litros de agua por cada kilogramo de producto, mientras que, en el caso de los colorantes reactivos, las cifras varían entre 125 y 170 litros por kilogramo de producto [6]. Estas cifras resaltan la alta demanda de agua de la industria textil y su impacto en los recursos hídricos, subrayando la importancia de buscar prácticas más sostenibles y eficientes en el uso del agua en este sector.

También, la fabricación de prendas de vestir y artículos textiles para el hogar consume grandes cantidades de agua dulce y contribuye a la contaminación del agua y a las emisiones de gases de efecto invernadero. Por ejemplo, se estima que se necesitan aproximadamente 2.700 litros de agua dulce para elaborar una camiseta de algodón [7].

Es importante tener en cuenta que el consumo de agua en la industria textil no se limita solo a los procesos de tintura. También se utiliza agua en otras etapas como dimensionamiento, desencolado, mercerización, limpieza, decoloración, impresión y acabado. Además, se menciona la existencia de "agua virtual", que se refiere al agua utilizada en la producción de materias primas y componentes utilizados en la fabricación textil, pero que no se refleja directamente en la planta de producción [8].

La figura 1 tiene como objetivo ilustrar el concepto de "agua virtual" que permitirá visualizar de manera clara y concisa la importancia del agua en la cadena de suministro textil, enfatizando el agua que no se considera directamente en las instalaciones de producción, pero que está intrínsecamente ligada al proceso de fabricación.



**Figura 1:** Agua virtual. (Fuente: [www.agua.org.mx](http://www.agua.org.mx).)

Un informe menciona que la producción textil utiliza grandes cantidades de agua y tierras para cultivar fibras como el algodón. En 2015, se estima que la industria textil y de la confección a nivel mundial utilizó 79.000 millones de metros cúbicos de agua, y las necesidades totales de la economía de la Unión Europea ascendieron a 266.000 millones de metros cúbicos en 2017 [9]. Al reutilizar residuos textiles, se evita la necesidad de consumir estas cantidades de recursos naturales, lo que ayuda a conservar agua y tierras.

En resumen, la industria textil es conocida por su alto consumo de agua en diversos procesos de producción. Se requieren cantidades considerables de agua para llevar a cabo operaciones como la tintura con colorantes dispersos y colorantes reactivos. Este consumo de agua plantea desafíos en términos de uso sostenible y gestión adecuada de los recursos hídricos.

La contaminación, por otro lado, es uno de los principales problemas ambientales que enfrenta nuestro planeta. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha señalado que la contaminación del aire exterior representa un importante riesgo medioambiental para la salud en todos los países, ya sean de ingresos bajos, medios o altos. Según estimaciones de 2019, la contaminación del aire ambiente (exterior) en las ciudades y zonas rurales de todo el mundo provoca cada año 4,2 millones de muertes prematuras [10].

Actualmente, la Comisión Lancet, reconocida internacionalmente por su dedicación a investigar y analizar la relación entre la crisis ambiental y la salud humana. Tiene como objetivo presentar soluciones prácticas y accesibles para los responsables de la toma de decisiones. Esta comisión busca desmentir el mito de que la contaminación es una consecuencia inevitable del desarrollo económico. En cambio, resalta que es generada por las actividades humanas, como la industrialización, la urbanización y la globalización. La contaminación puede afectar a diversos sistemas naturales y disminuir la funcionalidad de los ecosistemas, lo cual puede tener impactos negativos en las personas [11].

Además, es importante tener en cuenta que la contaminación del aire puede variar según el país y la región. Por ejemplo, en los países con mayores ingresos, se observa una menor contaminación por partículas en comparación con otros países. Sin embargo, la presencia de dióxido de nitrógeno sigue siendo un problema en la mayoría de las ciudades, incluso en aquellos países con mejores condiciones ambientales [11]. A continuación, se mencionan algunos de los países identificados como los principales emisores de contaminantes atmosféricos.



**Figura 2:** Países que más contaminan el aire. (Fuente: <https://es.statista.com/grafico/9662/emisiones-de-dioxido-de-carbono-por-paises-en-2018/>.)

Este planteamiento es pertinente debido a que los expertos han determinado que el cambio climático ha desencadenado nuevos eventos climáticos extremos, tales como inundaciones, huracanes, olas de calor, sequías e incendios forestales. Estos fenómenos han resultado en la pérdida de vida de más de 600,000 personas y han desplazado a casi 4,000 millones de individuos en los últimos 20 años. Hasta ahora, la investigación sobre los impactos del cambio climático en la salud se ha enfocado principalmente en enfoques epidemiológicos y sus resultados, sin otorgar suficiente importancia a colaboraciones interdisciplinarias y

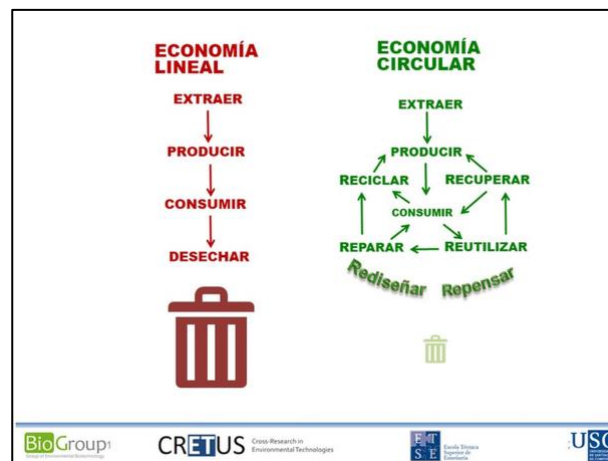
multilaterales entre científicos físicos, investigadores de salud pública y formuladores de políticas. Además, se ha prestado escasa atención a los aspectos éticos y religiosos relacionados con esta problemática [12].

## 1.2 Economía circular, revalorización de residuos

La economía circular es un enfoque que enfatiza la importancia de mantener el valor de los productos durante el mayor tiempo posible y evitar el desperdicio. Se basa en mantener los recursos en la economía incluso después de que un producto haya alcanzado el final de su vida útil, de modo que puedan ser utilizados de manera rentable una y otra vez para crear más valor. A diferencia de la "economía lineal", que sigue una secuencia simple de "explotar - producir - consumir - disponer", la economía circular busca cerrar los ciclos de materiales y minimizar la generación de residuos.

La siguiente figura describe la diferencia entre la economía lineal y la economía circular es una representación visual útil para comprender estos conceptos.

La figura puede ilustrar cómo la economía circular promueve la reutilización, el reciclaje y la reintroducción de los productos y materiales en la cadena de producción, en lugar de desecharlos.



**Figura 3:** Guía de la economía circular. (Fuente: <https://elpais.com/planeta-futuro/2021-09-02/como-podemos-medir-la-sostenibilidad-de-las-ciudades-donde-vivimos.html>.)

La idea de la economía circular no es nueva, ya que se remonta al siglo XIX y ha sido promovida por teóricos y escuelas de pensamiento desde la década de 1970 [13]. Sin embargo, en los últimos años ha adquirido mayor relevancia debido a la necesidad de abordar los problemas medioambientales y encontrar soluciones sostenibles.

Este enfoque se considera beneficioso para el medio ambiente y la lucha contra el cambio climático. Al cambiar la forma en que producimos y utilizamos materiales como acero, cemento, aluminio y plástico, la aplicación de la economía circular puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de estas industrias hasta en un 40% para 2050 [14].

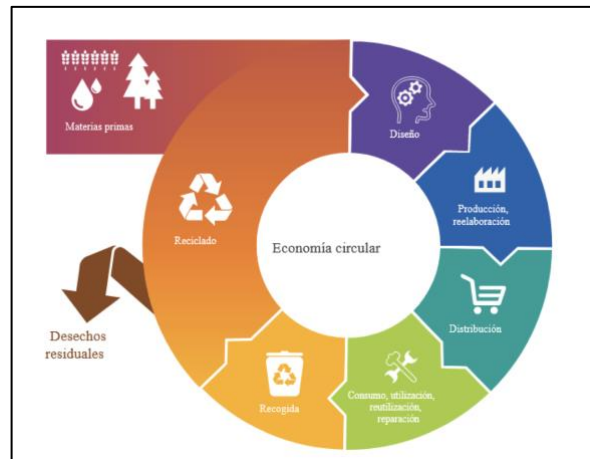
En los últimos años, la economía circular ha ganado cada vez más atención y se presenta como una alternativa al actual modelo de producción y consumo, con el potencial de abordar los desafíos medioambientales al mismo tiempo que genera oportunidades de negocio y crecimiento económico.

La transición hacia una economía circular se considera inevitable debido a los importantes desafíos a los que responde, así como a los potenciales beneficios económicos, medioambientales y sociales que promete generar mediante la adopción de modelos de producción y consumo más sostenibles [15]. En línea con el objetivo de lograr la neutralidad climática para 2050, la Comisión Europea ha propuesto medidas para acelerar esta transición, como se recoge en el Plan de Acción de Economía Circular [16].

Esta creciente atención hacia la economía circular también ha llevado a un aumento en la demanda de perfiles cualificados y técnicos relacionados con esta área, lo que representa una oportunidad tanto para el empleo como para el desarrollo de habilidades especializadas [17].

Esto se logra a través de procesos de recuperación, reciclaje o valorización energética, reconociendo que los residuos pueden tener un valor potencial y deben ser gestionados de manera responsable y sostenible [18].

La economía circular se fundamenta en la optimización y aprovechamiento máximo de los recursos disponibles, buscando transformar los residuos en recursos y reducir su impacto ambiental. [19]. Para ilustrar este concepto, se presenta a continuación un diagrama que representa de manera esquemática el flujo de materiales en una economía circular.



**Figura 4:** Representación esquemática del flujo de materiales en un contexto de economía circular. (Fuente: Guillot, J.D, Economía, Editor. 2015: Parlamento Europeo.)

La propuesta se fundamenta en tres principios clave, los cuales buscan hacer frente a los desafíos que enfrentan las economías industriales en relación con los recursos y el sistema en general [20].

Principio 1. Preservar y mejorar el capital natural a partir del control de los recursos finitos y el equilibrio de los flujos de los recursos renovables.

Principio 2: Optimizar el uso de los recursos a través de la rotación de productos, componente y materiales con el fin de aprovechar su máxima utilidad tanto en los ciclos técnicos como en los ciclos biológicos. Esto implica que se debe diseñar de modo que el proceso de producción, reparación y reciclaje puede repetirse, y de esta manera permitir que los materiales recirculen, incrementando significativamente su vida útil. Este modelo maximiza el uso y recupera los materiales para darles aplicaciones diferentes.

Principio 3. Fomentar la eficacia del sistema revelando y eliminando externalidades negativas. Esto supone reducir los daños producto de la actividad humana tales como la movilidad, la vivienda, la educación, la salud, entre otros y solventar las externalidades como la contaminación atmosférica y del agua, la emisión de sustancias tóxicas, el cambio climático entre otras.

En conjunto, estos principios de la economía circular buscan transformar el actual modelo de producción y consumo lineal hacia uno más circular y sostenible. Al aplicar estos principios, se busca conservar los recursos naturales, minimizar el desperdicio y reducir el impacto ambiental, promoviendo así un desarrollo más equitativo y resiliente.

Resulta innegable conocer que el reciclaje de residuos textiles constituye un elemento fundamental para avanzar hacia la implementación de la economía circular en el sector textil. La necesidad de reciclar los desechos de tela surge principalmente por la búsqueda de recuperación de recursos y la preocupación acerca del impacto ambiental negativo asociado a su eliminación y disposición. En el próximo apartado, se analizará con mayor detalle esta cuestión, exponiendo las implicaciones y desafíos relacionados con el reciclaje de residuos textiles.

### **1.3 Revalorización de residuos para su uso en la industria textil**

La revalorización de residuos puede abordarse desde diferentes enfoques, incluido el sector textil. Esta revalorización se presenta como una alternativa interesante en la búsqueda de soluciones sostenibles para esta industria, que históricamente ha estado asociada a una alta generación de residuos y consumo de recursos naturales. El reciclaje de tejidos y prendas puede realizarse a través de procesos mecánicos o químicos, y permite recuperar las fibras textiles para su posterior uso en la producción de nuevos tejidos y prendas.

En la industria textil, se pueden implementar diversas estrategias de revalorización de residuos. Por ejemplo, el reciclaje textil es una práctica común que permite dar una segunda vida a prendas y textiles usados. Estos materiales se recogen, clasifican y procesan para convertirlos en nuevos productos textiles o materiales de relleno. Esto no solo reduce la cantidad de residuos enviados a vertederos, sino que también contribuye a la conservación de recursos naturales y a la reducción de emisiones asociadas a la producción de textiles nuevos [20]. Estas prácticas promueven la economía circular al prolongar la vida útil de los productos textiles y reducir la demanda de nuevos materiales.

También puede ser una oportunidad prometedora para la innovación y el desarrollo de nuevos materiales y productos, y algunos investigadores ya están explorando esta posibilidad. Por ejemplo, se ha investigado el uso de residuos textiles en la producción de materiales compuestos, como los paneles de fibra de madera [21]. En la actualidad, la producción textil y los residuos generados por esta industria tienen un impacto significativo en el medio ambiente.

En este contexto, la reutilización y el reciclaje de los residuos textiles se presentan como soluciones sostenibles. La economía circular y la gestión adecuada de los residuos en el sector de la moda son conceptos clave para reducir el impacto ambiental de la industria textil. Actualmente, se basa en un modelo de sobreproducción, donde la ropa no vendida, los



excedentes y los productos descartados se convierten en residuos que generalmente se eliminan mediante la incineración o se envían a vertederos [22].

Es importante destacar que, si bien la revalorización de los residuos textiles ofrece oportunidades para la innovación y el desarrollo de nuevos materiales, existen límites en cuanto a la calidad y el rendimiento de los productos textiles reciclados. Triturar las fibras de los textiles para su reutilización implica una disminución en su longitud y propiedades mecánicas, lo que puede afectar la calidad de los materiales resultantes.

Por ello, se han realizado diversos estudios para evaluar la calidad de las fibras textiles recicladas y los productos fabricados a partir de ellas. Algunos de estos estudios han explorado diferentes métodos de reciclaje y la incorporación de aditivos o agentes de acoplamiento para mejorar las propiedades de los materiales reciclados [23]. Sin embargo, aún enfrentamos desafíos relacionados con la reducción de la longitud de las fibras durante el proceso de reciclaje, por lo que es necesario encontrar soluciones que mejoren la calidad de los productos textiles reciclados. Además, en el sector de la moda y la industria textil, se están llevando a cabo esfuerzos para reducir el desperdicio de textiles. Empresas como Renewcell en Suecia están implementando tecnologías de reciclaje químico a escala comercial, lo que les permite mejorar la calidad y aumentar la producción de fibras recicladas. Estos avances son fundamentales para impulsar la sostenibilidad en la industria de la moda y aumentar la cantidad de prendas recicladas que se convierten en nuevos productos textiles [24].

Sin embargo, el residuo textil se ha convertido en uno de los mayores desafíos medioambientales de nuestro tiempo. Se ha posicionado como el segundo contaminante más importante a nivel mundial. Esta problemática tiene un impacto significativo en los vertederos de España y el resto de Europa, generando graves consecuencias ambientales. En España, se estima que se producen alrededor de 1.000.000 toneladas de residuos textiles al año, lo que representa aproximadamente el 10% - 14% de la composición total de la basura doméstica. Esta cantidad es equivalente a la carga de 8 barcos mercantes que transportan toda la soja comercializada por Estados Unidos en un año [25].

Cabe recalcar que el actual sistema de producción, distribución y uso en la industria textil se caracteriza por ser un sistema lineal, en donde se demandan grandes cantidades de recursos no renovables para la elaboración de prendas que son cada día más solicitadas y menos utilizadas; un gran porcentaje de estas terminan desechadas en rellenos sanitarios o incineradas en tiempos mucho menores a los que se pensaba que era su vida útil.

El consumo mundial de fibra se encuentra encabezado por el poliéster, seguido de cerca por el algodón. Según informes de 2017, se estima que el algodón representa alrededor del 24,1 % del total de fibras consumidas a nivel global (Lenzing, 2017). Aunque el algodón ofrece ventajas como ser una fibra natural, su producción conlleva impactos ambientales significativos en términos de consumo de agua, uso de tierras, emisiones y empleo de pesticidas. Es fundamental abordar estos problemas y encontrar soluciones innovadoras que permitan mejorar la sostenibilidad y reducir el impacto ambiental de la producción de algodón [24].



**Figura 5:** El impacto medioambiental de la industria textil. (Fuente: <https://www.aeqct.org/news/el-impacto-de-la-produccion-textil-y-de-los-residuos-en-el-medio-ambiente-infografia/>.)

Fijándonos en la figura 5, el proceso de producción de un vaquero, desde el cultivo del algodón hasta la tintura y el lavado, puede requerir una gran cantidad de agua. Se estima que se utilizan alrededor de 8,000 litros de agua en total para producir un solo par de vaqueros. Este alto consumo de agua es preocupante debido a los impactos medioambientales y sociales asociados.

En conclusión, la reutilización de residuos textiles se presenta como una estrategia importante para reducir el impacto ambiental y mejorar la eficiencia en el uso de los recursos en la industria textil. Además, puede tener beneficios económicos y abrir oportunidades para la innovación y el desarrollo de nuevos materiales y productos.

#### 1.4 Uso de residuos como colorantes textiles

Como se acaba de explicar, la economía circular busca reintegrar los residuos en la cadena de producción, y en la industria textil esto se puede observar en diversas etapas. Uno de los aspectos más contaminantes en la industria textil se relaciona con los procesos de tintura. Para mitigar su impacto, se busca reintroducir materias primas en estos procesos, con el objetivo de

reducir los efectos tóxicos aditivos o sinérgicos que los efluentes generados pueden tener en la vida humana, animal y marina. Se ha comprobado científicamente que ciertos colorantes y solventes utilizados en la industria textil poseen propiedades mutagénicas y cancerígenas [26]. Si estos efluentes no se gestionan adecuadamente, pueden dar lugar a la liberación de sustancias tóxicas y contaminantes, con el consiguiente riesgo de afectar negativamente al medio ambiente y a la salud humana.

En relación con los colorantes, es cierto que algunos de ellos pueden contener elementos tóxicos y metales pesados no biodegradables, como el cloro, el cromo (Cr), el plomo (Pb), el mercurio (Hg), el arsénico (As) y el cadmio (Cd). Estas sustancias pueden tener efectos perjudiciales en el medio ambiente y potencialmente causar mutaciones en el ADN [27]. Además, la coloración provocada por los colorantes en el agua puede afectar la penetración de la luz necesaria para la fotosíntesis, el crecimiento de las plantas y la biota acuática a través de la superficie del agua.

Es importante tener en cuenta que la industria textil puede tener un impacto significativo en el medio ambiente, especialmente en términos de generación de efluentes tóxicos si no se gestionan adecuadamente [28]. En este sentido, la reutilización y recuperación de colorantes dispersos utilizados en el teñido de fibras de poliéster se ha convertido en un tema de estudio relevante en el ámbito textil.

Se han realizado investigaciones que han logrado separar los colorantes del medio acuoso mediante el uso de un bioadsorbente natural como la cáscara de naranja. Este bioadsorbente actúa como un material de absorción, capturando una pequeña parte del colorante presente en los baños de tintura y formando un sistema bioadsorbido. Al mismo tiempo, se obtiene un precipitado que contiene la mayor parte del colorante y los restos del bioadsorbente inicial.

La utilización de bioadsorbentes naturales para separar los colorantes de los efluentes acuosos representa un enfoque prometedor para abordar los problemas relacionados con los residuos de tintura y la contaminación ambiental. Un estudio específico investigó el uso de un bioadsorbente a base de cáscara de naranja para eliminar el colorante disperso C.I. Disperse Blue 56 de los efluentes de la industria textil [29]. Los resultados demostraron la viabilidad de utilizar la cáscara de naranja como un adsorbente sostenible para eliminar el colorante disperso presente en las aguas residuales de la industria textil. Se observó un fenómeno de coagulación-floculación espontánea del colorante disperso a valores de pH bajos, lo que representa una forma sostenible de recuperar y posiblemente reutilizar el colorante, además de valorizar un producto de desecho como la cáscara de naranja en la industria. Además, en el marco de la

búsqueda de alternativas más sostenibles en la industria textil se ha puesto en marcha el proyecto titulado "Demonstration of new natural dyes from algae as substitution of synthetic dyes actually used by textile industries". Su objetivo principal es investigar, validar y demostrar los procesos necesarios para obtener colorantes naturales a partir de una fuente sostenible y renovable, específicamente las algas (microalgas, macroalgas y cianobacterias).

La implementación de estos nuevos colorantes naturales representa una oportunidad para reducir la contaminación asociada con la producción de colorantes sintéticos. Asimismo, la obtención de colorantes a partir de las algas no requiere tierras de cultivo, lo que contribuye a una mayor sostenibilidad. Mediante el control de las condiciones de crecimiento de las algas, como la temperatura, la luz y los nutrientes, también es posible aumentar su rendimiento y reducir la emisión de CO<sub>2</sub>. En este proyecto se investigarán diversas especies y cepas de algas para obtener los pigmentos necesarios, los cuales serán posteriormente aplicados en pruebas de tintura sobre tejidos naturales de algodón y lana.

Es importante resaltar que los colorantes dispersos desempeñan un papel fundamental en la industria textil para el teñido de fibras de poliéster, uno de los materiales más empleados a nivel global, como se mencionó previamente. En este contexto, la búsqueda de métodos que permitan recuperar y reutilizar estos colorantes tiene como propósito principal disminuir el impacto ambiental asociado a su utilización y reducir la generación de residuos en la producción textil.

Para teñir este tipo de fibras, generalmente se empleaban procesos de tintura en lotes a altas temperaturas. Anteriormente, se utilizaban condiciones atmosféricas y se requería el uso de sustancias portadoras. Sin embargo, estas sustancias son perjudiciales para el medio ambiente, por lo que actualmente se evita teñir a temperaturas inferiores a 100 °C [30].

Uno de los métodos utilizados actualmente es el teñido asistido por ultrasonidos. Este método mejora la penetración del colorante en los poros de las fibras, aumentando la intensidad y solidez del color. El teñido por ultrasonidos es un proceso rápido que se realiza en condiciones suaves y a bajas temperaturas, sin dañar la estructura de las fibras. Presenta ventajas como una mejor penetración del tinte, mayor intensidad cromática, mayor resistencia al lavado y al roce, y menor impacto ambiental. Además, es compatible con diversos tejidos, como lana, seda y poliamida.

En definitiva, la contaminación relacionada con los productos químicos utilizados en el proceso de teñido de materiales textiles se debe tanto a los colorantes en sí, como a los aditivos presentes

en los tintes, así como a los productos químicos básicos utilizados durante el proceso y a los contaminantes presentes en la fibra debido a etapas anteriores [31].

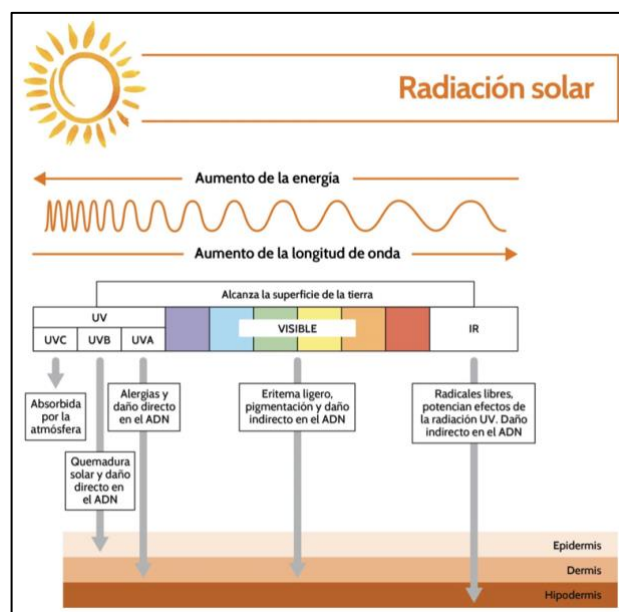
### **1.5 Capacidad de protección UV en textiles**

El Sol, nuestra estrella más próxima a la Tierra, desempeña un papel fundamental en el desarrollo de las formas de vida, el clima y los fenómenos meteorológicos al ser la principal fuente de energía. La radiación solar que emite, en forma de luz, abarca un amplio espectro y se puede clasificar en tres tipos distintos.

La radiación infrarroja constituye aproximadamente el 56% de las radiaciones solares que esta radiación tiene la capacidad de penetrar en las capas más profundas de la piel, incluso hasta la hipodermis, y puede causar daños oxidativos al generar radicales libres. Además, la radiación infrarroja puede alterar indirectamente el ADN y potenciar los efectos nocivos de la radiación ultravioleta (UV) con una longitud de onda de 780 a 3000 nm.

El 39% es luz visible (VIS) con una longitud de onda de 400 a 780 nm, y el 5% es radiación ultravioleta (UV) con una longitud de onda de 200 a 400 nm. La radiación ultravioleta se divide en varias regiones, siendo las más relevantes UVC, la cual es completamente absorbida por el oxígeno y el ozono de la atmósfera, por lo que no llega a la superficie terrestre (200-280 nm), UVB es parcialmente absorbida por la capa de ozono, llegando a la superficie terrestre un 5% de la radiación emitida por el sol (280-315 nm) y UVA es muy poco absorbida por la capa de ozono, llegando a la superficie terrestre hasta un 95% de la radiación emitida por el sol (315-400 nm) [32].

La figura 6 representa gráficamente la radiación solar, la cual se divide en dos categorías principales: el aumento de energía y el aumento de la longitud de onda. Al analizar detalladamente la figura, se puede apreciar como varía en relación con estos dos aspectos, lo cual desempeña un papel fundamental en el estudio y comprensión de la radiación solar, así como en su interacción con la materia y el entorno.



**Figura 6:** Radiación solar. (Fuente: <https://www.stangest.com/curiosidades/la-radiacion-solar-diferentes-tipos-de-rayos/9>)

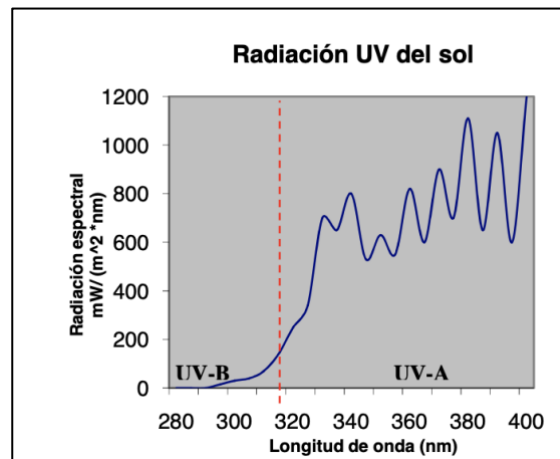
La evidencia científica confirma que la intensidad de la radiación ultravioleta que alcanza la superficie terrestre es considerablemente mayor en comparación con años pasados [33]. Esto implica que, durante el mismo tiempo de exposición solar, nuestra piel recibe una cantidad significativamente mayor de radiación.

En este sentido, la protección solar de una prenda de vestir con un factor de protección solar (SPF) de 30 es relevante. Esta medida permite a una persona soportar la misma cantidad de radiación solar durante aproximadamente 6 horas antes de experimentar el mismo grado de quemadura en la piel o recibir la misma dosis de rayos solares. Es importante tener en cuenta estos factores al considerar la protección solar y seleccionar prendas adecuadas que ayuden a mitigar los efectos dañinos de la radiación UV en nuestra piel.

El SPF es determinado mediante métodos "in vitro" en los cuales se utiliza la piel de personas analizadas para realizar pruebas de irradiación con una fuente de luz que tiene un espectro similar al del sol. Estos métodos permiten evaluar el nivel de protección que ofrece una prenda de vestir en términos de la cantidad de radiación ultravioleta que bloquea.

Al utilizar estos métodos de evaluación "in vitro", se puede determinar de manera precisa el SPF de una prenda y ofrecer información sobre su capacidad para proteger contra los rayos solares. Esto es importante para que las personas puedan tomar decisiones informadas al elegir su ropa y asegurarse de contar con una adecuada protección solar cuando se exponen al sol.

La figura 7 muestra claramente que los rayos UV-B son significativamente más perjudiciales que los rayos UV-A, con una diferencia de entre 1.000 y 10.000 veces en términos de su capacidad para causar daño. Esta disparidad resalta la importancia de protegerse adecuadamente contra los rayos UV-B, ya que son los principales responsables de los efectos nocivos en la piel, como quemaduras solares y aumento del riesgo de cáncer de piel. Es fundamental tomar medidas de protección, como el uso de protector solar de amplio espectro que bloquee tanto los rayos UV-A como UV-B, así como el uso de prendas de vestir con protección solar y buscar sombra durante las horas de mayor intensidad solar [34].



*Figura 7: Radiación espectral del sol en el sector UV.*

La certificación UV STANDARD 801 se basa en el estándar más estricto para la certificación UV textil. Establecimos esta etiqueta para identificar los mejores productos de protección UV.



*Figura 8: Certificación UV STANDARD 801.*

Los textiles, especialmente con diseños y materiales optimizados, pueden alcanzar el UPF más alto, mejor que las cremas solares con SPF más alto.

**Tabla 1:** Dependiendo el diseño hay diferentes UPF.

(Fuente: <https://www.hohenstein.lat/es/pruebas-textiles/salud/proteccion-uv.>)

<b>Medida Protectora</b>	<b>UPF</b> (de acuerdo a UV STANDARD 801)
Crema solar (SPF)	approx. 1 - 50
Ropa de algodón liviano en colores claros (e.g. white)	approx. 2 - 10
Ropa de algodón denso en colores medio a oscuro	approx. 20 - 40
Ropa especial con Protección UV	approx. 40 - 80
Sombra bajo un árbol	approx. 5 - 15
Sombra bajo una sombrilla	approx. 15 - 80

En este sentido, el uso de prendas textiles diseñadas específicamente para ofrecer protección UV se ha convertido en una línea de investigación importante. Estos textiles pueden lograr altos niveles de factor de protección ultravioleta (UPF), llegando incluso hasta UPF 80. Esto significa que el usuario está protegido hasta 80 veces más que si no utilizara ninguna protección. Estos avances en la protección UV de los sustratos textiles son prometedores, ya que permiten a las personas disfrutar de actividades al aire libre sin comprometer su salud. Además, la investigación continua en este campo busca mejorar aún más las propiedades de protección de los textiles, brindando soluciones cada vez más eficientes y efectivas.

En estos tres estudios, se exploraron diferentes enfoques para mejorar las propiedades de protección UV y coloración de telas utilizando tintes naturales y disolventes ecológicos.

En el primer estudio, se investigó el uso de extracto de cáscara de granada como tinte natural en telas de algodón. El extracto mostró propiedades antioxidantes y altos niveles de compuestos beneficiosos. Las telas teñidas proporcionaron una protección moderada a alta contra los rayos UV, con valores de UPF entre 15 y 24. Aunque se evaluó la adición de óxido de zinc, no se observó una mejora significativa en la protección solar [35].

En el segundo estudio, se examinó el uso de extracto de polvo seco de hoja de papaya como tinte natural en tejidos proteicos. Se comparó con sales metálicas y extractos de taninos como mordientes. Los biomordientes mostraron resultados similares a los mordientes metálicos en términos de resistencia al color y solidez en el teñido de lana. Las telas teñidas presentaron una mejora significativa en la protección UV, especialmente en la lana, y también demostraron



propiedades antimicrobianas. Estos hallazgos respaldan el uso de extracto de papaya como una alternativa prometedora en la producción de textiles médicos [36].

En el tercer estudio, se utilizaron disolventes ecológicos para extraer colorantes naturales de cinco plantas. Se evaluaron las propiedades de color y protección UV de telas de algodón y seda teñidas con estos colorantes, utilizando mordientes naturales y de metal. Se encontró que ciertas plantas tenían un alto contenido de fenoles, lo que las hacía eficaces para la coloración. El tratamiento con tintes naturales después del mordiente mejoró la protección UV, especialmente en el algodón teñido con tintes extraídos en agua desionizada. En general, el pre-teñido con mordiente natural y el uso de disolventes ecológicos mejoraron significativamente las propiedades de color y protección UV de las telas [37].

Estas investigaciones demuestran la viabilidad y los beneficios de utilizar tintes naturales y disolventes ecológicos en la producción de textiles con propiedades de protección UV y coloración mejoradas. Proporcionan orientación valiosa para la industria textil en su búsqueda de métodos más sostenibles y naturales.

### **1.6 Aplicaciones que aporten protección UV sin dotar de color el textil**

Tal y como se ha comentado en el apartado anterior y según diversos trabajos reportados, algunos de los colorantes naturales obtenidos a partir de residuos orgánicos, son capaces de aportar además de color al textil, una protección UV aceptable. Partiendo de esta premisa, el presente trabajo se centra en la obtención de un tratamiento que aumente la protección UV del textil, sin que éste modifique significativamente el color inicial.

Con el fin de abordar este tema, se encontraron investigaciones exhaustivas sobre la protección UV en telas de fibras vegetales, centrándose en los parámetros de construcción de la tela, el tipo de tinte utilizado y el efecto de un mordiente a base de taninos en la protección UV. Los resultados obtenidos revelan información valiosa sobre la capacidad de protección UV de diferentes tipos de telas. Se encontró que las telas densas y gruesas fabricadas con fibras vegetales ofrecen una buena protección UV, incluso sin teñir. Esto destaca la importancia crucial de la construcción de la tela para bloquear eficazmente la radiación UV. Además, se enfatiza la relevancia de utilizar telas sin teñir como una estrategia efectiva para aumentar la protección UV [38].

Los textiles tienen propiedades físicas que les permiten actuar como barrera contra la radiación solar, lo que influye en el Factor de Protección UV final (UVPF). Para mejorar la protección

UV, se utilizan agentes fotoprotectores incorporados a los textiles en forma de partículas o películas. Estos agentes pueden ser inorgánicos, como el óxido de cobre, óxido de zinc y dióxido de titanio, o incluso orgánicos, como los compuestos fenólicos presentes en los extractos de plantas.

El óxido de zinc (ZnO), como un ejemplo de agente fotoprotector, es un semiconductor intrínseco con propiedades ácidas y básicas, y se presenta como un polvo blanco fino. La eficiencia de protección UV de las partículas de ZnO depende de factores como el tamaño de partícula, el método de aplicación y la concentración. Las aplicaciones que utilizan suspensiones de ZnO han demostrado excelentes propiedades de protección UV [35]. Además de su capacidad para proteger contra la radiación UV, el ZnO también se ha utilizado en la industria textil para aplicaciones antibacterianas, ignífugas, de estabilidad térmica, conductividad eléctrica e hidrofobicidad. Esto muestra que el ZnO tiene diversas propiedades beneficiosas que se aprovechan en la industria textil.

En el contexto de la protección ultravioleta, es importante considerar que no siempre se requiere una protección altísima en todas las situaciones. En algunos casos, puede ser necesario permitir que cierta cantidad de radiación ultravioleta pase a través de determinadas estructuras. Estas aplicaciones particulares pueden tener sus propias necesidades y requisitos específicos.

Por ejemplo, en el caso de un toldo instalado sobre un área con plantas, es posible que se desee permitir que una cantidad controlada de radiación ultravioleta llegue hasta las plantas para facilitar su proceso de fotosíntesis. La exposición moderada a la radiación UV puede ser beneficiosa para el crecimiento saludable de las plantas.

En el contexto de un solarium de un hotel, donde las personas buscan tomar el sol y obtener un bronceado, puede ser deseable permitir cierta penetración de la radiación ultravioleta. Si bien la protección contra la radiación UV sigue siendo importante para prevenir daños a largo plazo en la piel, en estos casos puede ser necesario encontrar un equilibrio entre la protección solar y la obtención de una cantidad adecuada de radiación para lograr el bronceado deseado.

Esta estrategia se considera óptima para el proyecto de ofrecer sombrillas con factor de protección UV, ya que no solo se busca vender una sombrilla tradicional o que cumpla solo la función de proteger a las personas de la lluvia. El objetivo principal es proveer a los usuarios una protección contra los rayos UV, fabricadas con materiales que bloquean los rayos UV y proporcionan sombra adicional [39].

En la mayoría de los casos, las camisetas de protección ultravioleta disponibles en el mercado están fabricadas con fibras sintéticas o tienen aditivos químicos. En algunos estudios, se ha observado que las camisetas livianas y blancas tienen una protección ultravioleta muy baja, incluso cercana a cero. Sin embargo, al aplicar tratamientos y aditivos, se puede aumentar la protección ultravioleta, aunque esto suele resultar en una ligera coloración de la prenda.

Una forma innovadora de enfrentar este desafío es buscar proporcionar soluciones que permitan obtener una protección solar efectiva sin comprometer el aspecto estético de las prendas. Una opción innovadora es buscar alternativas naturales para lograr propiedades de protección ultravioleta.

Una de estas alternativas es el uso de polifenoles, compuestos naturales presentes en diversas fuentes vegetales, como frutas, verduras y plantas. Los polifenoles han demostrado tener propiedades antioxidantes y fotoprotectoras, lo que los convierte en candidatos prometedores para brindar protección solar. Al utilizar estos aportes de polifenoles en la fabricación de tejidos o en el tratamiento de prendas textiles, se puede obtener una protección ultravioleta efectiva de manera natural.

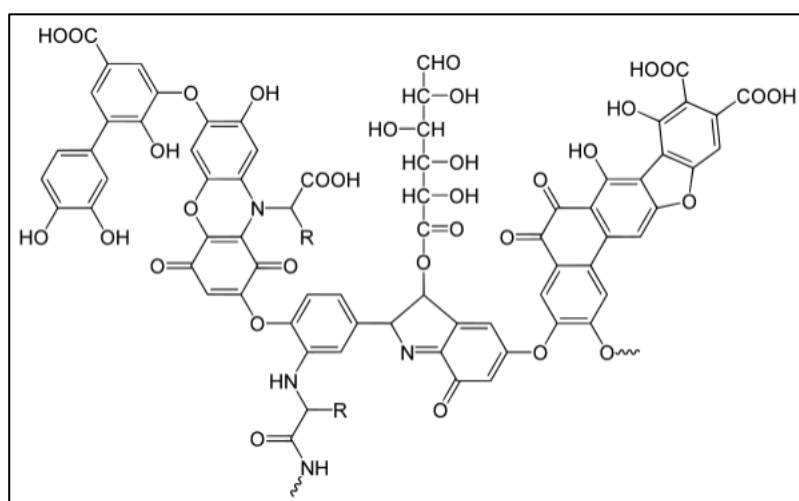
Otra opción es la reutilización de residuos para obtener propiedades de protección solar. Algunos materiales de desecho, como residuos de café, contienen compuestos que pueden actuar como protectores solares naturales. Al extraer y aplicar estos compuestos en los textiles, se puede lograr una protección solar sin necesidad de recurrir a productos químicos sintéticos.

El objetivo es encontrar una solución que cumpla con los estándares de protección ultravioleta establecidos, al tiempo que se minimiza la coloración o el aspecto no deseado en las prendas. Esto permitiría a las personas disfrutar de la misma protección solar efectiva con prendas ligeras y de colores claros, en lugar de depender de prendas más pesadas y térmicas que suelen ser incómodas en entornos cálidos.

Sustancias tipo húmicas extraídas de residuos del café. Las sustancias húmicas son ampliamente distribuidas en la naturaleza y se consideran los materiales orgánicos más comunes. Estas sustancias están compuestas por moléculas de alto peso molecular que adquieren colores característicos. Se forman a través de procesos bioquímicos a partir de residuos de origen vegetal o animal y se destacan por su resistencia a la degradación microbiológica o química. Su estructura está compuesta principalmente por compuestos aromáticos de carácter fenólico.

En cuanto a su composición química, las sustancias húmicas contienen aproximadamente un 50% de carbono, entre un 35-45% de oxígeno, alrededor de un 5% de hidrógeno y un 3% de nitrógeno y azufre. Estos elementos constituyen los bloques fundamentales de estas macromoléculas orgánicas complejas [40].

Las propiedades de las sustancias húmicas pueden atribuirse a diversas características, como el peso molecular, el tipo y número de grupos funcionales, y el grado de condensación. Estas sustancias se pueden clasificar en tres grupos en función de su solubilidad.



*Figura 9: Estructura modelo de los ácidos húmicos.*

Los ácidos húmicos son de color pardo oscuro y contienen diversos grupos funcionales. Son solubles en medio alcalino, pero precipitan al acidificar la solución. Constituyen la fracción más grande y extraíble de las sustancias húmicas. Por otro lado, los ácidos fúlvicos tienen un color marrón amarillento. Son solubles tanto en medio alcalino como ácido. Poseen un peso molecular menor en comparación con los ácidos húmicos y contienen una mayor proporción de cadenas alifáticas. Además, son más ricos en grupos fenólicos, hidroxílicos, carboxílicos y cetónicos.). Por último, las huminas son de color negro y no son solubles en medio alcalino.

Es interesante destacar el potencial de las sustancias tipo húmicas presentes en los residuos del café. Estos residuos pueden ser aprovechados como una alternativa más sostenible y respetuosa con el medio ambiente para teñir telas y fibras. A diferencia de los colorantes textiles convencionales, que suelen contener compuestos químicos dañinos y generar altos niveles de residuos y contaminación, el uso de sustancias tipo húmicas extraídas de residuos del café ayuda a reducir el impacto ambiental asociado a la producción textil.

Además, las sustancias húmicas presentes en los residuos del café desempeñan un papel crucial en el crecimiento de los cultivos, tanto de forma directa como indirecta. En términos indirectos, mejoran la fertilidad del suelo y sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Esto proporciona un ambiente propicio para el desarrollo de las plantas. En términos directos, las sustancias húmicas son absorbidas por las plantas, lo que provoca cambios en su metabolismo y les permite tolerar mejor el estrés ambiental, mejorando así la producción y la calidad de las cosechas. Además, estas sustancias promueven la actividad microbiana en el suelo, lo que beneficia el desarrollo de las raíces y, en consecuencia, el crecimiento de las plantas. También contribuyen a la retención de humedad, el intercambio de nutrientes, la disponibilidad de micronutrientes y la degradación de sustancias tóxicas, entre otros beneficios para el suelo y los cultivos.

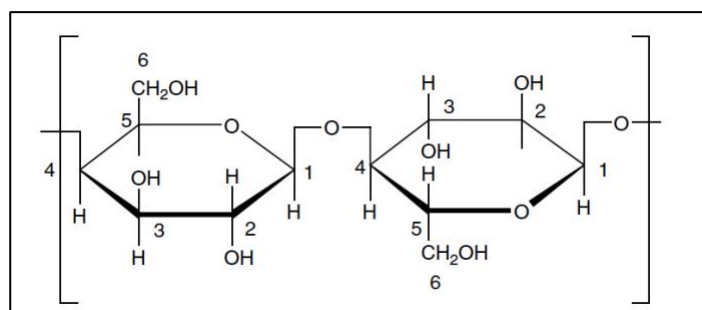
Hasta el momento, los residuos del café han encontrado diversas aplicaciones, pero dado su contenido de sustancias húmicas y su capacidad de absorber la radiación ultravioleta, se ha explorado su potencial como colorantes naturales en la industria textil. Esta iniciativa ha demostrado ser exitosa en términos de sostenibilidad, al aprovechar los residuos del café, y en la obtención de tonalidades con poco color. Además, contribuye a la valorización de los residuos al darles un nuevo propósito. Esta aplicación es un claro ejemplo de cómo la innovación y la conciencia ambiental pueden converger para promover prácticas más responsables y avanzar hacia un futuro más sostenible en la industria textil.

## 1.7 Procesos de tintura

La celulosa es el polímero más abundante en el mundo. Se encuentra en estado relativamente puro en materiales como los pelos de las semillas de algodón, pero en la mayoría de las plantas leñosas está combinada con lignina y otros polisacáridos, conocidos como "hemicelulosas", en la pared celular [41]. El algodón es una fibra altamente pura de celulosa, el polímero más abundante en la naturaleza. La celulosa constituye aproximadamente el 90% de las fibras de algodón, mientras que los componentes no celulósicos se encuentran en las capas externas o en los lúmenes de las fibras. La celulosa en el algodón tiene un alto peso molecular y una estructura ordenada, lo que le da características cristalinas, orientación y brillo distintivos.

La calidad del algodón empacado depende de factores como la variedad de algodón, las condiciones climáticas, el grado de secado, las prácticas agrícolas y de recolección, el contenido de humedad y residuos, y los procesos de desmotado [42].

La estructura de la celulosa es única y desempeña un papel complejo en las reacciones químicas y propiedades macroscópicas de este polímero. Se trata de un 1,4- $\beta$ -D-glucano, un polímero compuesto por unidades de  $\beta$ -D-glucopiranosas unidas mediante enlaces 1,4-glicosídicos. La restricción en la rotación de la cadena larga sobre el enlace C-O-C de la anhidroglucopiranososa confiere a la celulosa una estructura rígida y altamente cristalina. La presencia de múltiples grupos hidroxilo, incluyendo uno primario en el carbono 6 y dos secundarios en los carbonos 2 y 3 de cada unidad de anhidroglucosa, permite la formación de enlaces de hidrógeno tanto dentro de la molécula como entre moléculas, lo que contribuye a la resistencia estructural de la celulosa. Estos grupos hidroxilo también juegan un papel importante en la reactividad química de las fibras de celulosa, como en procesos de modificación química, teñido y acabado [42].



*Figura 10: Estructura química de la celulosa.*

Sobre colorantes naturales en textiles, es importante destacar las características particulares de estos materiales colorantes derivados de fuentes naturales como plantas, animales y minerales.

A diferencia de los colorantes sintéticos, los colorantes naturales no son sustantivos en su mayoría, lo que significa que no se adhieren fácilmente a las fibras textiles por sí mismos. Para lograr una coloración exitosa, es esencial comprender la interacción entre el colorante y la fibra textil.

Por lo tanto, en su aplicación en textiles, se hace necesario el uso de mordientes. Se trata de unas sustancias que poseen afinidad tanto por el colorante natural como por la fibra del textil, y actúa como un puente entre ambos, facilitando la fijación del colorante al sustrato textil. El mordiente crea enlaces iónicos o atracciones electrostáticas entre los grupos mordentables presentes en el colorante y la fibra del textil. Esta interacción entre los iones del mordiente y los grupos mordentables del colorante da lugar a la formación de un precipitado insoluble, lo cual asegura una adecuada fijación del colorante y del mordiente al tejido.

Por un lado, el algodón tiene la capacidad de absorber y retener humedad, lo cual facilita la penetración del baño de tintura y la coloración. Por otro lado, la afinidad entre el colorante y la fibra de algodón se suma a la carga del colorante, lo que aumenta la fuerza de atracción entre ambos.

## 2. OBJETIVOS

El objetivo general del proyecto es producir tejidos a partir de extractos de residuos orgánicos que presenten poca coloración, pero presenten cierta protección a los rayos UV. Para lograr este objetivo, se establecen objetivos específicos que abordan diferentes elementos clave del proceso, tales como:

- Se pretende optimizar los parámetros de tintura mediante un diseño experimental utilizando matrices Doehlert. Investigaremos los efectos del pH, la temperatura y la concentración de ácidos húmicos en los tejidos para obtener propiedades especiales. Evaluaremos la calidad de los resultados en función de las características especiales logradas en los tejidos.
- Una vez que hayamos alcanzado el punto óptimo en el proceso de laboratorio, exploraremos la posibilidad de escalar los procesos desarrollados a nivel industrial. Compararemos nuestro enfoque con un proceso que ofrece las mismas prestaciones que hemos logrado obtener en nuestro estudio.
- Por último, llevaremos a cabo un análisis económico comparativo entre nuestro enfoque propuesto y una alternativa para evaluar su viabilidad y rentabilidad

Estos objetivos específicos ayudarán a abordar diferentes aspectos del proyecto y lograr el objetivo general de utilizar extractos de residuos orgánicos para producir tejidos con propiedades especiales.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son un conjunto de metas a alcanzar para el 2030, y este proyecto ayuda a lograr algunas de ellas.

El ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) impulsa la innovación en el sector textil para crear tejidos resistentes a los rayos UV y con menos colorantes, buscando reducir el impacto ambiental de la industria. Promueve la adopción de tecnologías más limpias, el uso eficiente de recursos y la implementación de prácticas de reciclaje. La integración de estos tejidos no solo protege la salud y el medio ambiente, sino que también genera oportunidades comerciales y promueve la demanda de productos textiles sostenibles. El ODS 9 desempeña un papel fundamental al orientar hacia un futuro más responsable y sostenible en el sector textil.

La implementación del ODS 12 (Consumo y producción responsables) en la industria textil implica fomentar prácticas más sostenibles tanto en la producción como en el consumo de textiles. Esto implica adoptar enfoques que reduzcan el impacto ambiental y promuevan la



eficiencia en el uso de los recursos. Al alentar a la industria textil a adoptar prácticas de producción responsables, como el uso de materiales sostenibles, la reducción de residuos y la implementación de prácticas de reciclaje, se puede avanzar hacia una economía circular en el sector.

Por otro lado, el ODS 13 (Acción climática) también está relacionado con la protección UV de los textiles. Al desarrollar tejidos resistentes a los rayos UV, se pueden evitar los daños causados por la radiación solar y, al mismo tiempo, reducir la necesidad de utilizar productos químicos peligrosos en los procesos de teñido y acabado de los textiles. Esto contribuye a la mitigación del cambio climático, ya que se reduce la liberación de sustancias dañinas al medio ambiente y se disminuye la huella de carbono asociada con la producción de textiles.

El proyecto también está estrechamente relacionado con el ODS 8 (Trabajo decente y crecimiento económico). Al generar oportunidades de empleo en la industria textil, especialmente en el desarrollo y aplicación de nuevos procesos y tecnologías más sostenibles, se promueve el crecimiento económico y se contribuye a la generación de empleo digno. Esto no solo implica la creación de puestos de trabajo, sino también la mejora de las condiciones laborales y la promoción de la igualdad de oportunidades en el sector textil.

Además, el proyecto se alinea con el ODS 14 (Vida submarina). Al reducir el uso de colorantes y productos químicos dañinos en el proceso de teñido de los textiles, se minimiza la contaminación de las aguas residuales generadas por la industria textil. Esto, a su vez, contribuye a la protección de la vida marina y los ecosistemas acuáticos. La reducción de la carga química en las aguas residuales textiles ayuda a preservar la calidad del agua y a mantener un equilibrio saludable en los ecosistemas acuáticos, lo que tiene un impacto positivo en la biodiversidad marina.

Asimismo, se vincula con el ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres). Al buscar alternativas sostenibles para la producción de tejidos y reducir la presión sobre los recursos naturales utilizados en la industria textil, como el algodón y otros materiales de origen vegetal, el proyecto contribuye a preservar los ecosistemas terrestres y la biodiversidad asociada.

Finalmente, el proyecto también se relaciona con el ODS 17 (Alianzas para lograr los objetivos). Al fomentar la colaboración entre diferentes actores, como empresas textiles, instituciones de investigación, organizaciones no gubernamentales y organismos

gubernamentales, se promueven prácticas sostenibles en la industria textil y se busca alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible de manera conjunta.

### 3. EXPERIMENTAL

#### 3.1 Materiales

Para la fabricación de tejidos con protección solar y baja coloración a partir de extractos de residuos orgánicos del café, se han empleado los siguientes materiales:

- Extractos orgánicos del café



*Figura 11: Extractos orgánicos del café.*

- Tejidos de algodón



*Figura 12: Tejidos de algodón.*

- Ácido acético



*Figura 13: CH<sub>3</sub>COOH.*

- Quitosano



*Figura 14: Quitosano.*

- Hidróxido de sodio (NaOH)



*Figura 15: NaOH.*

- Ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)



*Figura 16: H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.*

El equipo de investigación ha proporcionado los residuos orgánicos del café, los cuales fueron extraídos utilizando una digestión alcalina con hidróxido de potasio (KOH). Posteriormente, la mezcla se filtró y se sometió a un proceso de membranas de ultrafiltración utilizando

membranas cerámicas de diferentes tamaños de poro. El filtrado se realizó en orden descendente de tamaño de poro, utilizando el permeado de cada proceso como alimentación para el siguiente. Finalmente, los residuos se secaron, trituraron y almacenaron para su posterior uso.

El sustrato textil empleado ha sido un tejido de algodón 98 % y 2 % elastano, que presenta una estructura de calada de  $210 \text{ g/m}^2$  y blanqueado industrialmente.

Para la regulación del pH se han utilizado productos auxiliares. El ácido sulfúrico diluido para la obtención de pH ácido mientras que la sosa para pH alcalino.

El hidróxido de sodio con una pureza de 97 %. El ácido sulfúrico se adquirió con una pureza del 96%.

El agua utilizada en todas las etapas del experimento fue agua destilada y desionizada con una conductividad eléctrica inferior a  $0.2 \mu\text{S/cm}$ .

## 3.2 Equipos

En el marco de esta investigación, se emplearon diversos equipos tecnológicos con el fin de establecer las condiciones experimentales adecuadas y llevar a cabo el proceso de tintado de los tejidos. A continuación, se detallan los equipos utilizados y su función específica.

### 3.2.1 Sistema de purificación de agua Millipore Ibérica, S.A

El equipo de agua destilada de Millipore Ibérica, S.A. garantiza la pureza del agua en diversos entornos gracias a su avanzada tecnología de destilación. Con un rendimiento óptimo y fácil operación, este equipo cuenta con sistemas de filtración y control de calidad para eliminar impurezas y cumplir con los estándares exigentes. Además, destaca por su eficiencia energética y bajo consumo de agua, siendo una opción sostenible. Proporciona agua de alta pureza, protege equipos y cumple con las regulaciones específicas.



*Figura 17: Equipo de obtención del agua destilada.*

### 3.2.2 Balanza Analítica- Sartorius

La balanza analítica de Sartorius destaca por su precisión, confiabilidad y versatilidad en la medición de masa. Equipada con una pantalla digital clara y funciones de ajuste de unidades y tara, esta balanza ofrece una experiencia de uso simplificada. Su capacidad para medir con precisión pequeñas cantidades de masa la hace especialmente idónea para aplicaciones en entornos de laboratorio, como análisis químicos, investigaciones científicas y control de calidad.



*Figura 18: Balanza Analítica.*

### 3.2.3 Agitador magnético Multimatic 5-S

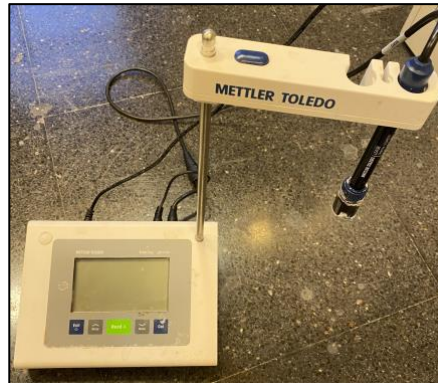
El agitador magnético Multimatic 5-S, desarrollado por Sartorius, es una herramienta altamente eficiente y versátil empleada en laboratorios y entornos científicos para lograr mezclas de líquidos precisas y homogéneas. A través de su tecnología de vanguardia, este agitador utiliza un campo magnético para inducir la rotación de una barra magnética sumergida en el líquido, asegurando una mezcla uniforme y completa. Además, el Multimatic 5-S ofrece una amplia variedad de velocidades de agitación, lo que le permite adaptarse a diferentes aplicaciones y tipos de líquidos. Su notable característica radica en la capacidad de emplear barras magnéticas de distintos tamaños, lo que lo convierte en un equipo altamente adaptable a diferentes volúmenes de muestra.



*Figura 19: Agitador magnético.*

### 3.2.4 pH-metro modelo Metter Toledo

El equipo pH es un dispositivo fundamental en la medición del nivel de acidez o alcalinidad de una solución. Su estructura incluye un electrodo de vidrio sensible al pH y un medidor que despliega el valor numérico correspondiente. Al sumergir el electrodo en la solución, se produce una señal eléctrica proporcional al grado de acidez o alcalinidad, la cual es convertida en una lectura de pH por el medidor.



*Figura 20: pH-metro.*

### 3.2.5 Foulard de impregnación

Un foulard de impregnación es un equipo utilizado en la industria textil para aplicar de forma uniforme sustancias líquidas, como tintes, productos químicos o acabados, sobre la superficie de los tejidos. Este dispositivo de impregnación emplea rodillos o cilindros para llevar a cabo la aplicación de la sustancia líquida sobre el tejido de manera controlada y precisa.



*Figura 21: Foulard de impregnación.*



### 3.2.6 Máquina Testtherm tipo 9S (Tacaltex, SA)

La máquina Testtherm tipo 9S (Tacaltex, SA) es un equipo utilizado en el ámbito textil para llevar a cabo pruebas de resistencia al calor y envejecimiento de materiales textiles. Esta máquina desempeña un papel fundamental en la evaluación y caracterización de los tejidos en relación con su comportamiento frente a condiciones térmicas extremas.

La función principal de la máquina Testtherm tipo 9S es someter las muestras textiles a temperaturas controladas y mantenerlas durante períodos de tiempo determinados. Esto permite simular las condiciones a las que los tejidos podrían estar expuestos en situaciones reales, como el contacto con fuentes de calor o la exposición a altas temperaturas.

Además, la máquina puede ser programada para seguir un ciclo de temperatura predefinido, lo que facilita la repetibilidad de los ensayos.



*Figura 22: Máquina Testtherm tipo 9S (Tacaltex SA).*

### 3.2.7 Espectrofotómetro Modelo UH5300

El espectrofotómetro Modelo UH5300 es un equipo utilizado en diversos campos, como la química, la biología, la investigación científica y la industria, para medir y analizar la absorbancia y transmitancia de muestras en diferentes longitudes de onda de luz.

Este instrumento es especialmente útil para determinar la concentración de una sustancia en una muestra, identificar componentes químicos, realizar análisis cuantitativos y cualitativos, y estudiar reacciones químicas y cambios en las propiedades de las muestras.

El Modelo UH5300 Spectrophotometer permite obtener información precisa sobre cómo las muestras interactúan con la luz en el espectro electromagnético. Utilizando una fuente de luz

de banda ancha y un detector de alta sensibilidad, el espectrofotómetro puede medir la cantidad de luz absorbida o transmitida por una muestra en diferentes longitudes de onda.



*Figura 23: Model UH5300 Spectrophotometer.*

### 3.2.1 Espectrofotómetro de reflexión Modelo 700

El espectrofotómetro de reflexión es una máquina utilizada en la industria textil y otros sectores para medir y analizar el color de materiales, incluyendo telas. Emitiendo luz hacia la muestra de tela y midiendo la cantidad de luz reflejada en diferentes longitudes de onda, este instrumento determina la intensidad y el espectro de color de la muestra. Proporciona datos objetivos y cuantitativos sobre el color de la tela, lo que permite evaluar la consistencia del color en diferentes lotes de producción, realizar comparaciones y asegurar el cumplimiento de los estándares de color. Además de la industria textil, el espectrofotómetro de reflexión se utiliza en áreas como la pintura, la impresión y la industria alimentaria para garantizar la calidad del producto final.



*Figura 24: Spectro 700.*

### 3.2.2 Medidor de irradiancia

Para la medición del Factor de Protección Ultravioleta se utilizó un medidor de irradiancia. Este dispositivo se utiliza para medir la cantidad de radiación ultravioleta (UV) que atraviesa un tejido o material. Posee sensores sensibles a la radiación UV y puede proporcionar mediciones precisas de la intensidad de la radiación UV.

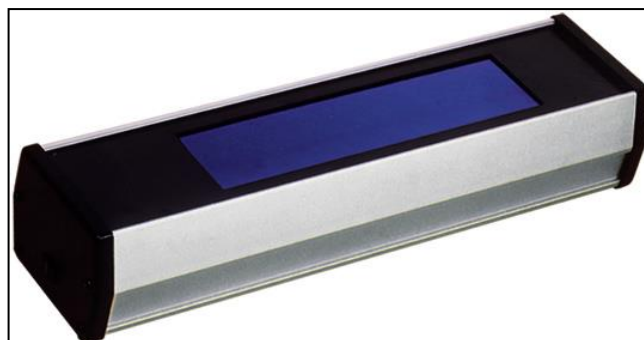
Al colocar el tejido en el medidor de irradiancia, se obtiene una lectura que indica la cantidad de radiación UV que logra atravesar el material. Esta medición es fundamental para evaluar el nivel de protección que ofrece el tejido contra los rayos UV. Cuanto menor sea la cantidad de radiación UV que atraviese el tejido, mayor será el valor del Factor de Protección Ultravioleta (UPF) del material.

La utilización del medidor de irradiancia permite obtener una evaluación objetiva y cuantitativa de la capacidad de un tejido para bloquear los rayos UV, ya que contribuye a determinar la efectividad del tejido en la protección de la piel contra los dañinos efectos de la radiación ultravioleta.

En la evaluación de la transmitancia del tejido se utilizan principalmente tres dispositivos.

- Lámpara de emisión de luz UV

La lámpara utilizada es un modelo VL-6C de Vilber Lourmat, que presenta una configuración horizontal. Este dispositivo está equipado con un tubo de emisión de luz UV y un filtro de luz UV para minimizar la interferencia de luz blanca y facilitar la detección de fluorescencia débil. Una característica destacada de esta lámpara es la posibilidad de intercambiar los tubos de emisión de luz UV, lo que permite obtener diferentes longitudes de onda de emisión. En consecuencia, la lámpara es capaz de emitir radiación en las regiones de ultravioleta A y B. Las longitudes de onda específicas de emisión de la lámpara son 312 nm (UVB) y 365 nm (UVA).



*Figura 25: Lámpara de emisión de luz UV.*

Los tubos de radiación ultravioleta emiten a longitudes de onda específicas, como se muestra en la ilustración a continuación. Para obtener mediciones de irradiancia de ultravioleta A y B, es necesario cambiar los tubos de acuerdo con las necesidades. Esto permite ajustar la configuración de la lámpara para obtener la longitud de onda deseada y realizar mediciones precisas.



*Figura 26: Lámpara de emisión de luz y tubos de radiación UVA y UVB.*

- Sonda detectora

La sonda de captación de luz UV se encuentra ubicada en la base de soporte de la lámpara ultravioleta, lo que permite que toda la radiación incidente sea captada por la sonda. Esta sonda está conectada al equipo Delta, el cual a su vez está conectado a un ordenador para el procesamiento de los datos.

Además, el aparato Delta Ohm HD 2102.2 tiene la capacidad de acoplar diferentes sondas de medición, como las de luminancia, iluminancia, irradiancia o PAR. Sin embargo, para este estudio en particular se emplearán exclusivamente las sondas de captación de radiación ultravioleta A y B.

Este enfoque garantiza una medición precisa y específica de la radiación UV en el estudio, ya que las sondas de captación seleccionadas son especialmente diseñadas para detectar y registrar la radiación en las zonas de ultravioleta A y B. La conexión del equipo Delta a un ordenador facilita el procesamiento de los datos obtenidos, lo que contribuye a un análisis detallado y preciso de los niveles de radiación ultravioleta durante el estudio.



*Figura 27: Sondas de detención y aparato de medición HD2102.2.*

- Caja opaca

La caja opaca proporciona un ambiente controlado y protegido donde se llevan a cabo las mediciones, garantizando la integridad y la precisión de los datos obtenidos. Al evitar la entrada de luz externa y radiación ultravioleta no deseada, se minimiza cualquier influencia que pueda distorsionar los resultados de las mediciones realizadas en el interior de la caja.

De esta manera, la caja opaca asegura un entorno de medición confiable y libre de interferencias, lo que contribuye a obtener datos precisos y consistentes en el estudio.



*Figura 28: Caja opaca.*

### **3.3 Diseño experimental**

Una matriz de Doehlert, también conocida como matriz de diseño, es una herramienta utilizada en el diseño experimental para estudiar y analizar los efectos de múltiples variables en una respuesta. Estas matrices permiten explorar de manera eficiente diversos grados de combinaciones de variables independientes en un espacio de diseño determinado.

Se presentan las distintas variables que se han considerado en este estudio con el fin de investigar su impacto en resultado que se busca analizar. Estas variables pueden ser tanto variables independientes como variables dependientes. Las variables independientes son aquellas que se manipulan en el estudio y se cree que pueden tener influencia sobre la variable dependiente. Por otro lado, las variables dependientes son aquellas que se ven afectadas por las variables independientes y representan el resultado que se está estudiando.

Se ha observado que el algodón puede sufrir daños cuando se expone a un entorno ácido. Sin embargo, se ha planteado la posibilidad de trabajar con un pH 6 sin que se produzca degradación. Es importante tener en cuenta que los colorantes, tanto sintéticos como naturales, utilizados en algodón convencional suelen trabajarse en un entorno alcalino [43]. Por esta razón, se decidió realizar las pruebas de tintura en un entorno alcalino para descartar cualquier posible degradación del algodón.

En cuanto a la concentración de colorante, también se tomaron decisiones significativas en este estudio. Se realizaron ajustes en la concentración de colorante utilizado en las pruebas de tintura, con el objetivo de encontrar un equilibrio óptimo entre intensidad de color y el posible incremento del factor UPF. Es importante destacar que la concentración de colorante puede influir en la saturación y penetración del color en las fibras de algodón.

También se exploraron las temperaturas de baño como parte fundamental de las etapas de afinidad entre la fibra y el colorante. En este estudio, se trabajó con algodón debido a sus características favorables, como la presencia de numerosos grupos hidroxilos con carga negativa y su capacidad de absorber humedad. Estas propiedades del algodón facilitan la absorción de la humedad presente en el baño de tinción, lo cual favorece la coloración. En el baño de tintura, se busca que las moléculas de colorante se acerquen y se adhieran a la fibra, y para lograrlo se tuvo en cuenta la solubilidad del colorante. Dado que los colorantes utilizados en este estudio son polifenoles, se observó que son más solubles en pH alcalino.

El uso de estas diferentes variables y su adecuada interpretación es crucial para la obtención de resultados precisos y significativos en este estudio.

### **3.3.1 Condiciones experimentales**

En la Tabla 2 se muestran los valores correspondientes a los diferentes experimentos llevados a cabo, en los cuales se han realizado con distintos valores de pH, temperatura (T) y concentración de [HLS].

La correcta interpretación de los valores presentados en la tabla permitirá la identificación de las mejores condiciones de tintura para la obtención de los resultados deseados.

**Tabla 2:** Valores correspondientes a los diferentes experimentos.

Experimento	pH (5 niveles)	[HLS] (mg/L) (7 niveles)	X (3 niveles) T °C
Tejido sin tratar			
1	9	1750	80
2	11	1750	80
3	10	2500	80
4	10	2000	95
5	7	1750	80
6	8	1000	80
7	8	1500	65
8	10	1000	80
9	10	1500	65
10	9	2250	65
11	8	2000	95
12	9	1250	95
13	9	1750	80
14	9	1750	80
15	9	1750	80

A continuación, se procedió a realizar 15 experimentos utilizando residuos orgánicos de café en un matraz de 200 ml. Estos experimentos se llevaron a cabo aplicando distintas temperaturas, específicamente 80, 95 y 65 °C, y variando los valores de pH y concentraciones de ácidos húmicos ([HLS]). Los detalles de los valores se pueden encontrar en la tabla 2. Las variaciones en las temperaturas se deben a la posible degradación de los fenoles y su efecto en la generación de color, así como en la protección UV.

Una vez realizadas las extracciones, se ha procedido a agitar la muestra hasta alcanzar una homogeneidad deseada. Con el fin de regular el pH de la muestra, se han utilizado productos auxiliares, como el ácido sulfúrico diluido para la obtención de un pH ácido, y la sosa para lograr un pH alcalino. De esta forma, se ha logrado ajustar el pH de la muestra hasta alcanzar el valor necesario para su posterior análisis.

### 3.3.2 Proceso de tintado

Se han medido 150 ml de la disolución preparada con la concentración de extracto según ensayo y se han agregado al baño de tintura. La inmersión de la tela de algodón en el baño se

ha realizado a diferentes temperaturas, específicamente a 65 °C, 80 °C y 95 °C, durante un tiempo de 60 minutos cada una. Cabe resaltar que en los procesos convencionales se utilizan temperaturas elevadas para lograr la difusión del colorante en la fibra y de este modo obtener una buena igualación (regularidad en la coloración en toda la extensión del textil tintado).

Se ha llevado a cabo el proceso de tintado, se ha utilizado el método de tintura por agotamiento para aplicar el colorante a las muestras obtenidas. Este método implica sumergir la tela de algodón en un baño de tintura que contiene el colorante disuelto. La cantidad de baño utilizada se determina en función de la capacidad de la máquina de teñido.

En este procedimiento experimental, se ha procedido a impregnar una sección de la tela de algodón en un baño que contenía una solución de quitosano de 5 g/L previamente disuelto en agitación con 3 mL/L de ácido acético. Los tejidos han obtenido un pick-up de alrededor del 70%. El "pick-up" en tejidos se refiere a la cantidad de líquido absorbido o retenido durante un proceso de tratamiento. Un pick-up del 70% indica que el tejido ha absorbido aproximadamente el 70% del líquido aplicado. Esto afecta las propiedades finales del tejido, como el color, la resistencia al lavado y la protección UV. Un pick-up adecuado es importante para lograr los resultados deseados en términos de apariencia y funcionalidad del tejido.

El quitosano es un polisacárido utilizado en la ingeniería química que se obtiene de la quitina presente en crustáceos. En la industria textil, se ha utilizado para mejorar la resistencia de los tejidos, especialmente como agente de refuerzo para mejorar la resistencia de los tejidos.

Después de la impregnación, la sección de tela se sometió a una temperatura de secado de 95 °C. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el quitosano depositado sobre la tela en este punto no se encuentra firmemente fijado. Para lograr una fijación adecuada, se procedió al termofijado a una temperatura de 140 °C durante 3 minutos. Este proceso permitió que el colorante presente en la solución de mordentado se depositara de manera uniforme sobre la tela, logrando así el resultado deseado. El proceso de teñido se ha llevado a cabo mediante el uso de la máquina Testherm tipo 9S (Tacaltex, SA) y su relación de baño ha sido de 1:30.

Una vez obtenidas las diferentes muestras necesarias, se permitió que el tejido se enfriara lentamente antes de retirarlo del baño. Finalmente, se dejó secar.

Este proceso de teñido es de gran importancia en la industria textil, ya que permite obtener una gran variedad de colores y diseños en diferentes tipos de telas, y es por ello por lo que su correcta implementación es fundamental en el desarrollo de productos textiles de alta calidad.



### 3.3.3 Medición del factor de protección ultravioleta

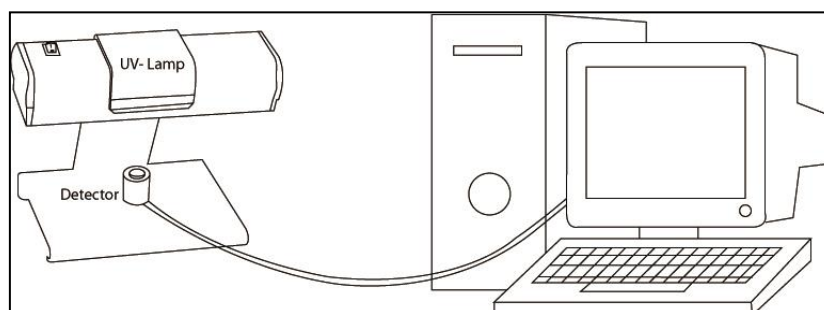
En primer lugar, se lleva a cabo la preparación de las probetas de acuerdo con las especificaciones establecidas, siguiendo las directrices establecidas en la norma ISO 139:2005. Para ello, se considera un tamaño de 10x10 cm para las probetas, ya que es el área que cubre de manera óptima el detector. Las muestras se seleccionan del centro del tejido y las muestras adicionales se toman a una distancia no mayor a 1 cm de la primera muestra, tal como indica la norma.

A continuación, las probetas se acondicionan durante 120 minutos a una temperatura de 22°C y una humedad relativa del 62%. Este proceso de acondicionamiento garantiza que las muestras se encuentren en condiciones estandarizadas antes de realizar las mediciones.

Una vez preparadas las muestras, se procede a realizar la medición. Para ello, la probeta de tejido se coloca sobre la sonda captadora de manera que toda la radiación que llega a la sonda debe atravesar previamente el tejido. La sonda se posiciona siempre en la misma posición sobre la base de la lámpara, asegurando así que las condiciones sean consistentes en cada medición.

Posteriormente, se enciende la lámpara ultravioleta con el tubo de radiación deseado y, una vez que la probeta se ha superpuesto correctamente, se coloca la caja opaca. La caja opaca tiene como objetivo evitar cualquier interferencia de luz externa o radiación ultravioleta no deseada durante el proceso de medición.

De esta manera, se sigue un procedimiento estandarizado y controlado para realizar las mediciones, garantizando la reproducibilidad y confiabilidad de los resultados obtenidos en el estudio.



*Figura 29: Metodología experimental.*

Las mediciones se van almacenando en el equipo HD 2102.2 y posteriormente serán exportados en formato Excel para una mayor comodidad de trabajo en el análisis de los datos. Estas

mediciones se realizan a intervalos de 5 segundos y el tiempo total de medición es de 5 minutos por lo que se tendrán un total de 12 mediciones. Cada 90 segundos la muestra se mueve de ubicación con el fin de homogeneizar los resultados y discriminar el efecto del ligamento que ha demostrado ser el parámetro del tejido que mayor influencia posee con el UPF.

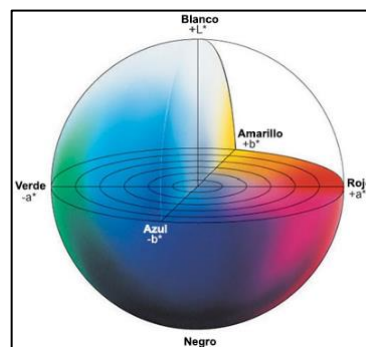
### 3.3.4 Medidas de color

En el estudio del color de las muestras, se utilizaron las coordenadas cromáticas ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) del espacio de color CIELAB y se midieron con un espectrofotómetro de reflectancia *Model UH5300 Spectrophotometer Hitachi High-Technologies Corporation*.

La determinación de las coordenadas cromáticas  $L^*$   $a^*$   $b^*$  CIELAB de las probetas teñidas así como la valoración de color total de cada una de ellas fueron obtenidas a partir de la media de las diferentes medidas:

- $L^*$  (luminosidad): representa la claridad o luminosidad del color. Los valores de  $L^*$  varían de 0 a 100, donde 0 corresponde al negro absoluto y 100 al blanco absoluto.
- $a^*$  (componente de eje rojo-verde): define la posición del color en el eje rojo-verde. Los valores positivos de  $a^*$  indican tonalidades más rojas, mientras que los valores negativos indican tonalidades más verdes.
- $b^*$  (componente de eje amarillo-azul): define la posición del color en el eje amarillo-azul. Los valores positivos de  $b^*$  indican tonalidades más amarillas, mientras que los valores negativos indican tonalidades más azules.

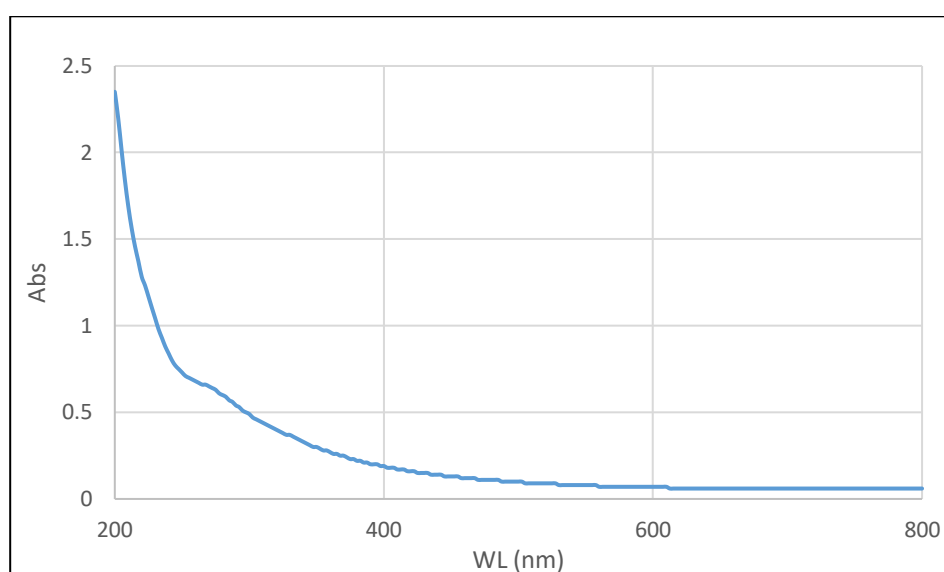
Estas coordenadas cromáticas permiten caracterizar y comparar los colores de manera precisa y objetiva. En este contexto, la luminosidad ( $L^*$ ) representa la claridad del color, el componente  $a^*$  la posición en el eje rojo-verde y el componente  $b^*$  la posición en el eje amarillo-azul.



**Figura 30:** Coordenadas cromáticas CIELAB.

#### 4. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Nuestro enfoque principal es lograr la protección ultravioleta en los tejidos, por lo tanto, realizamos espectros al colorante para determinar su capacidad de absorción ultravioleta. En la gráfica 1 se representa el espectro obtenido. En este caso, la concentración del colorante es de 1750 mg/L y el pH es 9. Observamos que existe una baja coloración en la zona visible (a partir de 400 nm), mientras que a medida que disminuimos la longitud de onda hacia valores inferiores a 400 nm, la absorbancia comienza a aumentar. Parece que en el rango de 300 a 400 nm tenemos una capacidad de absorción de la radiación ultravioleta, además, se observa que no se genera una coloración significativa en el tejido.



*Gráfico 1: Metodología experimental.*

Con este procedimiento se ha podido apreciar cualitativamente la disparidad tonal de las telas tras el proceso de tinción. La siguiente figura representa el tejido de algodón sin ningún tratamiento de tincura. A partir de esta muestra de referencia, se llevaron a cabo las diferentes muestras de tincura.



*Figura 31: Muestra de referencia de café si tratar.*

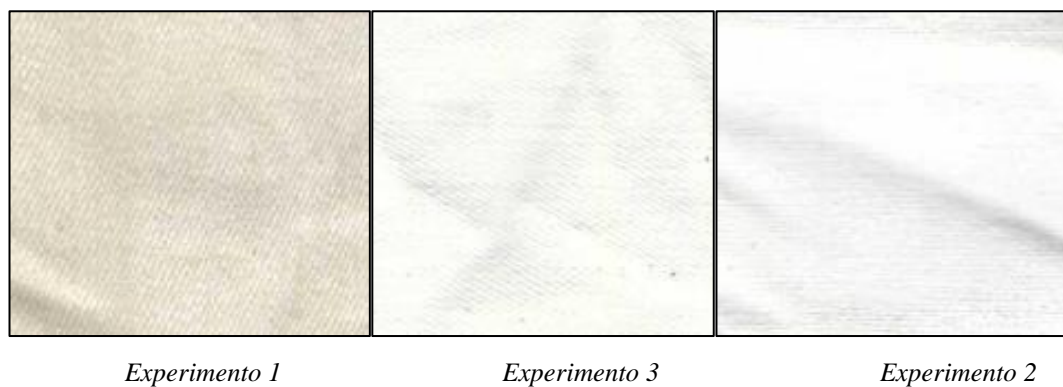
A continuación, se presentarán los resultados de las pruebas de tinción llevadas a cabo con el propósito de analizar y evaluar las variaciones en los resultados obtenidos al modificar las condiciones experimentales, específicamente con relación a las temperaturas, concentraciones de ácidos húmicos y pH.

- Temperatura 65°C

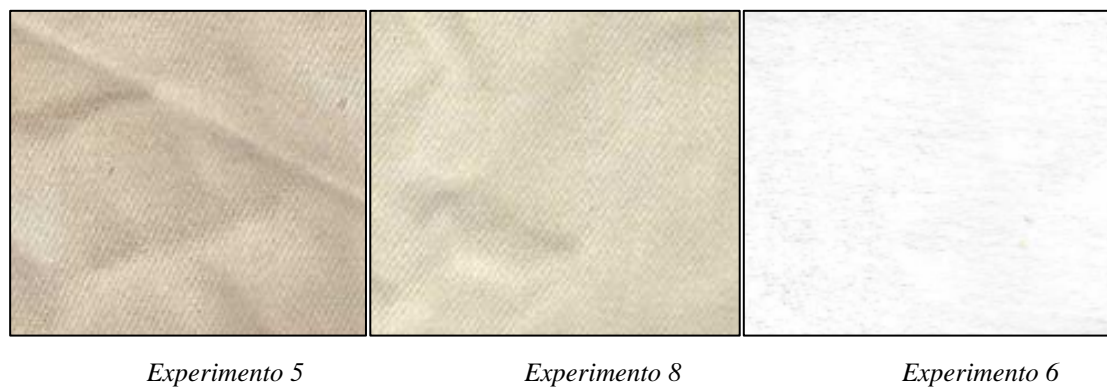


**Figura 32:** Muestras de café tintadas a temperatura 65°C.

- Temperatura 80°C



**Figura 33:** Muestras de café tintadas a temperatura 80°C.



**Figura 34:** Muestras de café tintadas a temperatura 80°C.

- Temperatura 95°C



**Figura 35:** Muestras de café tintadas a temperatura 95°C.

El estudio colorimétrico de las muestras es un método objetivo y fiable para valorar los cambios cromáticos que se han producido en las muestras tras el proceso de tinción. Estos análisis proporcionan una serie de valores que indican el incremento de color que han sufrido dichas muestras al ser comparadas entre ellas. De esta manera se determina cuáles son las muestras más intensas con respecto a las que menor grado de coloración han experimentado y así, clasificarlas.

A medida que el valor de L se acerca a 100, el tejido se vuelve más blanco. Sin embargo, a medida que adquiere tonalidad y se vuelve más oscuro, el valor de L disminuye, lo que indica una pérdida de la tonalidad blanca. Podemos observar que los tejidos tratados experimentan un descenso en el valor de L, ya que adquieren cierta coloración y dejan de ser completamente blancos. Cuanto mayor sea la diferencia de color, significa que el tejido ha captado más color.

En los resultados obtenidos, se ha observado que la coloración de los tejidos no necesariamente está relacionada con el nivel de protección ultravioleta (UPF). Se ha encontrado que los tejidos con una mayor diferencia de color no presentan necesariamente un mayor UPF. Por otro lado, se ha destacado que incluso los tejidos con una menor coloración muestran un nivel significativo de protección ultravioleta, e incluso pueden tener un UPF mayor que aquellos con una mayor diferencia de color. Estos hallazgos indican que la relación entre la coloración y el UPF no es directa, y que otros factores pueden influir en la capacidad de protección ultravioleta de los tejidos.

En la Tabla 3 se presentan los valores obtenidos de las distintas muestras tras el proceso de tintura. Cada muestra se ha tratado con diferentes temperaturas y se ha medido el pH y los valores de color HLS de cada muestra.

**Tabla 3:** *Coordenadas cromáticas de las diferentes muestras tras las distintas temperaturas de tinción con café.*

	<b>Experimento</b>	<b>pH</b>	<b>[HLS](mg/L)</b>	<b>L*</b>	<b>UPF</b>
<b>Sin tratar</b>				88.10	
<b>Café 80°C</b>	1	9	1750	81.36	18.17
	3	10	2500	81.36	18.17
	2	11	1750	88.49	9.17
	5	7	1750	75.25	36.81
	8	8	1000	79.88	14.89
	6	10	1000	87.87	10.06
<b>Café 65°C</b>	9	10	1500	74.32	26.51
	10	9	2500	87.82	9.80
	7	8	1500	84.24	17.99
<b>Café 95 °C</b>	4	10	2000	76.91	16.86
	12	9	1250	77.96	18.78
	11	8	2000	78.20	19.59

Se ha establecido que la solubilidad de los compuestos analizados aumenta a medida que se incrementa la temperatura. En particular, se ha observado que en el experimento 5 la combinación de una temperatura de 80°C, una concentración de 1750 de HLS y un pH de 7 ha demostrado ser la más efectiva en términos de obtener un alto Factor de Protección Ultravioleta (UPF), al tiempo que presenta una intensidad de color significativa. Asimismo, se ha identificado que una temperatura de 65°C, una concentración de 1500 de HLS y un pH de 10, el experimento 9 se destaca por tener la mayor diferencia de color, sin embargo, también exhibe un valor destacable de UPF. Estos resultados evidencian la influencia de la temperatura, la concentración y el pH en la calidad y las propiedades de los tejidos, tanto en términos de protección ultravioleta como de intensidad cromática.

Se ha llevado a cabo un análisis en el cual se ha utilizado una concentración de 2500 de HLS junto con un pH de 10, experimento 3. En este caso particular, se ha observado que el tejido tratado con esta combinación no ha adquirido prácticamente color. Estos hallazgos indican que, a pesar de la alta concentración de HLS y el pH alcalino utilizado, no se ha logrado obtener una intensidad cromática significativa en el tejido. Es importante destacar este resultado, ya que puede proporcionar información relevante sobre la relación entre la concentración de HLS, el pH y la coloración del tejido.

Existen diversos efectos a considerar, entre ellos la solubilidad de las sustancias húmicas en condiciones específicas. Es importante tener en cuenta que, en algunas situaciones, nos encontramos trabajando con concentraciones que superan su límite de solubilidad. En estos

casos, solo mediante pH extremos es posible lograr su solubilización. Además, las temperaturas pueden facilitar la solubilidad y mejorar la fijación de dichas sustancias.

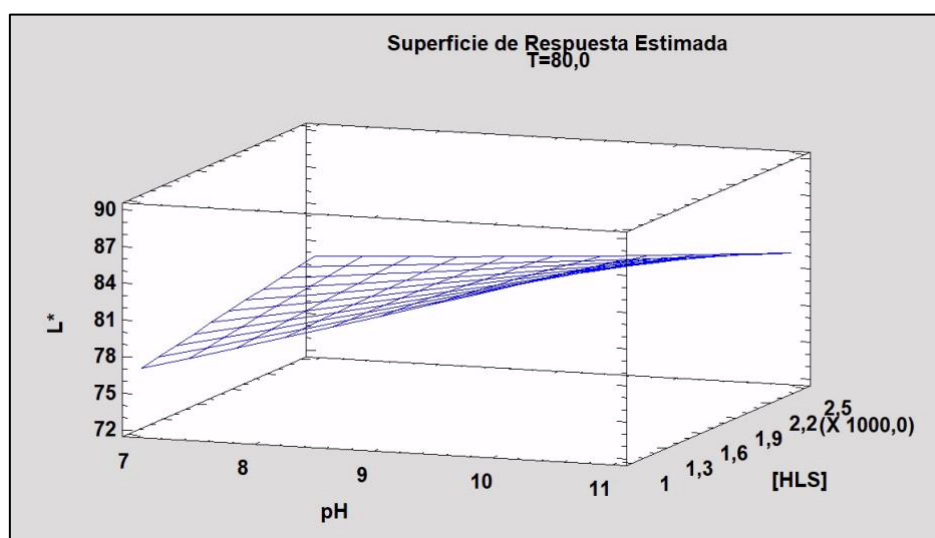
Podemos observar que, a concentraciones más bajas, se requiere una temperatura más elevada para lograr una mejor fijación. Por otro lado, a concentraciones más altas, no es necesario aplicar condiciones tan bruscas para alcanzar el mismo nivel de fijación.

Estos factores nos indican la importancia de considerar tanto la concentración como la temperatura en el proceso de adhesión de las sustancias húmicas. A concentraciones más bajas, es necesario aplicar una mayor temperatura para lograr una óptima adhesión. Por el contrario, a concentraciones más altas, se puede lograr el mismo resultado sin necesitar condiciones tan extremas, alcanzando el mismo porcentaje de fijación.

## 4.1 Optimización

Después de completar el diseño experimental, utilizamos el programa Statgraphics para analizar los resultados. Con este programa, podemos obtener superficies de respuesta que nos muestran cómo diferentes parámetros afectan a una temperatura fija, en este caso, 80 °C. Al obtener la función, podemos optimizarla tanto hacia máximos como hacia mínimos.

En nuestro caso particular, si queremos lograr una mayor absorción, debemos considerar que, a menor valor de la función, mayor será la capacidad de fijación. Por lo tanto, buscamos alejarnos del valor más alto, ya que cerca de 100 obtenemos un resultado blanco, lo cual indica una menor concentración fijado. Observando los datos, identificamos el mínimo que se ha obtenido como el más adecuado en este sentido.



*Figura 36:* Minimizar  $L^*$ .

A continuación, se puede observar la ecuación que representa la optimización en cuatro dimensiones:

$$\begin{aligned}
 L^* = & 71.5192 - 9,82263 \times pH + 0.0448034 \times [HLS] + 0.3562 \times T \\
 & + 0.0355583 \times pH^2 - 0.0014278 \times pH \times [HLS] \\
 & + 0.167115 \times pH \times T - 1.37733E - 7 \times [HLS]^2 \\
 & - 0.000403725 \times [HLS] \times T - 0.00813343 \times T^2
 \end{aligned}$$

El objetivo de nuestro programa es buscar el óptimo, y en nuestro caso particular, nos interesa minimizar. Después de realizar varios análisis, hemos determinado que las condiciones óptimas para lograr la minimización se encuentran en los siguientes parámetros:

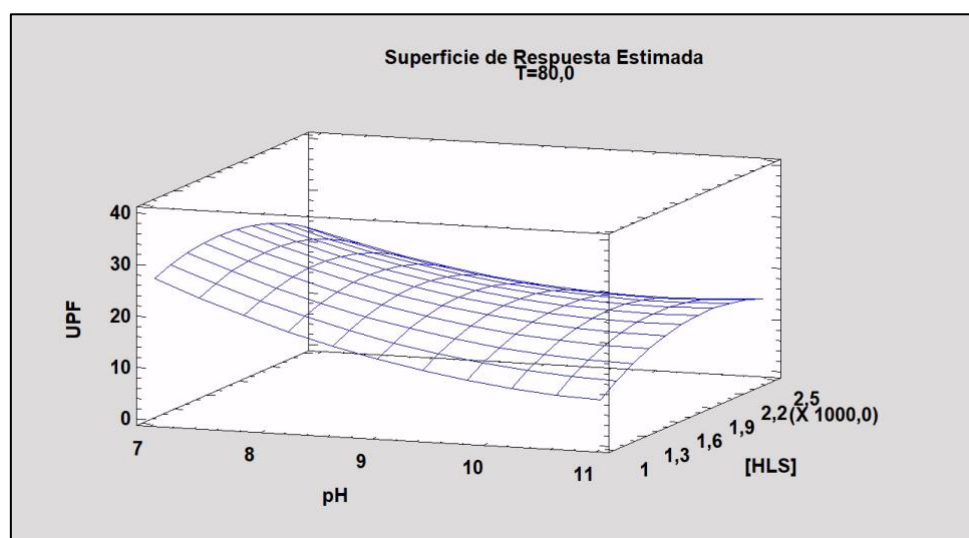


**Tabla 4:** Analizar experimento  $L^*$ .

Factor	Óptimo
pH	7
[HLS] (mg/L)	2337
T°C	95

En cuanto a la protección ultravioleta, al analizar la superficie de respuesta estimada, podemos observar que la concentración de ácidos húmicos es relativamente alta, aunque no es la más alta. Además, se nota una mejora en la protección ultravioleta a medida que el pH disminuye.

En esta superficie se fija una variable para poder representar, en este caso la temperatura 80, en este caso se ve que se obtiene a pH bajo a un valor de sustancias húmicas relativamente alta pero no la más altas, mientras que a pH muy altos la eficiencia va bajando el más alto.

**Figura 37:** Maximizar UPF.

A continuación, se muestra la ecuación que representa la optimización en cuatro dimensiones:

$$\begin{aligned}
 UPF = & 1.71082 - 6.62131 \times pH - 0.00870886 \times [HLS] + 1.72632 \times T \\
 & + 0.974125 \times pH^2 - 0.001712 \times pH \times [HLS] + 0.21605 \times pH \times T \\
 & - 0.00000857533 \times [HLS]^2 + 0.000298956 \times [HLS] \times T \\
 & - 0.0184222 \times T^2
 \end{aligned}$$

El análisis revela que el punto óptimo se encuentra en esta ubicación específica, pero en este caso se requieren temperaturas elevadas para alcanzarlo, junto con un valor de pH más bajo. Esta observación puede llevarnos a pensar que sería más beneficioso utilizar valores de pH aún

más bajos, sin embargo, no hemos adoptado esta estrategia debido a la sensibilidad del algodón a pH ligeramente ácidos, lo cual podría resultar en su degradación.

*Tabla 5: Analizar experimento UPF.*

<b>Factor</b>	<b>Óptimo</b>
<b>pH</b>	7
<b>[HLS] (mg/L)</b>	1845
<b>T °C</b>	95

La presencia de diferentes moléculas en las mezclas puede generar variaciones, ya que aquellas que aportan más color no necesariamente brindan la misma protección. En este caso, se observa otra área donde la adhesión es mayor y la protección UV es ligeramente inferior en comparación con las moléculas que proporcionan color.

## 5. DIMENSIONADO

Una vez completado el estudio del comportamiento a escala de laboratorio y seleccionado el colorante más adecuado para el proceso, se realizará la escalación de los datos experimentales para adaptarlos a una industria textil.

### 5.1 Cálculos

Con el fin de obtener los valores a escala industrial de las variables mencionadas, se empleará el principio de similaridad para asegurar una dinámica equivalente a la observada a escala de laboratorio.

Para determinar la cantidad de trabajo que realiza la empresa textil a escala industrial, necesitamos establecer una relación de escala entre la cantidad de algodón procesado en el laboratorio (5 g) y la cantidad de algodón procesado a escala industrial (600 kg).

Al realizar el cálculo basado en la tintura de 600 kg de algodón, hemos tomado como referencia un peso comúnmente utilizado en la industria textil. Si bien existen maquinarias con capacidades más bajas o altas, hemos seleccionado este peso como punto de referencia para fines de análisis y comparación.

La relación de escala se puede calcular dividiendo la cantidad de algodón a escala industrial entre la cantidad de algodón en el laboratorio:

Donde:

Relación de escala =  $k$

Cantidad de algodón a escala industrial =  $p'$

Cantidad de algodón en el laboratorio =  $p$

$$k = p' / p$$

$$k = 600 \text{ kg} / 5 \text{ g}$$

Primero, debemos convertir la cantidad de algodón a la misma unidad para poder realizar la división. Convertiremos los 600 kg a gramos:

$$600 \text{ kg} = 600,000 \text{ g}$$

Ahora podemos calcular la relación de escala:

$$k = 600,000 \text{ g} / 5 \text{ g} = 120,000$$

Por lo tanto, la empresa textil procesa 120,000 veces más algodón, es decir:

$$p' = p \times k$$

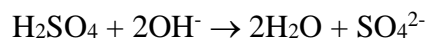
$$p' = 5 \text{ g} \times 120,000 = 600,000 \text{ g}$$

La empresa textil maneja una cantidad de algodón a escala industrial equivalente a 600,000 gr (600 kg). En el laboratorio, se utilizó 0.15 L de agua para las tinturas, lo cual es equivalente a 18,000L a escala industrial.

El proceso de trabajo es de manera constante, el tiempo de ciclo es de 1 hora por cada lote de tejido a tintar.

Por otro lado, las sustancias tipo húmicas se extraen en medio básico, lo que significa que si se encuentran en pH 9 tendremos que reducir su pH a 7 con ácido sulfúrico para alcanzar su valor desaseado.

Primero, se determina la cantidad de ácido sulfúrico necesario para ajustar el pH de la solución. La ecuación de neutralización para el ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) es:



En este caso, el ácido sulfúrico reacciona con los iones hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ) presentes en la solución básica. Para ajustar el pH de la solución de pH 9 a pH 7, se necesita neutralizar el exceso de iones hidroxilo. La diferencia en la concentración de iones hidroxilo entre pH 9 y pH 7 es de  $10^{-2}$  moles por litro (100 veces más concentrado en pH 9).

Utilizando la relación estequiométrica de la reacción para determinar la cantidad de ácido sulfúrico requerido. En la ecuación de neutralización, 1 mol de ácido sulfúrico neutraliza 2 moles de iones hidroxilo. Por lo tanto, se necesita agregar  $5 \times 10^{-3}$  moles de ácido sulfúrico por 150 mL de solución.

Calculando la cantidad de ácido sulfúrico en gramos. Para hacer esto, se necesita conocer la masa molar del ácido sulfúrico, que es de aproximadamente 98 g/mol. Multiplicando la cantidad de moles de ácido sulfúrico requerido por su masa molar para obtener la cantidad en gramos.

Por lo tanto, si tenemos 0,15 L de solución, se necesita:

$$\text{Cantidad de ácido sulfúrico (g)} = \text{Cantidad de ácido sulfúrico (mol)} \times \text{Masa molar del ácido sulfúrico (g/mol)}$$

$$\text{Cantidad de ácido sulfúrico (mol)} = 5 \times 10^{-3} \text{ moles/L} \times 0.15\text{L} = 7.5 \times 10^{-4} \text{ moles}$$

$$\text{Cantidad de ácido sulfúrico (g)} = 7.5 \times 10^{-4} \text{ moles} \times 98 \text{ g/mol} = 0.0735 \text{ g}$$

Si tenemos 18,0000 L:

$$\text{Cantidad de ácido sulfúrico (mol)} = 5 \times 10^{-3} \text{ mol/L} \times 18,000 \text{ L} = 90 \text{ moles}$$

$$\text{Cantidad de ácido sulfúrico (g)} = 90 \text{ moles} \times 98 \text{ g/mol} = 8,820 \text{ g}$$

Para calcular el consumo de energía requerido para calentar 1L de agua desde una temperatura ambiente de 25 °C hasta una temperatura de 95 °C, podemos utilizar la fórmula:

$$E = m \times cp \times (tf - t)$$

Donde:

E = Consumo de energía en Joules

m = Masa del agua en kilogramos

cp = Calor específico del agua (aproximadamente 4.18 J/g·°C)

tf = Temperatura final deseada en °C (95 °C)

t = Temperatura inicial en °C (25 °C)

Primero, necesitamos convertir la masa de agua de litros a kilogramos. Sabemos que la densidad del agua es de aproximadamente 1 g/cm<sup>3</sup>, lo que equivale a 1 kg/L.

Por lo tanto, la masa (m) será de 1 kg. Sustituyendo los valores en la fórmula, tenemos:

$$E = 1000 \text{ kg} \times 4.18 \text{ J/g} \cdot \text{°C} \times (95 \text{ °C} - 25 \text{ °C})$$

$$E = 1000 \text{ kg} \times 4.18 \text{ J/g} \cdot \text{°C} \times 70 \text{ °C} = 292,670 \text{ J}$$

El consumo de energía necesario para calentar un litro de agua desde 25 °C hasta 95 °C es de aproximadamente 292,670 J.

Para determinar el consumo de energía necesario para calentar 120,000 kg de agua desde 25 °C hasta 95 °C es de aproximadamente 292,670 J.

$$E = 1.2 \times 10^8 \text{ g} \times 4.18 \text{ J/g}\cdot^\circ\text{C} \times 70 \text{ }^\circ\text{C} = 3.51 \times 10^{10} \text{ J}$$

A continuación, se presenta una tabla que muestra los valores obtenidos a partir de los cálculos realizados:

**Tabla 6:** Comparación del consumo a escala de laboratorio y escala industrial para los recursos utilizados en el proceso.

<b>CONSUMO</b>	<b>ESCALA LABORATORIO</b>	<b>ESCALA INDUTRIAL</b>
<b>Masa tejida (g)</b>	5	600,000
<b>Tiempo (h)</b>	1	1
<b>Volumen (L)</b>	150	18000
<b>Ácido H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (g/L)</b>	0.0735	8,820
<b>Energía (J)</b>	292,670	$3.51 \times 10^{10}$
<b>Quitosano (g/L)</b>	5	600,000
<b>Ácido acético (g/L)</b>	3	600,000

En resumen, la comparación del consumo a escala de laboratorio y escala industrial nos brinda una visión más completa y precisa de los requerimientos y desafíos en la producción a gran escala. Nos permite planificar de manera adecuada, tomar decisiones estratégicas y adoptar medidas para optimizar los consumos, reducir costos y minimizar el impacto ambiental en el proceso industrial.

## 6. ESTUDIO ECONÓMICO Y PRESUPUESTO

Tras completar el proceso de dimensionamiento, podemos realizar una estimación aproximada del análisis de costes para la parte de procesos, nos enfocaremos en los costes variables que están directamente relacionados con el tratamiento, pretratamiento, colorante natural y colorante sintético utilizados. Además de los costes fijos de energía y personal, es importante tener en cuenta que estos elementos desempeñan un papel fundamental en el funcionamiento y desarrollo del trabajo.

Para llevar a cabo esta estimación, se tendrán en cuenta todos los elementos necesarios, incluyendo reactivos y personal, que son esenciales para asegurar el correcto funcionamiento del sistema. Mediante este análisis detallado, será posible obtener una proyección confiable de los costos totales.

### 6.1 Coste personal

El proceso de trabajo es de manera constante, el tiempo de ciclo es de 1 hora por cada lote de tejido a tintar. En ese caso, podríamos considerar asignar a dos operarios especializados en tintura.

Estos dos operarios podrían trabajar en turnos alternados para cubrir las 8 horas diarias de trabajo de la empresa. Cada operario podría encargarse de cargar y descargar los tejidos en la maquinaria de tintura, realizar el seguimiento del proceso, ajustar los parámetros según sea necesario y asegurarse de que se cumplan los estándares de calidad.

Tomando como referencia el sueldo base de un operario en el sector textil, que puede variar entre 1.200 y 1.500 euros al mes, podemos suponer un sueldo base de 1.300 euros mensuales para cada operario.

Además del sueldo base, la empresa también debe considerar los costos adicionales asociados a la contratación de personal, como las cotizaciones a la seguridad social, seguros, impuestos y otros beneficios (por ejemplo, seguro médico, seguro de accidentes, bonificaciones). Estos costos adicionales pueden variar, pero un estimado aproximado es del 30-40% del sueldo base.

Entonces, si cada operario gana 1.300 euros mensuales, los costos adicionales podrían representar aproximadamente entre 390 y 520 euros mensuales (30-40% del sueldo base). Por

lo tanto, el costo total para la empresa por cada operario podría oscilar entre 1.690 euros mensuales.

En la siguiente tabla se resumirá los costes de personal para dos operarios:

*Tabla 7: Coste total de gastos de personal.*

CONCEPTO	IMPORTE € (2 operarios)
Salario base x2	2,600
Costes adicionales x2	3,380
Total x2	5,980

Por lo tanto, se tendrá un coste de personal de 5,980 € mensuales respectivos al trabajo realizado por dos operarios.

$$\text{Coste personal de un operario (€)} = 5,980 \text{ €} / 2 = 2990 \text{ €}$$

Para determinar el costo por hora de un operario, primero necesitamos conocer cuántas horas trabaja el operario en un mes. Dado que cada operario trabaja 22 días laborables al mes y 40 horas semanales, podemos calcular las horas de trabajo mensuales de la siguiente manera:

$$\text{Horas mensuales} = 20 \text{ días} \times 40 \text{ horas/semana} \times (1 \text{ semana} / 5 \text{ días}) = 160 \text{ horas}$$

Ahora, podemos calcular el costo por hora dividiendo el costo mensual de un operario entre el total de horas mensuales trabajadas:

$$\text{Coste por hora (€/h)} = \text{Costo mensual de un operario} / \text{Horas mensuales}$$

$$\text{Coste por hora (€/h)} = 2990 \text{ €} / 160 \text{ horas} = 18.69 \text{ €/h}$$

$$\text{Coste dos operarios (€/lote)} = 37.38 \text{ €/lote}$$

Por lo tanto, el coste total de los dos operarios es de **37.38 €/lote**.



## 6.2 Coste energía

Los costos relacionados con el motor del foulard de impregnación no han sido considerados, ya que, en comparación con los costos de calentar el agua, son despreciables. Además, se ha asumido que el agua parte desde una temperatura fría. En los grandes procesos industriales que operan a altas temperaturas, no se detiene el proceso.

Para determinar el consumo de energía necesario para calentar 120,000 kg de agua desde 25 °C hasta 95 °C es de aproximadamente 293,800 J.

$$E = 120,000 \times 10^3 \text{ g} \times 4.18 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C} \times 70 ^\circ\text{C} = 3.51 \times 10^{10} \text{ J}$$

Para convertir julios (J) a kilovatios-hora (kWh), utilizamos la relación de conversión:

$$1 \text{ kWh} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

Dividiendo  $3.51 \times 10^{10} \text{ J}$  entre  $3.6 \times 10^6 \text{ J/kWh}$ , obtenemos:

$$3.51 \times 10^{10} \text{ J} / (3.6 \times 10^6 \text{ J/kWh}) \approx 9,753.33 \text{ kWh}$$

Por lo tanto,  $3.51 \times 10^{10} \text{ J}$  es aproximadamente igual a 9,753.33 kWh.

Si el precio del kWh de luz del día 3 de julio es de 0.19 €, podemos determinar el costo total del consumo multiplicando este precio por la cantidad de energía consumida. En este caso, la energía consumida es de 9,753.33 kWh. Por lo tanto, el cálculo del costo total sería:

$$\text{Consumo (€/lote)} = \text{Precio por kWh} \times \text{Energía consumida}$$

$$\text{Consumo (€/lote)} = (0.19 \text{ €/kWh} \times 9,753.33 \text{ kWh}) = 1846,30 \text{ €}.$$

Por lo tanto, el coste total de consumo energético para calentar agua es de **1846,30 €/lote**.

## 6.3 Coste colorante natural

El proceso de tratamiento industrial del tejido consta de varias etapas, como el fulardado, secado y termofijado. Es un proceso continuo en el que se busca calcular la cantidad de producto necesario para un determinado peso de tejido.

Para realizar el cálculo, consideremos que tenemos 600 kg de tejido con un gramaje de 210 g/m<sup>2</sup> y un ancho de 1.40 m. Podemos determinar que esto equivale a unos 2040 m lineales de

tejido. Si trabajamos a una velocidad de 10 m/min, la duración del tratamiento sería de 204 minutos, que es aproximadamente 3.4 horas.

En cuanto al tratamiento en sí, se utiliza un baño que contiene quitosano y ácido acético. El pick-up es la cantidad de baño absorbido por el tejido después del tratamiento, antes de secarse. En este caso, se menciona que el pick-up es del 70%, lo que significa que el tejido ha absorbido 70 mL/100 g de tejido. Si el tejido tiene un gramaje de 210 g/m<sup>2</sup>, podemos calcular que ha absorbido.

- Quitosano

Si tenemos una solución con una concentración de 5 g/L de quitosano y disponemos de 1000 mL de esa solución, podemos calcular la cantidad de quitosano presente en 70 mL de la misma solución. La concentración de 5 g/L indica que en cada litro de solución hay 5 g de quitosano. Para determinar la cantidad de quitosano en 1 mL de solución, dividimos la concentración por el volumen:

$$\text{Cantidad de quitosano (g)} = 5 \text{ g/L} \times 1 \text{ mL} / 1000 \text{ mL} = 0.005 \text{ g}$$

Por lo tanto, en cada mililitro de la solución hay 0.005 g de quitosano. Para determinar la cantidad de quitosano en 70 mL de solución, multiplicamos la cantidad de quitosano en 1 mL por los 70 mL:

$$\text{Cantidad de quitosano (g)} = 0.005 \text{ g/mL} \times 70 \text{ mL} = 0.35 \text{ g}$$

Por lo tanto, en 70 mL de solución con una concentración de 5 g/L de quitosano, tenemos aproximadamente 0.35 g de quitosano.

Si tenemos una proporción de 0.35 g de quitosano por cada 100 g de tejido, podemos calcular la cantidad de quitosano presente en 600,000 g de tejido a escala industrial.

$$\text{Cantidad de quitosano (g)} = 0.0035 \text{ g} \times 600,000 \text{ g} = 2,100 \text{ g}$$

Si el quitosano tiene un precio de 442 € por 250 g y tenemos 2,100 g de quitosano, podemos calcular el costo total del quitosano.

$$\text{Coste quitosano (€/lote)} = (442 \text{ €} / 250 \text{ g}) \times 2,100 \text{ g/lote} = 3,712.8 \text{ €/lote}$$

Por lo tanto, el coste total de quitosano es de **3,712.8 €/lote**.

- Ácido acético

Por otro lado, haremos lo mismo, pero para el ácido acético. Si tenemos una solución con una concentración de 3 g/L de ácido acético y disponemos de 1000 mL de esa solución, podemos calcular la cantidad de ácido acético presente en 70 mL de la misma solución utilizando la fórmula:

$$\text{Cantidad de ácido acético (g)} = 3 \text{ g/L} \times 0.007\text{L} = 0.21 \text{ g}$$

Por lo tanto, en 70 mL de la solución con una concentración de 3 g/L de ácido acético, hay aproximadamente 0.21 gramos de ácido acético.

Si tenemos una proporción de 0.21 g de ácido acético por cada 100 g de tejido, podemos calcular la cantidad de ácido acético presente en 600,000 g de tejido a escala industrial.

$$\text{Cantidad de ácido acético (g)} = (0.21 \text{ g} / 100 \text{ g tejido}) \times 600,000 \text{ g} = 1260 \text{ g}$$

Si el ácido acético tiene un precio de 0.012 €/g y tenemos 1260 g de ácido acético, podemos calcular el costo total del ácido acético.

$$\text{Coste ácido acético (€/lote)} = (0.012\text{g}) \times 1260 \text{ g/} = \mathbf{15.12 \text{ €/lote}}$$

Por lo tanto, el coste total de ácido acético es de **15.12 €/lote**.

- Ácido sulfúrico

En relación con el cálculo previo del volumen de ácido sulfúrico en el proceso de escalado, se obtuvo un valor de 4.9 L. Considerando que el precio del ácido sulfúrico es de 18 € por litro, podemos determinar el costo total multiplicando el volumen por el precio.

$$\text{Coste ácido sulfúrico (€/lote)} = 4.9 \times 18 \text{ €/L} = \mathbf{88.2 \text{ €/lote}}$$

Por lo tanto, el coste total de ácido sulfúrico es de **88.2 €/lote**.

- Sustancias húmicas

Si tenemos una concentración de 1.8 g de sustancias húmicas óptimas por litro y tenemos 18,000 L, se puede calcular la cantidad total de sustancias húmicas.

$$\text{Cantidad de sustancias húmicas (g)} = (1.8 \text{ g} \times 18,000 \text{ litros}) / 1 \text{ litro} = 32,400 \text{ g}$$

Si se requieren 32,400 g de HLS y el costo por kilogramo es de 30 €/kg, podemos calcular el costo total de la siguiente manera:

$$\text{Coste sustancias húmicas (€/lote)} = \text{Cantidad de HLS} * \text{Costo por kilogramo}$$

$$\text{Coste sustancias húmicas (€/lote)} = 32,400 \text{ g} * (30 \text{ €/1000 g}) = \mathbf{972 \text{ €/lote}}$$

Por lo tanto, el coste total de sustancias húmicas es de **972 €/lote**.

En la siguiente tabla se resumirá los costes del colorante natural:

*Tabla 8: Coste total del colorante natural.*

PRODUCTO	PRECIO (€/lote)
Quitosano	3,712.8
Ácido acético	15.12
Ácido sulfúrico	88.2
Sustancias húmicas	972 €
Energía	1846,30
Operario	37.38
<b>Total</b>	<b>6,671.18</b>

Por lo tanto, el coste total de mi colorante natural es de **6,671.18€/lote**.

El cálculo del precio por metro de tela se realiza considerando un lote con una longitud total de 2040 metros y un valor total de 6,671.18€. Para determinar el precio por metro, empleamos la siguiente fórmula:

$$\text{Coste colorante natural (€/m)} = 6,671.18\text{€} / 2040 \text{ m} = \mathbf{3.27 \text{ €/m}}$$

#### 6.4 Coste colorante comercial

La máquina de tintura requiere aproximadamente una hora desde el inicio del proceso de tintado hasta su finalización. Durante este tiempo, se lleva a cabo el proceso de tintado de los tejidos, donde se sumergen en el baño de tinte y se aplican los productos químicos necesarios. Es

importante asegurar que la máquina esté funcionando correctamente y que se cumplan los tiempos de tratamiento requeridos para obtener resultados óptimos.

Durante el proceso de ultravioleta y tinción, es importante tener en cuenta que este colorante comercial se separa en ambos procesos debido a su incapacidad para llevar a cabo ambas funciones de manera eficiente.

En nuestro caso, para realizar una comparación adecuada, se requeriría un tratamiento adicional al proceso de tintura. Este tratamiento consiste en la impregnación del tejido mediante un proceso de fulardado similar al descrito anteriormente para el quitosano. Sin embargo, en lugar de utilizar quitosano, el cual no es necesario en este caso porque el colorante presenta afinidad por la fibra celulósica, empleamos un baño que contiene nanopartículas de ZnO en una concentración de 30 g/L, junto con 50 g/L de resina acrílica. Las nanopartículas de ZnO no tienen afinidad directa por las fibras textiles, por lo que es necesario utilizar la resina acrílica como un producto auxiliar. Esta resina permite que las nanopartículas se adhieran a la superficie de las fibras, proporcionando resistencia a las acciones de mantenimiento que puedan ocurrir durante la vida útil del tejido.

Una vez impregnado el tejido con el baño de nanopartículas y resina, se procede al secado a una temperatura de 95°C, seguido de un proceso de termofijado a 120°C. Estos pasos adicionales aseguran que las nanopartículas y la resina se fijen de manera adecuada al tejido, proporcionando las propiedades deseadas de protección UV y resistencia. Es importante destacar que este tratamiento adicional es necesario para lograr los resultados esperados en términos de protección contra los rayos solares y durabilidad del tejido a lo largo de su vida útil.

- Óxido de Zinc (ZnO)

Si tenemos una solución con una concentración de 30 g/L de óxido de zinc (ZnO) y disponemos de 1000 mL de esa solución, podemos calcular la cantidad de óxido de zinc (ZnO) presente en 70 mL de la misma solución. La concentración de 30 g/L indica que en cada litro de solución hay 30 g de óxido de zinc (ZnO). Para determinar la cantidad de quitosano en 1 mL de solución, dividimos la concentración por el volumen:

$$\text{Cantidad óxido de zinc (g)} = 30 \text{ g/L} \times 70\text{mL} / 1000 \text{ mL} = 2.1 \text{ g}$$

Si tenemos una proporción de 2.1 g de óxido de zinc (ZnO) por cada 100 g de tejido, podemos calcular la cantidad de óxido de zinc (ZnO) presente en 600,000 g de tejido a escala industrial.

$$\text{Cantidad óxido de zinc (g)} = 2.1 \text{ g} \times 600,000/100 \text{ g} = 12,600 \text{ g}$$

Por lo tanto, a escala industrial, con 600,000 gramos de tejido, tendríamos aproximadamente 12,600 g de óxido de zinc (ZnO).

Si el óxido de zinc (ZnO) tiene un precio de 70 € por kg y tenemos 2,100 g de óxido de zinc (ZnO), podemos calcular el costo total.

$$\text{Coste óxido de zinc (€/lote)} = 70\text{€} \times 12.8 \text{ kg /lote} = \mathbf{896 \text{ €/lote}}$$

Por lo tanto, el coste total de óxido de zinc (ZnO) es de **896 €/lote**.

- Resina acrílica

En el caso de la resina acrílica se calcularía de la misma manera. Dado una solución con una concentración de 50 g/L de resina acrílica y una cantidad de 1000 mL de la solución, podemos calcular la cantidad de resina acrílica presente en 70 mL de dicha solución. La concentración de 50 g/L indica que en cada litro de solución hay 50 g de resina acrílica. Al dividir la concentración por el volumen, encontraremos la cantidad de resina acrílica en 1 mL de solución.

$$\text{Cantidad de resina acrílica (g)} = 50 \text{ g/L} \times 70\text{mL} / 1000 \text{ mL} = 3.5 \text{ g}$$

Si tenemos una proporción de 3.5 g de resina acrílica por cada 100 g de tejido, podemos calcular la cantidad de resina presente en 600,000 g de tejido a escala industrial.

$$\text{Cantidad de resina acrílica (g)} = 3.5 \text{ g} \times 600,000/100 \text{ g} = 21,000 \text{ g}$$

Si la resina tiene un precio de 13 € por kg y tenemos 2,100 g de resina, podemos calcular el costo total de la resina acrílica.

$$\text{Cote total resina acrílica(€/lote)} = 13\text{€} \times 21 \text{ kg /lote} = \mathbf{273 \text{ €/lote}}$$

Por lo tanto, el coste total de resina acrílica es de **896 €/lote**.

- Carbonato de sodio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)

Por otro lado, se trabajase con 5 g/L de carbonato de sodio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) para aumentar su solubilidad al igual que todos los colorantes que se utilizan para tinter las fibras celulósicas y

20 g/L de Sulfato sódico anhidro para neutralizar las cargas (ya que colorante y fibra cargas negativas).

Si tenemos una cantidad de 5 g de carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) en un litro, podemos calcular la cantidad total de carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) en 18,000 L multiplicando esta cantidad por el factor de escala.

$$\text{Cantidad carbonato de sodio (g)} = (5 \text{ g} \times 18,000 \text{ L}) / 1 \text{ L} = 90,000 \text{ g}$$

Si el carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) tiene un precio de 6.11 € por kg y tenemos 90 kg de carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), podemos calcular el costo total de carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ).

$$\text{Coste total carbonato de sodio (€/L)} = 6.11\text{€} \times 90 \text{ kg /lote} = \mathbf{549 \text{ €/lote}}$$

Por lo tanto, el coste total de carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) es de **549€/lote**.

- Sulfato sódico anhidro

Si tenemos inicialmente 20 g de sulfato sódico en un litro de solución, podemos calcular la cantidad total de sulfato sódico en 18,000 L de solución multiplicando esta cantidad inicial por el factor de escala.

$$\text{Cantidad sulfato sódico (g)} = 20 \text{ g} \times 18,000 \text{ L} = 360,000 \text{ g.}$$

Si el sulfato sódico tiene un precio de 5.71 € por kg y tenemos 360 kg de sulfato sódico, podemos calcular el costo total del sulfato sódico

$$\text{Coste total sulfato sódico (€/lote)} = 5.71\text{€} \times 360 \text{ kg /lote} = \mathbf{2,055.6 \text{ €/lote}}$$

Por lo tanto, el coste total de sulfato sódico es de **2,055.6 €/lote**.

- Colorante comercial

Por último, el colorante comercial se calcula de la siguiente manera indicia. Si inicialmente tenemos 0.2 g de colorante comercial en 100 g de tejido, podemos calcular la cantidad total de colorante comercial en 600,000 de tejido.

$$\text{Cantidad colorante comercial (g)} = 0.2 \text{ g} \times 600,000 \text{ g} / 100 \text{ g} = 1,200 \text{ g.}$$

Si el colorante comercial tiene un precio de 9 € por kg y tenemos 1.2 kg de colorante comercial podemos calcular el costo total.

$$\text{Coste colorante comercial (€/lote)} = 9\text{€} \times 1.2 \text{ kg /lote} = \mathbf{10.8 \text{ €/lote}}$$

En la siguiente tabla se resumirá los costes del colorante comercial:

*Tabla 9: Coste total del colorante natural.*

PRODUCTOS	PRECIO (€/lote)
Óxido de Zinc (ZnO)	896
Resina acrílica	273
Carbonato de sodio (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	549
Sulfato sódico anhidro	2,055.6
Colorante comercial	10.8
Operario	37.38
Energía	1849.30
<b>Total</b>	<b>5,671.08</b>

Por lo tanto, el coste total de mi colorante comercial es de **5,671.08€/lote**.

El cálculo del precio por metro de tela se realiza considerando un lote con una longitud total de 2040 metros y un valor total de 5,671.08€. Para determinar el precio por metro, empleamos la siguiente fórmula:

$$\text{Coste colorante comercial (€/m)} = 5,671.08\text{€} / 2040 \text{ m} = \mathbf{2.78 \text{ €/m}}$$

En comparación con nuestro colorante natural, el colorante comercial ha mostrado un coste de 2.78 €/m. Sin embargo, es importante destacar una diferencia fundamental entre ambos: nuestro colorante natural tiene la capacidad de proporcionar dos funciones esenciales en un solo proceso, a diferencia del colorante comercial.

Nuestro colorante natural ofrece una doble ventaja al brindar tanto baja coloración como protección ultravioleta (UPF). Esto significa que, al someter el material al proceso de tintura con nuestro colorante natural, se obtiene automáticamente la certificación de UPF, garantizando una protección eficaz contra los dañinos rayos ultravioleta del sol. Por otro lado, el colorante comercial requiere la realización de dos procesos separados para lograr los mismos resultados.



Además de su versatilidad, nuestro colorante natural destaca por su enfoque sostenible y libre de sustancias tóxicas. A diferencia del colorante comercial, no utilizamos productos químicos nocivos ni productos auxiliares en nuestra formulación. Esto no solo garantiza una mayor seguridad para los usuarios y el medio ambiente, sino que también se alinea con los principios de sostenibilidad y cuidado del medio ambiente.

La viabilidad técnica del proceso ha sido comprobada, lo que asegura que pueda adaptarse y funcionar adecuadamente en condiciones de mayor producción. Asimismo, la viabilidad económica indica que los costos asociados son razonables y justificables. Este enfoque ofrece una oportunidad prometedora para avanzar en la investigación y desarrollo de tejidos innovadores con características deseables para la protección solar y la reducción de la coloración, utilizando los residuos orgánicos del café como materia prima.

## 7. CONCLUSIÓN

Para concluir este Trabajo de Fin de Grado (TFG) sobre "Tejidos con protección solar y baja coloración a partir de extractos de residuos orgánicos del café", se ha comprobado que las sustancias derivadas de los residuos orgánicos del café poseen la capacidad deseada para lograr tejidos con propiedades específicas. A lo largo de este trabajo, hemos realizado un análisis exhaustivo que nos ha permitido comprender las condiciones óptimas para el proceso, como un pH de 7, una concentración de sustancias húmicas de 1845 mg/L y una temperatura de 95 °C. Además, se ha tenido en cuenta la necesidad de alcanzar un equilibrio entre la optimización de los resultados y la preservación de la integridad del material utilizado.

Los resultados obtenidos en este estudio son de gran relevancia para el avance del conocimiento en el campo de la protección solar y la baja coloración en tejidos. Estos resultados contribuyen a ampliar nuestra comprensión sobre la optimización de los procesos de adhesión de sustancias húmicas. Se pudo observar que, en casos donde se trabaja con concentraciones bajas, es necesario aplicar una temperatura más elevada para lograr una adhesión óptima. Por otro lado, cuando las concentraciones son altas, es posible obtener el mismo resultado sin aplicar tanta fuerza, debido a que se alcanza el mismo porcentaje de adhesión. Esta relación entre concentración, temperatura y adhesión es fundamental para establecer condiciones de trabajo más eficientes y efectivas en diversos procesos industriales.

En términos económicos, se destaca la importancia del proceso de escalado. Este proceso nos ha permitido explorar una amplia variedad de condiciones con un número reducido de experimentos, lo cual es crucial para maximizar la eficiencia y minimizar los costos en la producción a gran escala. Al comparar nuestro enfoque con otros procesos similares, hemos logrado una ventaja al obtener simultáneamente baja coloración y protección ultravioleta en un solo proceso, mientras que otros métodos requieren etapas separadas para cada objetivo.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que el costo del colorante obtenido en nuestro proceso aún no está completamente optimizado y sigue siendo una limitación económica. A pesar de esto, es probable que el precio final de nuestros tejidos sea similar al de alternativas similares en el mercado. Estos hallazgos respaldan la viabilidad de nuestro enfoque y sientan las bases para futuras investigaciones y mejoras en el proceso de obtención de colorantes con el objetivo de alcanzar una mayor eficiencia y rentabilidad.

Este TFG ha demostrado la viabilidad de utilizar extractos de residuos de café como principios activos para conferir protección UV a los textiles y dotarlos así de propiedades técnicas específicas para su aplicación en diversos productos. Estos hallazgos abren una nueva línea de investigación en la cual se llevarán a cabo diferentes acciones para evaluar su viabilidad en aplicaciones industriales.

Un aspecto relevante que considerar es la intensidad de color, es decir, la capacidad de determinar los polifenoles presentes en los extractos que proporcionan protección UV sin alterar el color del sustrato textil. Esto resulta fundamental para garantizar que los tejidos mantengan su aspecto estético original sin comprometer su funcionalidad de protección solar.

Esta investigación sienta las bases para futuros estudios que permitan optimizar los procesos de aplicación de los extractos de residuos de café en el textil, así como para explorar otras propiedades y aplicaciones potenciales. Estos avances contribuirán al desarrollo de productos innovadores en el sector textil, combinando funcionalidad y sostenibilidad a partir de recursos renovables.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] P.Velenturf, & P.Puernell, (1 de Septiembre de 2017). Resource Recovery from Waste: Restoring the Balance between Resource Scarcity and Waste Overload. *Sustainability*, 9, 17.
- [2] Y.Ren, Y.Moriguchi, W.Crane, F.Krausman, N.Eisenmenger, S.Gilijum, (2011). *Uso de los recursos naturales e impactos ambientales del crecimiento económico*. Google Scholar.
- [3] Ukka, Castro, Pietil, P.E, & J.J. (s.f.). Agua, política y gobernanza. *Environmental History*. 235-251, 16.
- [4] Pierrat, E., Laurent, A., Dorber, Rygaardc, Veronesb, F., & Haushild, (20 de Abril de 2023). Avances en las evaluaciones de la huella hídrica: combinación de los impactos de la contaminación y la escasez del agua. *ELSEVIER*, 870, 14.
- [5] Gharib, Blumberg, Manning, D., GoemanS, & Arabi, (1 de May de 2023). Assessment of vulnerability to water shortage in semi-arid river basins: The value of demand reduction and storage capacity. *ELSEVIER*, 871, 12.
- [6] Sysop (2021). Uso y Tratamiento del Agua en la Industria Textil. Fluence. <https://www.fluencecorp.com/es/uso-de-agua-en-industria-textil/>
- [7] Niinimäki, Peters, Bontempi, Perry, Rissanen, & Gwilt, (2020b). The environmental price of fast fashion. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(4), 189-200.
- [8] Fluence Corp. (s.f.). Uso de agua en la industria textil. <https://www.fluencecorp.com/es/uso-de-agua-en-industria-textil/>
- [9] Noticia del Parlamento Europeo. (s.f.). El impacto de la producción textil y de los residuos en el medio ambiente.

<https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20201208STO93327/el-impacto-de-la-produccion-textil-y-de-los-residuos-en-el-medio-ambiente>

[10] Sanchez Sorondo, M., Ramanathan, V., & Al-delaimy, (2020). Health of people, health of planet and our responsibility.

[11] Das, P., & Horton, R. (19 de Octubre de 2017). Contaminación, salud y el planeta: hora de actuar con decisión. *The Lancet*, 391(10119), 408.

[12] Cambio Climático y Salud. (s. f.). OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud. <https://www.paho.org/es/temas/cambio-climatico-salud>

[13] National Geographic España. (2023, 21 junio). National Geographic. <https://www.nationalgeographic.es/>

[14] Economía circular: definición, importancia y beneficios | Noticias | Parlamento Europeo. (s. f.). <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios>.

[15] Circular economy action plan. (s. f.). Environment. [https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan\\_en](https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en)

[16] ¿Cómo quiere la UE lograr una economía circular para 2050? | Noticias | Parlamento Europeo. (2021, 2 marzo). <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20210128STO96607/como-quiere-la-ue-lograr-una-economia-circular-para-2050>

[17] (Meneses & Meneses, 2020)

[18] (La eficiencia en el uso de los recursos y la economía circular | Fichas temáticas sobre la Unión Europea | Parlamento Europeo, s. f.)

[19] (National Geographic España, 2023c)

[20] Mosquera, D. E. (2019). Aprovechamiento y transformación de residuos textiles para el desarrollo de accesorios complementarios de moda. Proyecto Final de Diseño Industrial. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/46139>

[21] Sanchez Ceron, B., Allende Valera, G., Mendonza Hernandez, J., & Perez Osorio, G. (7 de July de 2022). Biodegradación De Colorantes Textiles Por Escherichia Coli. International Multilingual Journal of Science and Technology (IMJST), 7, 9.

[22] (Economía circular y gestión de residuos en el sector de la moda - Genia Bioenergy, s. f.)

[23] Canales, D. (2019b). Valorización material del residuo textil. Comunidad ISM. <https://www.comunidadism.es/valorizacion-material-del-residuo-textil/>

[24] Santi, A. (2023, 2 marzo). Can clothes ever be fully recycled BBC Future. <https://www.bbc.com/future/article/20230227-how-to-recycle-your-clothes>

[25] Del Campo Ruiz, R. (2023, 9 febrero). Moda re- publica un informe pionero sobre el reciclado textil en España | Moda re-. Moda re-. <https://modare.org/2021/06/02/moda-re-publica-un-informe-pionero-sobre-el-reciclado-textil-en-espana/>

[26] Dissanayake, D., & Weerasinghe, D. (2021). Fabric Waste Recycling: a Systematic Review of Methods, Applications, and Challenges. Materials Circular Economy, 3(1). <https://doi.org/10.1007/s42824-021-00042-2>

[27] (Mosquera, 2019)

[28] (El costo ambiental de estar a la moda, 2021)

[29] Torres, N., García-Raurich, J., Canal, J.M., & Riba-Moliner, M. (2021). Orange Peel-Based Adsorbent for the Removal of C.I. Disperse Blue 56 from Textile Dye Industry Effluents.

[30] Ultrasonics, H. (2021). Improved Textile Fiber Dyeing with Ultrasonics. Hielscher Ultrasonics. <https://www.hielscher.com/es/improved-textile-fiber-dyeing-with-ultrasonics.htm>

[31] (Archivo Digital UPM, s. f.)

[32] Efectos de los rayos infrarrojos. Primera Edición. <https://www.primeraedicion.com.ar/nota/261409/efectos-de-los-rayos-infrarrojos/>

[33] (Maldonado,2014)

[34] Recomendaciones de la OMS para protegerse de los rayos solares. (s. f.). OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud. <https://www.paho.org/es/noticias/29-12-2010-recomendaciones-oms-para-protegerse-rayos-solares>

[35] Otaviano, B. T. H., Sannomiya, M., Da Costa, S. M., Da Costa, S. M., De Lima, F. F., Tangerina, M. M. P., Tamayose, C. I., Ferreira, M. U., Freeman, H. S., & Flor, J. (2023). Pomegranate peel extract and zinc oxide as a source of natural dye and functional material for textile fibers aiming for photoprotective properties. *Materials Chemistry and Physics*, 293, 126766.

[36] Rani, N., Jajpura, L., & Joshi, M. (2020). Ecological Dyeing of Protein Fabrics with Carica papaya L. Leaf Natural Extract in the Presence of Bio-mordants as an Alternative Copartner to Metal Mordants. *Journal of the Institution of Engineers (India) series E*, 101(1), 19-31

[37] Chao, Y., Ho, T., Cheng, Z., Kao, L., & Tsai, P. (2017). A study on combining natural dyes and environmentally friendly mordant to improve color strength and ultraviolet protection of textiles. *Fibers and Polymers*, 18(8), 1523-1530

[38] Grifoni, D., Bacci, L., Zipoli, G., Albanese, L., & Sabatini, F. M. (2011). The role of natural dyes in the UV protection of fabrics made of vegetable fibres. *Dyes and Pigments*, 91(3), 279-285.

[39] Arthos Noriega, M. M. (2019). Plan de negocios para la producción y comercialización de sombrillas con protección UV en la ciudad de Quito (Tesis de pregrado). Universidad de las Américas, Quito.

[40] Broadbent A D (2001), *Basic Principles of Textile Coloration*, SDC, Bradford. Christie R M, Mather R R and Wardman R H (2000), *The Chemistry of Colour Application*, Blackwell Science Ltd, Oxford.

[41] Klemm D, Philipp B, Heinze T, Heinze U and Wagenknecht W (2004 ), *Comprehensive Cellulose Chemistry* , Vol. 1 : *Fundamentals and Analytical Methods* , Wiley-VCH, Weinheim.

[38] King D (2007), *Dyeing of cotton and cotton products*. In *Cotton: Science and Technology*, Gordan S and Hsieh Y L (Eds.), Woodhead, Cambridge.

[42] Hsieh Y L (2007), *Chemical structure and properties of cotton*. In *Cotton: Science and Technology* , Gordan S and Hsieh Y L (Eds.), Woodhead, Cambridge.

[43] *Chemistry and Technology of Natural and Synthetic Dyes and Pigments*. (s. f.). Google Books