



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

## Escuela Politécnica Superior de Alcoy

Empleo de extractos de residuos orgánicos como  
colorantes textiles naturales.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Química

AUTOR/A: Pla Sanchis, Paula

Tutor/a: Santos-Juanes Jordá, Lucas

Cotutor/a: Bou Belda, Eva

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

## RESUMEN

La industria textil es una de las industrias más importantes y contaminantes, esto se debe a la utilización de compuestos químicos, como los colorantes sintéticos que se utilizan durante los procesos de tintura de manera convencional. La sustitución de los colorantes sintéticos por colorantes naturales es una idea beneficiosa para el medio ambiente convirtiéndose en una solución al problema de la contaminación provocada por la industria textil.

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Grado (TFG) consistirá en estudiar la capacidad de los residuos urbanos para teñir tejidos y lograr una alta protección UV con una intensidad de color óptima.

En este estudio se utilizarán extractos de residuos orgánicos a partir de sustancias húmicas, con los que se obtienen colorantes naturales. La utilización de los residuos como materia prima para la actividad industrial puede ayudar a la economía circular a disminuir el desperdicio y los efectos ambientales dañinos de la industria textil convencional.

Para este proyecto experimental, se variarán tres factores clave: el pH, la temperatura y la concentración de HLS. Se estudiará la relación directa que puede existir entre la capacidad de bloquear los rayos ultravioletas y su capacidad para tinter textiles con la variación de los factores modificados durante el experimental. Lo que se busca es que con la variación de los tres factores se puedan obtener capacidades óptimas de tintado, intensidad en el color de los tejidos y un alto factor de protección ultravioleta (UPF).

En conclusión, los resultados que puedan obtenerse serán importantes tanto para la actividad de la industria textil como para los clientes que puedan buscar opciones de textil que sean mucho más beneficiosas para la salud con respecto a la protección contra la radiación UV (ultravioleta) mientras que por otro lado también serán beneficiosos en términos de producción sostenible.

**Palabras clave:** Sustancias húmicas, residuos orgánicos, quitosano, colorante natural.

## RESUM

La indústria tèxtil és una de les indústries més importants i contaminants, això es deu a la utilització de compostos químics, com els colorants sintètics que s'utilitzen durant els processos de tintura de manera convencional. La substitució dels colorants sintètics per colorants naturals és una idea beneficiosa per al medi ambient convertint-se en una solució al problema de la contaminació provocada per la indústria tèxtil.

L'objectiu principal d'aquest Treball de Fi de Grau (TFG) consistirà a estudiar la capacitat dels residus urbans per a tenyir teixits i aconseguir una alta protecció UV amb una intensitat de color òptima.

En aquest estudi s'utilitzaran extractes de residus orgànics a partir de substàncies húmiques, amb els quals s'obtenen colorants naturals. La utilització dels residus com a matèria primera per a l'activitat industrial pot ajudar l'economia circular a disminuir el desaprofitament i els efectes ambientals nocius de la indústria tèxtil convencional.

Per a aquest projecte experimental, es variaran tres factors clau: el pH, la temperatura i la concentració de \*HLS. S'estudiarà la relació directa que pot existir entre la capacitat de bloquejar els raigs ultraviolats i la seua capacitat per a tintar tèxtils amb la variació dels factors modificats durant l'experimental. El que es busca és que amb la variació dels tres factors es puguin obtenir capacitats òptimes de tintat, intensitat en el color dels teixits i un alt factor de protecció ultraviolada (UPF).

En conclusió, els resultats que puguin obtenir's seran importants tant per a l'activitat de la indústria tèxtil com per als clients que puguin buscar opcions de tèxtil que siguin molt més beneficioses per a la salut respecte a la protecció contra la radiació UV (ultraviolada) mentre que d'altra banda també seran beneficiosos en termes de producció sostenible.

**Paraules clau:** Substàncies húmiques, residus orgànics, quitosano, colorant natural.

## **ABSTRACT**

The textile industry is one of the most important and polluting industries, this is due to the use of chemical compounds, such as synthetic dyes that are used during dyeing processes in a conventional way. The replacement of synthetic dyes by natural dyes is a beneficial idea for the environment becoming a solution to the problem of pollution caused by the textile industry.

The main objective of this Final Degree Project (TFG) will be to study the capacity of urban waste to dye fabrics and achieve high UV protection with optimal color intensity.

In this study, extracts of organic residues from humic substances will be used, with which natural dyes are obtained. The use of waste as a raw material for industrial activity can help the circular economy to reduce waste and the harmful environmental effects of the conventional textile industry.

For this experimental project, three key factors will be varied: pH, temperature and HLS concentration. The direct relationship that may exist between the ability to block ultraviolet rays and its ability to dye textiles with the variation of the factors modified during the experiment will be studied. What is sought is that with the variation of the three factors can be obtained optimal dyeing capabilities, intensity in the color of the fabrics and a high ultraviolet protection factor (UPF).

In conclusion, the results that can be obtained will be important both for the activity of the textile industry and for customers who may look for textile options that are much more beneficial to health with respect to protection against UV (ultraviolet) radiation while on the other hand they will also be beneficial in terms of sustainable production.

**Keywords:** Humic substances, organic waste, chitosan, natural dye.

## Índice general

<b>RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>RESUM</b> .....	<b>2</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>3</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>9</b>
1.1    IMPACTO AMBIENTAL DE LAS ACTIVIDADES INDUSTRIALES .....	9
1.2    IMPACTO AMBIENTAL INDUSTRIA TEXTIL .....	11
1.3    REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS PARA SU USO EN LA INDUSTRIA TEXTIL.....	12
1.4    USO DE RESIDUOS COMO COLORANTES TEXTILES .....	15
1.5    CAPACIDAD DE PROTECCIÓN UV (UPF) EN TEXTILES .....	17
1.6    APLICACIONES TEXTILES CON ALTA PROTECCIÓN UV .....	18
1.7    SUSTANCIAS TIPO HÚMICAS Y MÉTODO DE EXTRACCIÓN.....	20
1.8    MEDIDA DE COLOR .....	22
<b>2. PROCESO DE TINTURA</b> .....	<b>25</b>
2.1    EL ALGODÓN .....	25
2.2    COLORANTES TEXTILES .....	27
2.3    PROCESO DE TINTURA DEL ALGODÓN .....	28
2.4    MORDENTADO .....	29
2.5    PROCESO DE TINTURA.....	30
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>32</b>
<b>4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL</b> .....	<b>34</b>
4.1    MATERIALES.....	34

4.2	EQUIPOS.....	35
4.2.1	<i>Agua destilada</i> .....	35
4.2.2	<i>Pretratamiento textil</i> .....	35
4.2.3	<i>Ajuste del pH</i> .....	36
4.2.4	<i>Proceso de tintura</i> .....	37
4.2.5	<i>Medición con espectrofotómetro</i> .....	38
4.2.6	<i>Medición de la transmitancia</i> .....	39
4.2.7	<i>Medición de color</i> .....	41
4.3	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	41
4.3.1	<i>Diseño experimental</i> .....	41
4.3.2	<i>Preparación de las sustancias húmicas</i> .....	43
4.3.3	<i>Pretratamiento del textil</i> .....	43
4.3.4	<i>Proceso de tintura</i> .....	44
4.3.5	<i>Medida color</i> .....	45
4.3.6	<i>Medida UPF</i> .....	45
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>46</b>
5.1	VALORES EXPERIMENTALES DE TEMPERATURA 80°C.....	48
5.2	VALORES EXPERIMENTALES DE TEMPERATURA 95°C.....	51
5.3	VALORES EXPERIMENTALES DE TEMPERATURA 65°C.....	53
<b>6.</b>	<b>ESCALADO DE LAS CONDICIONES DE PROCESO</b> .....	<b>60</b>
<b>7.</b>	<b>ESTUDIO ECONÓMICO</b> .....	<b>63</b>
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIÓN</b> .....	<b>70</b>
<b>9.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>72</b>

## Índice de tablas

TABLA 1. MATRIZ DOEHLERT.....	43
TABLA 2. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE UPF .....	47
TABLA 3. VALOR UPF DEL TEJIDO SIN TRATAR .....	47
TABLA 4. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE MEDIDA DE COLOR .....	48
TABLA 5. MEDICIONES EXPERIMENTALES A TEMPERATURA 80°C.....	51
TABLA 6. MEDICIONES EXPERIMENTALES A TEMPERATURA 95°C.....	53
TABLA 7. MEDICIONES EXPERIMENTALES A TEMPERATURA 65°C .....	55
TABLA 8. VALORES ÓPTIMOS PARA L* .....	56
TABLA 9. VALORES ÓPTIMOS PARA UPF .....	58
TABLA 10. COMPARACIÓN DEL CONSUMO A ESCALA DE LABORATORIO FRENTE AL CONSUMO A ESCALA INDUSTRIAL.....	61
TABLA 11. COMPARACIÓN DEL CONSUMO PARA UN COLORANTE NATURAL FRENTE AL CONSUMO PARA UN COLORANTE COMERCIAL. ....	64
TABLA 12. COMPARATIVA DE LOS PRECIOS BASE UTILIZADOS PARA UN COLORANTE NATURAL Y UN COLORANTE COMERCIAL .....	65
TABLA 13. COSTES DE UN OPERARIO QUE TRABAJA 8H Y 1H .....	68
TABLA 14. COSTES DE PRODUCCIÓN PARA EL COLORANTE NATURAL Y EL COLORANTE COMERCIAL .....	69

## Índice de figuras

FIGURA 1. PRINCIPALES CONTAMINANTES EN ALGUNOS PROCESOS DE LA INDUSTRIA TEXTIL DEL ALGODÓN .....	12
FIGURA 2. ESQUEMA DE ECONOMÍA CIRCULAR.....	14
FIGURA 3. COMPARACIÓN DE ECONOMÍA LINEAL FRENTE A ECONOMÍA CIRCULAR.....	15
FIGURA 4. CLASIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES ORGÁNICOS DEL SUELO.....	20
FIGURA 5. EJEMPLO DE MEDICIÓN DE COLOR DE UNA MANZANA.....	22
FIGURA 6. REPRESENTACIÓN DEL ESPACIO CIELAB.....	23
FIGURA 7. EJEMPLO DE GRÁFICA DE REPRESENTACIÓN DEL ESPACIO CIELAB.....	24
FIGURA 8. PERSPECTIVAS DE LA DEMANDA DE TEXTILES.....	26
FIGURA 9. ESTRUCTURA QUÍMICA DE LA CELULOSA.....	27
FIGURA 10. ESTRUCTURA QUÍMICA DEL FENOLATO.....	28
FIGURA 11. ESTRUCTURA QUÍMICA DEL QUITOSANO.....	29
FIGURA 12. MUESTRA DE EXTRACTOS HÚMICOS DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	34
FIGURA 13. EQUIPO DE OBTENCIÓN DEL AGUA DESTILADA.....	35
FIGURA 14. MÁQUINA DE IMPREGNACIÓN.....	36
FIGURA 15. MEDIDOR DE pH.....	36
FIGURA 16. MÁQUINA PARA TINTURA POR AGOTAMIENTO EN CERRADO.....	37
FIGURA 17. BAÑO DE TINTURA.....	38
FIGURA 18. MÁQUINA DE ESPECTROFOTOMETRÍA.....	39
FIGURA 19. LÁMPARA DE EMISIÓN DE LUZ UV JUNTO CON LA Sonda DETECTORA.....	40
FIGURA 20. CAJA OPACA.....	40



FIGURA 21. ESPECTROFOTÓMETRO DE REFLECTANCIA.....	41
FIGURA 22. ESPECTRO PARA TEMPERATURA 65°C, CON [HLS] 1500 Y PH 8.....	46
FIGURA 23. MUESTRA DE TELAS PARA TEMPERATURA 80°C.....	50
FIGURA 24. MUESTRA DE TELAS PARA TEMPERATURA 95°C.....	52
FIGURA 25. MUESTRA DE TELAS PARA TEMPERATURA 65°C.....	53
FIGURA 26. SUPERFICIE DE RESPUESTA ESTIMADA DE L*.....	55
FIGURA 27. SUPERFICIE DE RESPUESTA ESTIMADA DE UPF.....	57

# 1. Introducción

A continuación, se va a realizar una introducción teórica con respecto a la situación ambiental en la que se encuentra el planeta debido a la contaminación provocada por la actividad industrial, más concretamente a la situación provocada por la industria textil. Además, se va a concretar en como este estudio busca mediante la utilización de extractos de residuos orgánicos a partir de sustancias húmicas puedan utilizarse como colorantes textiles naturales favoreciendo así a la economía circular como se verá durante la introducción, y todo el estudio. Se hablará respecto a tejidos que presentan un alto factor de protección ultravioleta y las aplicaciones de tejidos con esta capacidad. Para concluir, se hará referencia a la medida de color que se realiza en los diferentes experimentos.

## 1.1 Impacto ambiental de las actividades industriales

Es evidente que la actividad industrial, como casi toda actividad humana tiene un impacto sobre el medio que le rodea. En general, se cree que la industrialización ha sido un factor clave y una parte integral del crecimiento económico. <sup>[1]</sup> A pesar de la importancia de la industria en la economía, numerosos estudios muestran el impacto perjudicial de las actividades industriales que afectan principalmente a los componentes del medio ambiente, incluidos suelo, materias primas, agua, aire y energía.

Un impacto ambiental es la alteración de la calidad del medio ambiente producida por una actividad humana. <sup>[2]</sup> La industria es un componente crucial de la economía europea, aunque también es una fuente de contaminación. Es evidente que la industria, como casi toda actividad humana tiene un gran impacto en el medio que le rodea. El impacto sobre la misma puede ser un efecto puntual y muy importante, que llegan a provocar cambios en la legislación industrial. Mientras que en otros casos el impacto es localizado y sin efectos tan perjudiciales, pero persistente en el tiempo por la continuidad de la actividad. El impacto ambiental de las actividades industriales afecta a muchos recursos entre los cuales se encuentran las siguientes áreas: Aire, Materias primas, Agua, Residuos y Energía. <sup>[3]</sup>

El agua y la energía son dos recursos altamente vulnerables a los impactos del cambio climático global <sup>[4]</sup>, además de ser dos componentes claves para la búsqueda del desarrollo sostenible mundial. <sup>[5]</sup> Los sistemas de agua son uno de los principales recursos

energéticos. Sin embargo, la situación actual tanto del agua como de la energía podría reflejarse en la escasez de ambas. La tecnología ha conseguido que en gran parte de las actividades industriales se utilice menos agua, aún así se sigue desperdiciando una gran cantidad. [6]

Además del agua y la energía, otro factor importante que influye en gran medida al impacto ambiental es el consumo de materias primas, que en consecuencia provoca una escasez considerable de estos recursos. El consumo de materias primas desempeña un papel crucial en diversas industrias y sectores económicos. El consumo de materias primas puede tener una serie de efectos perjudiciales para el medio ambiente, incluido el agotamiento de los recursos naturales, la extinción de especies, la contaminación del aire, el agua y el suelo y las emisiones de gases de efecto invernadero. Las prácticas sostenibles como el consumo reducido, la eficiencia de los recursos, el reciclaje y el uso de materias primas renovables y de bajo impacto deben promoverse para mitigar estos efectos. Además, se deben implementar leyes y regulaciones que respalden una economía circular y sostenible para disminuir todos los impactos ambientales que generan las actividades industriales. [7]

Muchas actividades industriales del país son responsables de la contaminación, ya que en ocasiones conducen a la transferencia directa o indirecta de desechos, residuos industriales (aire) y sólidos (materiales) al medio ambiente. La quema de desechos peligrosos como el petróleo, el carbón y el gas natural contamina la tierra, los ríos y los océanos y es una de las principales fuentes de contaminación industrial. El uso de combustibles fósiles, el manejo y almacenamiento inadecuado de desechos físicos y ambientales como plásticos, fábricas, uso excesivo de fertilizantes y químicos son algunas de las causas de la degradación ambiental. Las partículas producidas durante el proceso de contaminación, como el humo y los gases, ascienden a la atmósfera. La mayoría de los contaminantes vertidos por la industria en el aire y el agua son desechos peligrosos. [8]

Es importante implementar estrategias de gestión ambiental como el uso de tecnologías limpias, reducción de la contaminación ambiental, eliminación de desechos y medidas de gestión ambiental para reducir el daño al medio ambiente por parte de la industria. Para reducir la contaminación ambiental, es muy importante que las empresas respeten las leyes ambientales y cumplan con sus responsabilidades corporativas.

## 1.2 Impacto ambiental industria textil

La industria textil es considerada ecológicamente una de las industrias más contaminantes del mundo. Los problemas que hacen insostenible el ciclo de vida de los textiles y la confección incluyen el uso de productos químicos nocivos y el alto consumo de agua y energía. <sup>[9]</sup>

La industria textil es considerada una de las grandes industrias del mundo, sin embargo, es una de las que mayor consumo de agua y mayores aguas residuales generan. Existen numerosos procesos industriales que produce efluentes líquidos con una elevada cantidad de agentes contaminantes y que contienen una gran cantidad de compuestos orgánicos como los colorantes.

Entre las operaciones del proceso de fabricación textil industrial encontramos el pretratamiento, tintura, estampado y acabado. Estas operaciones no solo utilizan grandes cantidades de energía y agua, sino que además generan cantidades importantes de desechos ya que se utilizan colorantes y productos químicos. <sup>[10]</sup>

Sin embargo, el proceso que más afecta al impacto ambiental entre las operaciones de fabricación mencionada anteriormente es la tintura del algodón, siendo una de las partes más contaminantes de todo el proceso textil. La tintura del textil implica grandes cantidades de energía, agua, vapor y una variedad de productos químicos como agentes blanqueadores, colorantes, jabón, suavizante y sales, para obtener el color requerido. <sup>[11]</sup>

Por un lado, destaca porque vierte al agua una gran cantidad de residuos químicos, que contaminan los efluentes textiles. Los contaminantes más representativos entre estos productos químicos son los colorantes. Esta contaminación del agua provoca el deterioro ambiental y puede acelerar la propagación de enfermedades. <sup>[10]</sup> Para producir textiles se necesita mucha electricidad, combustible y agua, lo que resulta en la producción de efluentes contaminados y la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). El calentamiento global y el cambio climático son causados por estas emisiones de GEI. <sup>[12]</sup>

Además de contaminar el agua con productos químicos y efluentes textiles sin tratar, la industria textil también contribuye significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero y al daño ambiental. Por tanto, en términos de impacto sobre el medio ambiente, se considera una de las industrias más contaminantes. En la figura 1 se muestra

parte del proceso que se lleva a cabo en la industria textil y los contaminantes que se generan. [13]

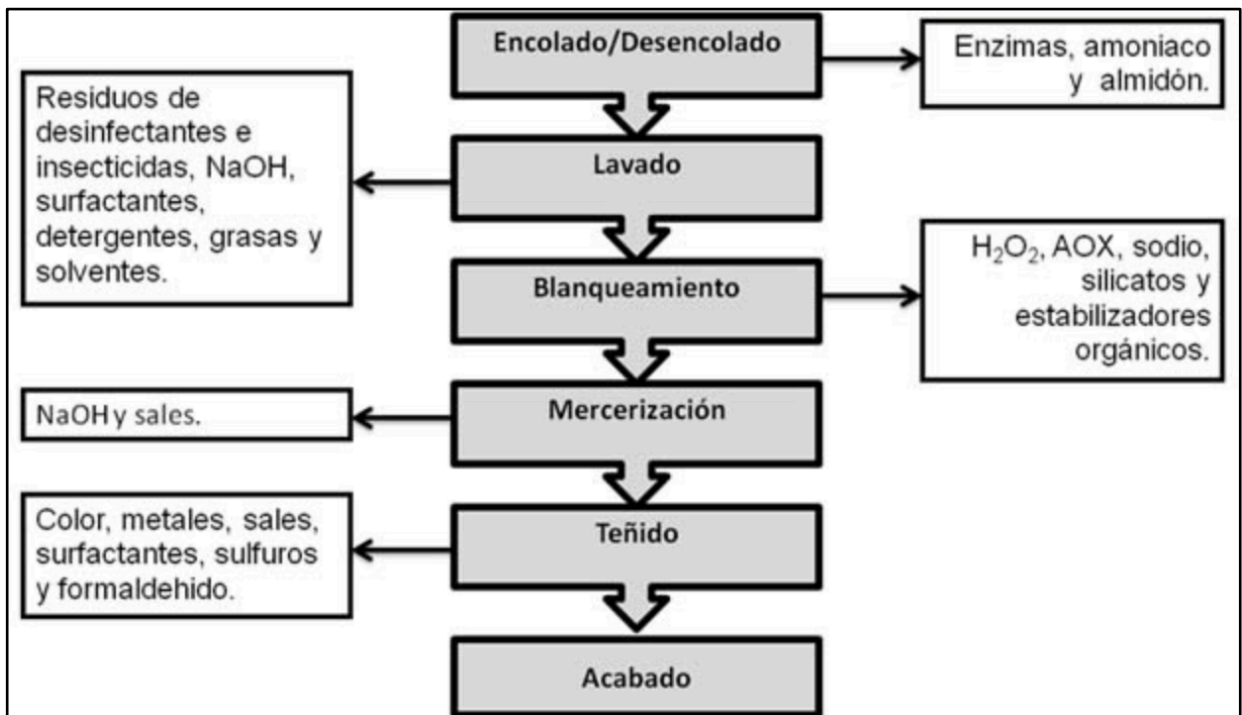


Figura 1. Principales contaminantes en algunos procesos de la industria textil del algodón

Fuente. <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa4/n3/e1.html>

La industria textil consume un total de 107 kg/año de colorantes entre los que se estima que el 90% acaba en los tejidos. Como resultado, la industria textil mundial libera alrededor de 1000 toneladas de colorante en los flujos de desechos cada año. [14] Además de dañar gravemente la vida acuática y la red alimentaria, la descarga de aguas residuales que contienen colorantes en arroyos y ríos no desarrollados también arruina el atractivo estético del medio ambiente. En los últimos años, ha llamado más la atención respecto a la utilización de residuos como fuente y material en algunas actividades industriales. El uso de residuos como colorantes en la industria textil es una forma de reutilizar los residuos en lugar de que estos ocasionen un impacto medioambiental. Esta idea forma parte de la estrategia denominada como economía circular.

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

La revalorización de residuos es un tema que va ganando importancia cada día, ya que la concienciación sobre el medio ambiente y las leyes más restrictivas respecto a la gestión

de residuos van en aumento.<sup>[15]</sup> El concepto de revalorización de residuos hace referencia a un proceso para reciclar, recuperar o reutilizar. En este proceso, al residuo se le da un nuevo valor, cambiando su función. Como resultado, estos residuos reciclados se utilizan en lugar de nuevos materiales. De esta manera, se disminuye la cantidad de residuos y contaminantes que terminan en los vertederos, alargando la vida útil del material. En el sector textil no solo reduce el volumen de residuos que se envían a los vertederos, sino que también contribuye a la conservación de los recursos al reutilizar los materiales existentes.

A la ropa y los textiles usados se les puede dar un nuevo propósito o valor a través de la revalorización de los textiles en lugar de desecharlos. También ayuda a conservar los recursos y proteger el medio ambiente al reducir la cantidad de desechos producidos y extender la vida útil de los textiles. Una estrategia muy importante para la revalorización de residuos es la economía circular, la cual tiene como objetivo reducir los desechos y aumentar el valor de los recursos utilizando los residuos como materia prima en los procesos de la industria mediante su reutilización, reciclaje y recuperación de energía.

La economía circular (EC), un componente clave de la estrategia Horizonte 2020 de la Unión Europea, es uno de los conceptos que más debaten actualmente los economistas ambientales. Se define como el “uso restaurativo” de los recursos, siendo su característica distintiva clave.<sup>[16]</sup>

En la figura 2 se observa un ciclo cerrado que representa la economía circular y como esta busca cerrar el ciclo de vida de los productos para su reutilización y disminución de los residuos, fomentando el reciclaje.

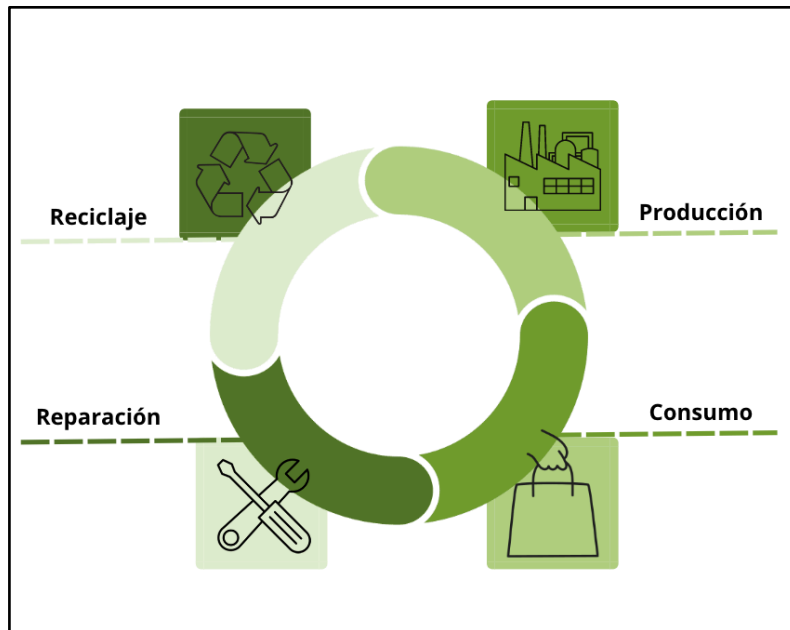


Figura 2. Esquema de economía circular

Fuente: propia

Las organizaciones responsables están instando a varias partes interesadas a rediseñar la cadena de suministro textil de una economía lineal a una circular. En la industria textil la revalorización de residuos es una práctica importante y directamente relacionada con la economía circular propuesta, la cual busca la sostenibilidad y reducción de la contaminación e impacto ambiental. La figura 3 representa una comparación entre la economía lineal y la economía circular, dos enfoques diferentes de gestión de recursos y producción.

En el lateral izquierdo de la ilustración, se muestra el modelo de economía lineal, que es el enfoque tradicional utilizado durante mucho tiempo. En este modelo, los recursos naturales se extraen para producir bienes, que luego se utilizan y, finalmente, se desechan como residuos.

En el lateral derecho, se muestra el modelo de economía circular, que propone un enfoque más sostenible y orientado a cerrar el ciclo de vida de los productos. En este modelo, los recursos se utilizan de manera más eficiente y se promueve la reutilización, el reciclaje y la valorización de los materiales

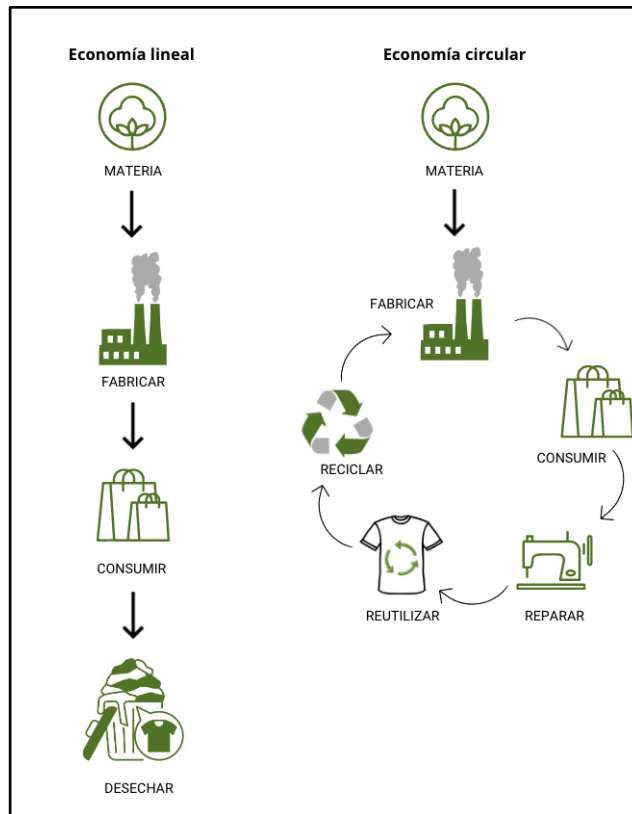


Figura 3. Comparación de economía lineal frente a economía circular

Fuente: propia

Como la economía circular la revalorización busca aprovechar los residuos generados en los procesos y transfórmalos en materias que puedan ser reutilizados para la fabricación textil. Con esta nueva perspectiva, existe algún enfoque a tomar, como el desarrollar fuentes de materias primas renovables, repensar la producción, maximizar el uso y reutilización de productos textiles como fibras.<sup>[17]</sup> También se pueden hacer uso de fibras vegetales o emplear subproductos de otras industrias como la alimentaria o la transformación de residuos para la fabricación textil.

#### 1.4 Uso de residuos como colorantes textiles

Los colorantes sintéticos en el pasado han ocupado en gran medida el lugar de los colorantes naturales en la industria textil. En comparación con los colorantes naturales, los colorantes sintéticos ofrecían un espectro de colores más amplio, mayor estabilidad y una producción más eficiente.<sup>[18]</sup> Por otro lado, el desperdicio de alimentos y la contaminación de residuos son problemas que influyen negativamente en el medio ambiente. Por lo tanto, uno de los objetivos principales de este estudio es revalorizar los



residuos generados y poder emplearlos para generar colorantes naturales que puedan ser utilizados en el proceso de tintura de tejidos en la industria textil.

Desde hace siglos, el uso de colorantes ha sido muy habitual en muchas de las actividades e industrias, en gran medida han sido utilizados para la tintura de telas, alimentos, flores, medicinas y constituyen uno de los mayores desafíos e inconvenientes en el tratamiento de aguas debido a su impacto.<sup>[19]</sup>

Lo que provoca controversia en su uso, ya que hasta hace unos años los colorantes sintéticos eran predominantes en la mayoría de las actividades industriales en las que los colorantes fueran necesarios. Pero actualmente, debido al conflicto generado con respecto a la contaminación de estos y a los problemas de salud que pueden provocar, estos están siendo sustituidos por colorantes de origen natural u obtenidos de procesos donde se reutilizan y revaloran los residuos de otras actividades industriales. Por todo ello, en este proyecto se analiza la posibilidad de a partir de extractos de residuos orgánicos obtener colorantes naturales que puedan ser utilizados en la industria textil para la tintura de telas con unas capacidades altas de protección.

Los colorantes comúnmente utilizados en la industria tintórea son principalmente orgánicos con diferentes estructuras y pesos moleculares, son perjudiciales para el medio ambiente y los organismos si no se tratan de manera eficiente antes de su liberación.<sup>[20]</sup> Los colorantes se pueden clasificar en tres categorías: aniónicos (colorantes directos, ácidos y reactivos), catiónicos (colorantes básicos) y no iónicos (colorantes dispersos que pueden ser aplicados por agotamiento formando finas dispersiones estabilizadas adicionando tensoactivos con propiedades dispersantes), donde dentro de cada categoría contiene muchos colorantes.<sup>[21]</sup> Los efluentes de la industria textil contienen una gran variedad de contaminantes provenientes de los diferentes procesos involucrados en la fabricación de fibras.<sup>[22]</sup>

Se pueden extraer diferentes productos químicos de diferentes tipos de residuos según el tipo de desechos y la técnica de conversión utilizada. Los desechos pueden tomar muchas formas diferentes, incluidos desechos industriales, urbanos, agrícolas y forestales, entre otros, y cada tipo puede tener una composición química diferente.<sup>[23]</sup> Aunque por el momento, los colorantes textiles provienen de diversos orígenes y tienen diversos usos. Los más comunes utilizados son los no biodegradables en el medio ambiente y de origen

sintético. Aunque cada vez más se están utilizando los residuos como fuente para colorantes en diversos sectores industriales, entre los cuales se encuentra la industria textil, alimentaria, cosmética, entre otras.

La utilización de residuos para obtener colorantes textiles es una metodología que actualmente está obteniendo mayor importancia entre ámbitos como la industria alimentaria, industria textil y la industria papelera, promoviendo así una industria más sostenible con el medio ambiente. Al revalorizar y aprovechar los residuos orgánicos ya sea de otras industrias o de residuos urbanos, se pueden obtener colorantes que ofrecen una alternativa más beneficiosa y respetuosa con el entorno que en su origen los colorantes sintéticos tradicionales.

Dado que se producen menos residuos y se utilizan materiales que de otro modo terminarían en vertederos o serían tratados como residuos, el uso de residuos como colorantes tiene ventajas desde el punto de vista medioambiental. Además, en comparación con los colorantes convencionales, que con frecuencia involucran procesos químicos costosos y pueden tener un impacto ambiental negativo, los colorantes fabricados a partir de desechos pueden brindar una opción más respetuosa con el medio ambiente. [24]

### **1.5 Capacidad de protección UV (UPF) en textiles**

El uso de prendas como protección solar es un método sencillo y clave para protegernos de las radiaciones UV. La capacidad de protección solar de la ropa puede medirse y regularse con un sistema denominado Factor de Protección Ultravioleta (UPF). El factor UPF se determina mediante un espectrofotómetro de transmitancia UVB y UVA a través de un tejido. [25]

El rango ultravioleta a infrarrojo de la radiación electromagnética que emite el sol se conoce como espectro solar. Está formado por fotones con diferentes longitudes de onda, que determinan la forma e intensidad espectral. La irradiación solar o la radiación del sol se puede utilizar para definirlo. La irradiación solar es la cantidad de energía que llega a la superficie terrestre, mientras que la radiación solar es la energía que emite directamente el sol.

A pesar de ser beneficioso en pequeñas dosis, los efectos acumulativos de la radiación ultravioleta sobre la piel la hacen potencialmente peligrosa. Los dermatólogos aconsejan que se proteja de la radiación ultravioleta excesiva. [26] La mayoría de los tejidos que usamos en nuestras ropas dejan pasar los rayos UV entre sus fibras, para que esto no ocurra el textil debe cumplir unas características de composición y estructura del tejido. Además, una excesiva exposición a las radiaciones puede tener efectos perjudiciales para la salud. Pueden causar quemaduras solares, envejecimiento de la piel y el aumento del riesgo a desarrollar enfermedades como cáncer. Por todo ello, la protección UV en los textiles también es crucial. Los tejidos pueden decolorarse, las fibras pueden deteriorarse y pueden perder sus propiedades físicas y funcionales debido a la radiación UV. [27]

Los textiles con protección UV pueden proporcionar una protección extremadamente eficaz contra los rayos UV. Para las telas, el término factor de protección ultravioleta (UPF) se usa como la medida de la penetración de la radiación ultravioleta a través de la tela. El UPF de una tela depende del contenido de fibra y el tejido, el color de la tela, los procesos de acabado y la presencia de aditivos.

El factor de protección ultravioleta (UPF) indica cuánta radiación UV (tanto UVB como UVA) un tejido permite llegar a tu piel. La ropa protege del sol, pero no todas las telas y colores proporcionan protección en la misma medida. Los colores oscuros o brillantes evitan que los rayos UV lleguen a la piel absorbiéndolos en lugar de permitir que penetren. Por otro lado, las telas densamente tejidas como pueden ser la lona, la lana o las fibras sintéticas son más protectoras frente a los rayos solares que las telas delgadas y transparentes. El algodón sin blanquear contiene ligninas naturales que actúan como absorbentes de rayos UV. Los poliésteres brillantes e incluso las sedas satinadas livianas pueden ser altamente protectores porque reflejan la radiación. [28]

## **1.6 Aplicaciones textiles con alta protección UV**

Una aplicación textil con alta protección UV utiliza materiales y tecnologías destinadas a bloquear o filtrar los rayos ultravioletas del sol, brindando a los usuarios una mayor protección. Estas aplicaciones son particularmente cruciales para la ropa y los accesorios utilizados para actividades al aire libre, deportes acuáticos y exposición prolongada al sol, entre otras cosas. [29]

- La ropa de protección solar es una gran opción para las personas que pasan mucho tiempo al aire libre porque está hecha específicamente para protegerte de los rayos UV del sol. Estas prendas, que pueden incluir camisas de manga larga, pantalones, sombreros y guantes, suelen tener un factor de protección solar (FPS) integrado en la tela.
- Los bañadores de protección solar son una gran opción para las personas que les gusta nadar, surfear o hacer pádel surf. Estos trajes se ajustan al cuerpo y están hechos de un tejido especial que bloquea los rayos UV para mayor protección.
- Sombrillas y toldos son una excelente manera de protegerse del sol en los sofocantes días de verano es con una sombrilla o un toldo. Existen numerosos tamaños y formas de sombrillas y toldos que pueden ofrecer protección UV adicional.
- Si tiene la intención de acampar en un lugar soleado, una tienda de campaña con protección UV puede ser una excelente opción. Estas tiendas de campaña están construidas con un material único que bloquea los rayos UV y puede ofrecer protección solar adicional.
- Cuando esté afuera, usar un paraguas o un sombrero para protegerse del sol es una gran idea. Mientras está sentado afuera, los paraguas pueden proporcionar sombra y los sombreros pueden agregar protección adicional para la cabeza y la cara. Ambos productos vienen en una variedad de looks y patrones.

Debido a sus propiedades especiales, el compuesto químico inorgánico óxido de titanio, también conocido como dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), se usa en una variedad de aplicaciones industriales y comerciales. La alta opacidad y la dispersión efectiva de la luz son dos propiedades del dióxido de titanio que lo hacen popular. Las partículas de dióxido de titanio también se pueden encontrar en protectores solares, ingredientes de protectores solares y artículos de cuidado personal, además de la industria de pinturas y revestimientos. Al reflejar y difundir los rayos ultravioletas (UV), el  $\text{TiO}_2$  funciona como un protector solar físico en estos productos, protegiendo la piel de los rayos nocivos del sol. <sup>[30]</sup> Debido a que los resultados del uso de  $\text{TiO}_2$  son satisfactorios, estas técnicas y materiales podrían usarse para aplicar nano partículas de  $\text{TiO}_2$  a tejidos con

facilidad de operación, buena reproducción, alta tasa de fijación y mejora de las propiedades del tejido.

### 1.7 Sustancias tipo húmicas y método de extracción.

Las sustancias tipo húmicas son una clase de compuestos orgánicos macromoleculares, se encuentran en el suelo, formados principalmente por la descomposición de materiales orgánicos como plantas, animales y residuos vegetales. Estas sustancias se caracterizan por su estructura compleja y su capacidad para retener nutrientes y mejorar la estructura del suelo.<sup>[31]</sup> Suele clasificarse la materia orgánica del suelo en sustancias húmicas y sustancias no-húmicas. Estas últimas sustancias comprenden todos los elementos categorizados (carbohidratos, lípidos, péptidos, aminoácidos, etc.), mientras que las sustancias húmicas constituyen la porción restante del material orgánico. En la figura 4 se encuentra un diagrama que muestra cómo se distribuye y clasifica la materia orgánica del suelo:

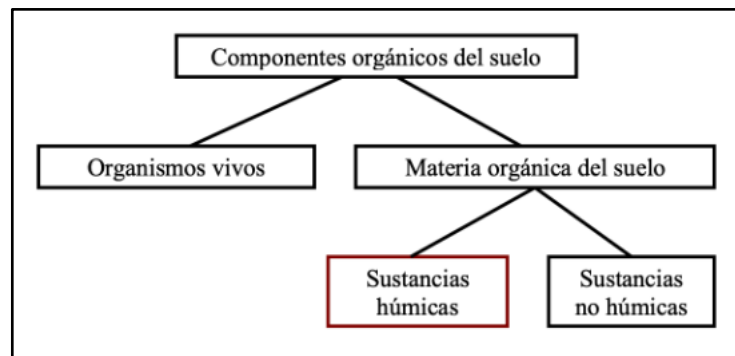


Figura 4. Clasificación de los componentes orgánicos del suelo

Fuente. <https://www.enqormix.com/agricultura/articulos/acidos-humicos-t29347.htm>

Existen tres principales tipos de sustancias húmicas: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas.

- Los ácidos húmicos (AH) son sólidos amorfos de color marrón oscuro que son la fracción más grande y menos soluble de las sustancias húmicas. Se componen principalmente de polímeros de alta masa molecular que se crean a través de la polimerización de compuestos orgánicos.

- Los ácidos fúlvicos (AF) son la fracción de sustancias húmicas que es más soluble. Son fácilmente dispersables en agua y no perceptibles por los ácidos. En comparación con los ácidos húmicos, tienen moléculas más claras y un color más pálido. <sup>[32]</sup>
- Las húminas son la fracción menos soluble de las sustancias húmicas y se componen de compuestos altamente polimerizados. Debido a su peso molecular extremadamente alto, las húminas generalmente no pueden disolverse en soluciones diluidas de ácido o alcalino. <sup>[33]</sup>

En cuanto al uso es crucial recordar que las sustancias de tipo húmico no se utilizan como colorantes textiles en su forma pura cuando se habla del uso de sustancias de tipo húmico extraídas de residuos sólidos urbanos orgánicos como colorantes textiles. Para utilizar estas sustancias como colorantes, se ha investigado cómo modificarlas químicamente. Las sustancias húmicas son los compuestos orgánicos naturales más comunes y se pueden encontrar en el suelo, el agua y los sedimentos de los lagos. Debido a las conexiones de los compuestos orgánicos con las fracciones minerales del suelo, la investigación de las sustancias húmicas es complicada y requiere la separación física y/o química de los componentes inorgánicos mediante un procedimiento de extracción antes de su análisis fisicoquímico. <sup>[34]</sup> El primer paso para aislar y caracterizar las sustancias húmicas es la extracción, que debe realizarse de la forma más natural e inalterada posible, evitando la coextracción de otro tipo de sustancias con características no húmicas como carbohidratos, grasas y aminoácidos, que interfieren con su funcionamiento. <sup>[35]</sup> El método de extracción idóneo debe cumplir los siguientes objetivos:

- La materia orgánica aislada no debe ser alterada por el método.
- Las impurezas inorgánicas como arcillas y cationes polivalentes no deben estar presentes en las sustancias húmicas que se obtengan.
- Si el peso molecular medio de la fracción obtenida es representativo de la muestra, la extracción puede considerarse satisfactoria. <sup>[36]</sup>

Los compuestos conocidos como sustancias de tipo húmico cuando se extraen de los residuos sólidos urbanos orgánicos pueden ser utilizados como colorantes textiles naturales y sostenibles, lo que proporciona una alternativa ecológica a los colorantes sintéticos. Debido a su afinidad por las fibras textiles y sus capacidades de pigmentación, las sustancias de tipo húmico se pueden usar como colorantes textiles. Estas sustancias, se crean cuando los materiales orgánicos se descomponen, proporcionan una alternativa sostenible y respetuosa con el medio ambiente a los colorantes sintéticos que se utilizan actualmente. Debido a su biodegradabilidad y la falta de productos químicos tóxicos, las sustancias húmicas se pueden usar como colorantes textiles para disminuir los efectos ambientales negativos por los que se conoce a la industria textil. La utilización de residuos orgánicos para crear colorantes de tipo húmico fomenta el reciclaje y disminuye la necesidad de recursos naturales, promoviendo la sostenibilidad en la industria textil.<sup>[37]</sup>

### 1.8 Medida de color

La percepción e interpretación del color son subjetivas. Cuando dos personas examinan el mismo objeto, pueden usar varios marcos de referencia y una amplia gama de palabras para describir el color. Internamente ya lo largo de la cadena de suministro, esto puede resultar en un estado de confusión y mala comunicación. Es necesario expresar el color en términos numéricos objetivos para evitar estas situaciones y asegurarse de que una muestra cumple con los estándares. En la figura 5 podemos observar un ejemplo de medición de color con valores numéricos respecto a una manzana.

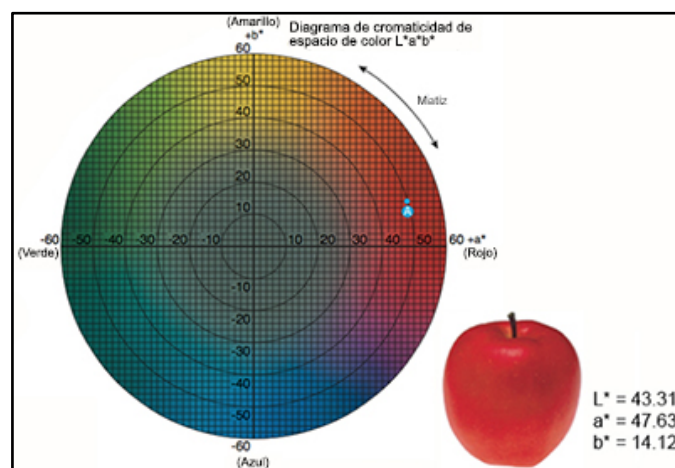


Figura 5. Ejemplo de medición de color de una manzana

Fuente. <https://thefoodtech.com/tecnologia-de-los-alimentos/medicion-de-color-en-alimentos-para-una-mejor-calidad-consistencia-y-apariencia/>

La medida de color es una herramienta importante en diversas industrias como para la industria textil donde se busca la consistencia y la calidad del producto en cuanto al color. Para garantizar la satisfacción del cliente y la consistencia de la producción, permite realizar comparaciones, correcciones y estándares de color. Para poder medir el color está el espacio de color CIELAB, también referido como espacio CIEL\*a\*b, es un sistema de coordenadas tridimensional que puede ser descrito como un método para expresar el color de un objeto. Es un espacio de color de uso común ya que correlaciona los valores de color numéricos y la percepción visual humana. Es utilizado por investigadores y fabricantes para evaluar las propiedades del color. [38] En la figura 6 se muestra la representación del espacio CIELAB donde puede observarse como funcionan los colores dependiendo del eje en el que se encuentren los valores.

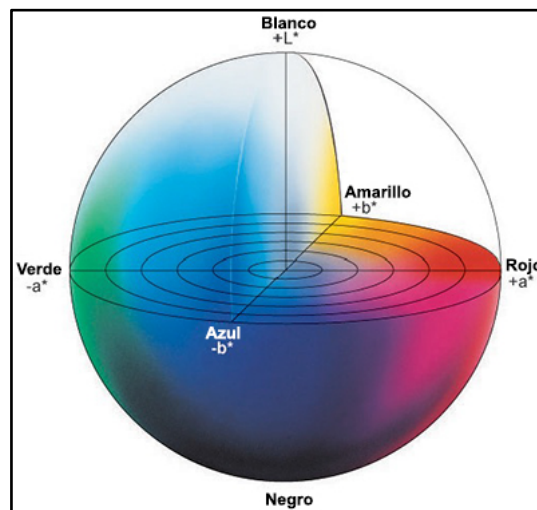


Figura 6. Representación del espacio CIELAB

Fuente. <https://sensing.konicaminolta.us/mx/blog/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>

Los espacios de color permiten la descripción de la posición de un color mediante el uso de tres coordenadas registradas que son:  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ . [39] La figura 7 muestra una representación visual del espacio de color CIELAB. En el eje vertical se encuentra la luminosidad  $L^*$  tomando valores desde 0 que corresponde al negro a 100 que corresponde a blanco, donde los valores altos representan colores más claros y los valores bajos colores más oscuros. En los ejes horizontales se encuentran los componentes de color  $a^*$  y  $b^*$ . En el eje  $a^*$  representa la escala de color que va desde el verde ( $-a^*$ ) hasta el rojo



(+a\*). El eje b\* representa la escala de color que va desde el azul (-b\*) hasta el amarillo (+b\*). [40]

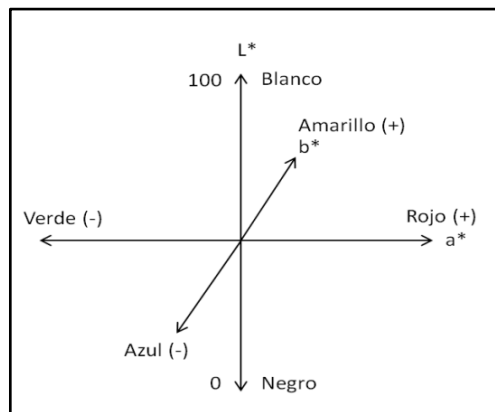


Figura 7. Ejemplo de gráfica de representación del espacio CIELAB

Fuente. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0012-73532014000200006](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532014000200006)

En la medición del color, la relación entre la absorción de la luz y la dispersión de la luz por parte de un objeto o una muestra de color se denomina "K/S". K/S hace referencia a la cantidad de luz que un material es capaz de reflejar (K) frente a la cantidad de luz que se ha absorbido (S). Para calcular el valor K/S en la medición del color, la reflectancia o transmitancia de una muestra de color se contrasta con una muestra de referencia o un estándar reconocido. El valor K de la muestra (cuánta luz absorbe) y el valor S (cuánta luz dispersa o refleja) se pueden determinar comparando los resultados. Cuando se obtiene un valor alto de K/S hace referencia a que el tejido refleja mas luz y tiene mayor intensidad de color, ya que absorbe menos luz. Mientras que si se obtiene un valor bajo de K/S la intensidad de color es más baja, ya que absorbe más luz y refleja menos lo que significa una intensidad menor del color.

## 2. Proceso de tintura

La técnica de tintura de un material textil se conoce como la técnica mediante la cual se le aporta color uniforme y en su totalidad a éste independientemente del formato que presente (fibra, hilo, tela o prenda). Esencialmente, se trata de un proceso químico de afinidad entre las moléculas de las fibras y las moléculas de los colorantes, así como la adición de productos auxiliares necesarios para que se lleve a cabo un proceso óptimo y lograr la fijación del colorante. Cabe destacar que para que se logre una tintura correcta, se deben tener en cuenta distintos factores:

- Conseguir el máximo agotamiento del colorante en el baño, es decir, que el colorante preparado inicialmente en el baño de tintura, con una concentración determinada y según la intensidad de color que se quiera lograr, al finalizar el proceso de tintura sea el mínimo posible.
- Lograr una correcta igualación, que la cantidad colorante absorbido y fijado a la fibra sea uniforme en toda la superficie del textil, no obteniendo zonas con intensidades de color diferenciadas, lo que se le conoce comúnmente como barrado.

Cambiar el color original de las fibras utilizando una sustancia colorante, ya sea natural o sintética, es un proceso laborioso y complicado.

### 2.1 El algodón

Tal y como se ha comentado anteriormente, existen una gran variedad de tipos de colorantes agrupados según estructuras químicas. Cada uno de estos colorantes son capaces de fijarse a un tipo de materia que compone el textil. Los diferentes tipos de fibras textiles se conocen según su origen y método de fabricación, pero hay tres categorías principales:

- **Natural:** Estas fibras se obtienen directamente de la naturaleza y se dividen en tres subcategorías:
  - Animal

- Vegetal
- Mineral

y se denominan fibras naturales.

- **Sintético:** Estas fibras se fabrican mediante procesos químicos a partir de materiales petroquímicos y se denominan fibras sintéticas.
- **Artificial:** Estas fibras se crean utilizando componentes naturales, pero su producción implica la transformación química de estos materiales donde uno de sus componentes es de origen natural y se denominan fibras artificiales.

Dentro de la variedad de las fibras más utilizadas en productos textiles en la actualidad son el algodón, compuesto principalmente por celulosa, y las fibras sintéticas como, por ejemplo, el poliéster, como se puede observar en la Figura 8 que es una representación gráfica donde se encuentran las telas más demandadas en la industria textil.

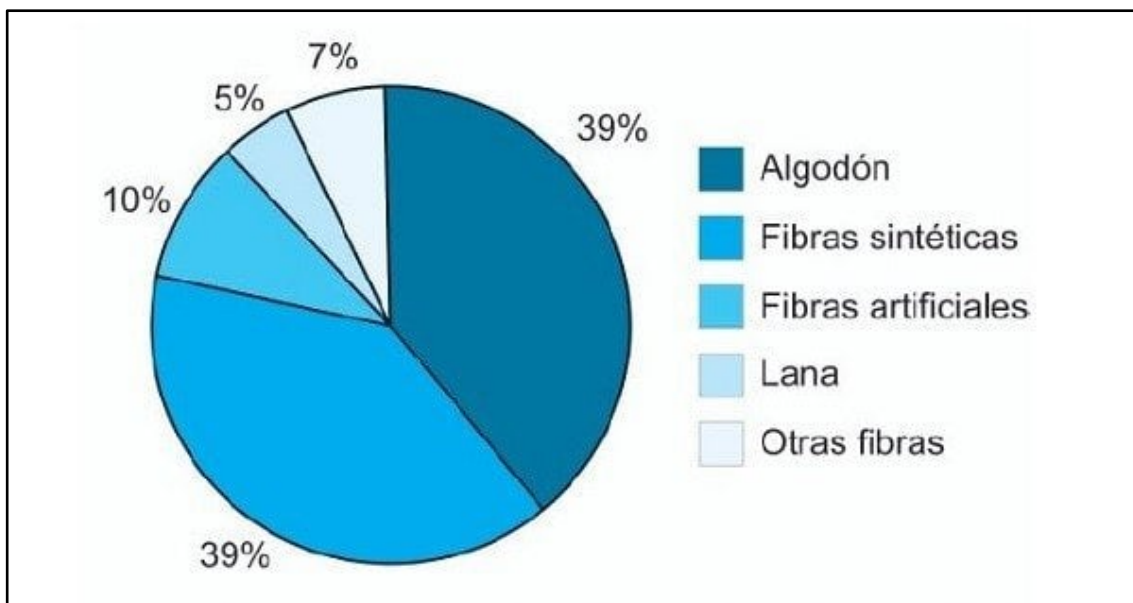


Figura 8. Perspectivas de la demanda de textiles

El algodón compuesto por celulosa, que se sabe que tiene buenas propiedades físicas, se ha utilizado ampliamente como material de construcción, papel y ropa. Es el polímero más abundante que puede encontrarse en la naturaleza. Es una molécula creada por biosíntesis en células vivas a través de reacciones catalizadas por enzimas. El dióxido de carbono en el aire y el agua en el suelo son transformados en las plantas por la luz solar

en la glucosa antes mencionada, que luego pasa por una reacción de polimerización por condensación con la eliminación del agua para finalmente dar lugar a la celulosa. En la figura 9 se encuentra la fórmula química de la celulosa.

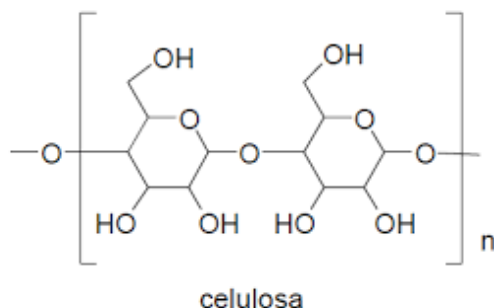


Figura 9. Estructura química de la celulosa

Fuente: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-03.php>

Debido a una variedad de cualidades que posee, incluida su disponibilidad, no toxicidad y seguridad ambiental, así como su biocompatibilidad y biodegradabilidad, estabilidad térmica y química y capacidad de desviación, la celulosa es actualmente el recurso polimérico renovable más abundante, además de ser también la fibra más fácil de tinter en la industria textil.

## 2.2 Colorantes textiles

Los colorantes son sustancias químicas definidas por moléculas de tamaño pequeño a mediano que pueden interactuar de maneras diferentes con las fibras textiles según la relación entre sus estructuras moleculares. Entre ellas se encuentra la adsorción fisicoquímica donde las fuerzas no covalentes (enlaces iónicos, enlaces de hidrógeno o fuerzas de van der Waals) están involucradas en la interacción entre el colorante y la fibra. Para algunos tipos de colorantes, estas interacciones pueden ser lo suficientemente potentes como para mantener las moléculas de colorante en las fibras y resistir los procedimientos de lavado y acciones de mantenimiento posteriores, realizados durante su vida útil.

Por otro lado, la adsorción mecánica se basa en el depósito de colorantes y pigmentos insolubles en la fibra tan sólo utilizados en la estampación, donde coloreamos de manera

superficial la fibra. La interacción entre los colorantes y las fibras es tan débil que se necesita un recubrimiento polimérico para atrapar las partículas de colorante y darles suficiente resistencia a los procedimientos de lavado.

### 2.3 Proceso de tintura del algodón

Haciendo referencia a la afinidad que debe dar lugar entre el colorante y la fibra, se debe tener en cuenta de que en este estudio encontramos por un lado el algodón el cual presenta varios grupos hidroxilos lo cuales conllevan una carga negativa. El algodón al tener muchos grupos hidroxilo (-OH) en su estructura, tiene la capacidad de retener y absorber una cantidad significativa de humedad. Esto es importante en el proceso de tintura, ya que la humedad facilita la difusión y penetración del colorante en las fibras de algodón, lo que resulta en una mejor coloración y una mayor solidez del color. Cuando el algodón se encuentra en un pH básico lo que produce que no se adhiera de manera sencilla al colorante. Esto se debe a que las sustancias tipo húmicas de las que se ha extraído el colorante son fenólicas, y dan lugar a la formación de los fenolatos, cuando reaccionan los fenoles con hidróxidos, dan lugar a que se formen sales que reciben el nombre de fenolatos. Los fenoles son sustancias orgánicas con un grupo funcional hidroxilo (-OH) unido directamente a un anillo aromático de benceno como se puede observar la estructura química en la figura 10.

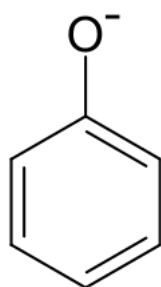


Figura 10. Estructura química del fenolato

Fuente: <https://www.studysmarter.es/resumenes/quimica/quimica-organica/alcoholes/>

El algodón es carga negativa, por ello se necesita alguna sustancia que no me repela y que además sea capaz de reaccionar, el algodón con el fenolato, que en su caso hace referencia al colorante.

## 2.4 Mordentado

El mordiente es un compuesto que favorece la unión entre el tinte y la tela de forma permanente. Son sustancias que actúan como enlaces entre moléculas del textil y el colorante. Hay una gran cantidad de mordientes. Los hay de origen vegetal como el vinagre o limón, de origen mineral como el alumbre. Existen diferentes tipos de mordientes:

El quitosano ayuda a que el fenol negativo se adhiera a la fibra. Por lo tanto, tenemos la carga negativa que presenta el algodón y, por otro lado, la carga negativa que presenta el fenolato provocando así que su adhesión sea dificultosa. Para que se pueda realizar el proceso de tintura, se utilizan los mordientes, se trata de una sustancia química que se conoce por su función para ayudar a fijar el color en los productos textiles, en este estudio se utilizará el quitosano. El quitosano es un polímero natural que es obtenido a partir de una reacción medio básico de la quitina, se puede observar su estructura química en la figura 11.

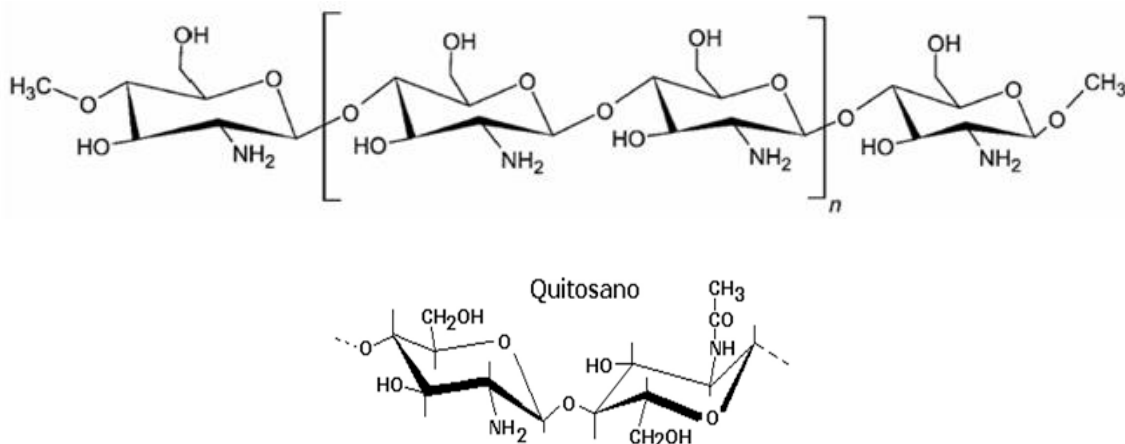


Figura 11. Estructura química del quitosano

Fuente. <https://www.redalyc.org/journal/707/70764230002/html/>

El quitosano es un copolímero que es insoluble a pH neutro y básico debido a los enlaces intramoleculares e intermoleculares formados por puentes de hidrógeno. Su forma cristalina y su grupo amino protonable ( $-\text{NH}_3^+$ ) lo hacen soluble en soluciones acuosas ácidas, facilitando la formación de enlaces poliméricos con polaridad creciente y

repulsión electrostática. Por todas sus propiedades, este polímero se utiliza como mordiente en la industria textil.

El quitosano puede mejorar la afinidad y la adherencia del colorante al algodón cuando se combina con la fibra y el colorante en un baño, lo que facilita la formación de enlaces químicos o interacciones físicas que ayudan a retener el colorante en la fibra. Es conocido por su capacidad para formar películas y recubrimientos resistentes, y se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo la industria alimentaria, la farmacéutica y la textil. El quitosano en la industria textil se ha aplicado para aumentar la solidez de las tinturas, para aumentar la resistencia de las fibras y para comunicar propiedades antiestáticas a las fibras sintéticas.

## **2.5 Proceso de tintura**

Definimos la tintura de materias textiles como el proceso durante el cual una materia textil, puesta en contacto con una disolución o dispersión de un colorante, absorbe a éste de tal forma que la fibra teñida presenta alguna resistencia a devolver la materia colorante al baño.

El proceso de la tintura es una transferencia de materia colorante entre dos fases, disolución y fibra. La tintura no es un proceso instantáneo, sino que es un conjunto de procesos que requieren un cierto tiempo para su realización. Durante su transcurso el colorante pasa de la disolución a la superficie de la fibra, penetra en su interior y finalmente, se fija a ella.

No debemos hablar de un sólo proceso, sino de una suma de procesos o al menos de que la tintura transcurre a través de unas determinadas fases. La teoría fisico-química de la tintura estudia este conjunto de procesos de forma sucesiva, estableciendo una serie de fases que suponen el movimiento del colorante desde el baño a la fibra. Estas fases son:

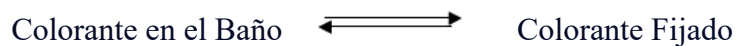
1. - Difusión del colorante en el baño: en esta primera fase, influyen las propiedades de los colorantes en disolución o dispersión, según su mayor o menor tendencia a formar agregados o disoluciones monomoleculares e iónicas. Esta etapa se estudió en la anterior unidad didáctica.

2. - Adsorción del colorante en la fibra: En la segunda, intervienen además de las fuerzas de atracción (afinidad) entre el colorante y la fibra, fuerzas eléctricas debido a la característica de las fibras, descargarse eléctricamente, en disolución acuosa. En función del tipo de carga que adquieran las fibras y la carga de los iones de los colorantes, se producirán atracciones o repulsiones que determinarán las características de la adsorción.

3. - Difusión del colorante en la fibra: Esta etapa del proceso es la más lenta, en ella los colorantes penetran con mayor o menor facilidad según la estructura física de la fibra, dependiendo la difusión en gran parte de la proporción de zonas amorfas y cristalinas de la fibra.

4. - Fijación del colorante en la fibra: La cuarta fase, depende de las diversas fuerzas y los diferentes enlaces que intervienen en la unión de la fibra y el colorante, en cada una de las diferentes tinturas, o sea el tipo de unión que cada colorante realiza con su correspondiente fibra.

Cada una de estas etapas no es instantánea, sino que se desarrolla en un tiempo más o menos largo, durante el cual el colorante va pasando de un estado a otro hasta alcanzar un equilibrio, equilibrio que se rompe al comenzar la siguiente etapa para volver a recomponerse al final de esta, hasta alcanzar el equilibrio final (equilibrio de tintura).





### 3. Objetivos

El objetivo general del presente trabajo consistirá en estudiar la capacidad de los residuos urbanos para teñir tejidos y lograr una alta protección UV con una intensidad de color óptima. Se cumplimentará este objetivo general con los siguientes objetivos específicos:

- Se estudiarán el efecto de tres variables importantes en el proceso de tintura textil como son el pH, la temperatura y la concentración de residuos urbanos utilizada mediante un diseño experimental.
- Se estudiarán los parámetros factor de protección UV y del color conseguido en cada una de las muestras.
- Viendo las mejores condiciones, se supondrá un proceso de escalado para trabajar a nivel industrial.
- Se realizarán una evaluación económica para comprobar la posible viabilidad de este proceso frente a los convencionales.

El tratamiento de residuos orgánicos para la tintura de textiles puede alinearse con varios de los objetivos descritos por los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Seguidamente estos son los puntos principales que se desean conseguir mostrando la relación junto con las ODS:

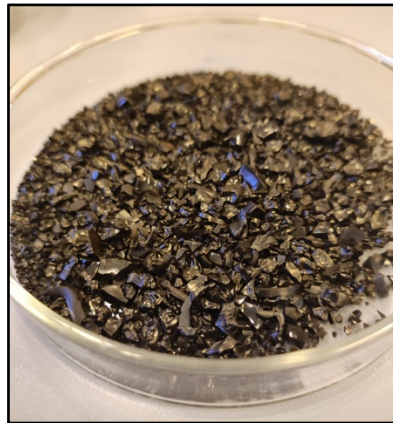
- ODS 12 – Producción y consumo responsables: Para fomentar prácticas de producción y consumo sostenibles, es fundamental una gestión adecuada de los residuos orgánicos, incluidos los colorantes y colorantes utilizados en los procesos de tinturas. Además de sustituir colorantes químicos por colorantes de residuos orgánicos que reducen el impacto ambiental. Todo ello puede reducir el desperdicio de recursos y promover un uso más efectivo de los recursos, pudiendo reutilizar o reciclar los mismos para futuros procesos de tintura.
- ODS 13 – Acción climática: Para los contaminantes y los efluentes generados durante la tintura se busca obtener una gestión efectiva de residuos orgánicos lo que puede ser beneficioso para frenar el calentamiento global. Se disminuyen las emisiones de gases de efecto invernadero, lo cual contribuye a la disminución de las emisiones y ayuda a combatir el cambio climático.

- ODS 14 – Vida submarina: Si la tintura, los desechos, los colorantes de después de la tintura se usan incorrectamente, pueden tener un efecto perjudicial en los ecosistemas acuáticos. Es muy importante realizar una buena gestión de los residuos para evitar la contaminación del medio ambiente.
- ODS 15 – Vida de ecosistemas terrestres: De la misma manera que en la vida submarina se debe proteger los ecosistemas terrestres. Es posible prevenir la contaminación del suelo, promover la salud del suelo y proteger la biodiversidad evitando su disposición inadecuada en el suelo.

## 4. Procedimiento experimental

### 4.1 Materiales

Para realizar dicho estudio, se ha utilizado un tejido de calada de algodón 98% y 2% elastano de 210 g/m<sup>2</sup> que había sido blanqueado químicamente en un proceso industrial. Se le realizó un pretratamiento para mordentar con quitosano de medio desacetilado al 75 - 85 % (Sigma Aldrich). Para solubilizar el quitosano con una concentración de 5 g/L, se añadieron 3 mL/L de ácido acético y se mantuvo en agitación a temperatura ambiente durante 1 hora. Se utilizó el hidróxido de sodio (NaOH) como base para aumentar el pH. Y, por otro lado, se utilizó el ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) para disminuir el pH. Por último, el colorante utilizado durante este estudio son los residuos urbanos. En la figura 12, se muestra una imagen de una muestra de extractos húmicos obtenidos a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos.



*Figura 12. Muestra de extractos húmicos de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos*

Por último, se han empleado como colorantes textiles, las sustancias tipo húmicas extraídas de residuos sólidos urbanos orgánicos y para mayor comodidad en referencia a ellas durante el proyecto, se les ha asignado la abreviatura de HLS. En la categoría de residuos sólidos urbanos orgánicos se incluyen restos de comida, papel y otras sustancias biodegradables, por otro lado, las sustancias tipo húmicas se producen durante el proceso de descomposición. Estos materiales se pueden extraer y utilizar para crear colorantes textiles naturales y sostenibles, lo que proporciona una opción ambientalmente preferible a los colorantes sintéticos tradicionales.

## 4.2 Equipos

Para este estudio se han utilizado los siguientes sistemas de tratamiento del textil, como los equipos de caracterización y medida.

### 4.2.1 Agua destilada

Durante los diferentes experimentos se hará uso de agua destilada mediante la cual se van a diluir las concentraciones de HLS para poder obtener el colorante en las diferentes concentraciones deseadas. En la figura 13 se puede observar el equipo mediante el cual se obtiene agua destilada.



*Figura 13. Equipo de obtención del agua destilada*

### 4.2.2 Pretratamiento textil

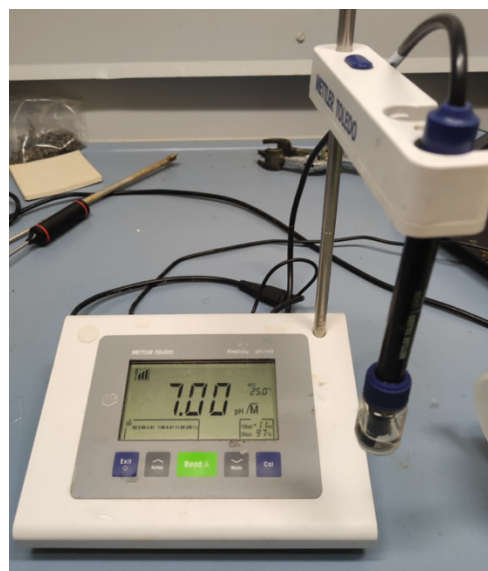
En primer lugar, se realizó un pretratamiento a la tela con quitosano, éste se trata de un copolímero que es insoluble a pH neutro y básico debido a los enlaces intramoleculares e intermoleculares formados por puentes de hidrógeno. Este polímero se utiliza como mordiente en la industria textil por todas sus propiedades. Cuando se usa en un baño de tintura con fibra de algodón y colorante, el quitosano puede mejorar la afinidad y la adhesión del colorante a la fibra al promover la formación de enlaces químicos u otras interacciones físicas que ayudan en la retención del colorante. Se puede observar en la figura 14 la máquina de impregnación mediante foulardado.



*Figura 14. Máquina de impregnación*

#### 4.2.3 Ajuste del pH

La actividad del ion hidrógeno en soluciones acuosas se mide con un medidor de pH como el que podemos observar en la ilustración, indicando su grado de acidez o alcalinidad utilizando una escala de pH. Entre un electrodo de pH y un electrodo de referencia, el medidor de pH el cual se puede observar en la figura 15 mide la diferencia de potencial eléctrico. La acidez o el pH de la solución tiene un impacto en esta diferencia de potencial eléctrico.



*Figura 15. Medidor de pH*

#### 4.2.4 Proceso de tintura

Las diferentes muestras de textil fueron sometidas a tintura la cual se realizó mediante tintura por agotamiento que se realizó con la máquina Testtherm tipo 9S (Tacaltex, SA) con la cual se puede observar de manera clara en la figura 16. La máquina de tintura de agotamiento se utiliza para aplicar color a fibras de manera uniforme en la industria textil. Se prepara una solución donde se va a encontrar el colorante, en este caso una extracción de sustancias húmicas con colorante los residuos urbanos para seguidamente sumergir el tejido en agua. Se logra una distribución uniforme alimentando el material en la máquina mientras se suministra y circula el colorante. El proceso finaliza con un aclarado y secado del material después de haberlo calentado para fijarlo.



*Figura 16. Máquina para tintura por agotamiento en cerrado*

En la figura 17 se muestra un baño de tintura con una base donde se colocan las muestras. El baño de tintura hace referencia al compartimento donde se almacena la solución utilizada para la tintura de los tejidos, donde estos se colocarán para que absorban color. Estas muestras se encuentran dentro de un cilindro metálico que está sellado. En la capacidad del baño se pueden introducir hasta 10 muestras de tejidos en diferentes cilindros.



*Figura 17. Baño de tintura*

#### 4.2.5 Medición con espectrofotómetro

También se ha utilizado la espectrofotometría, la cual es una técnica analítica con la que es posible determinar cuánta radiación electromagnética, independientemente de su estado sólido o líquido, ha sido absorbida, transmitida o reflejada por un material dado para cada longitud de onda. En la figura 18 podemos observar una máquina de espectrofotometría, el espectrofotómetro UH 5300 Hitachi es un instrumento usado en el análisis químico el cual es capaz de medir, en función de la longitud de onda, la cantidad de radiación que ha sido absorbida o transmitida por una solución. Se han realizado barridos para ver el espectro de absorción entre las longitudes de onda de 200 a 700 nm, asegura un barrido grande y, por lo tanto, asegura que tengamos un buen espectro de las zonas de absorción ultravioleta que es verdad que por debajo de 300 nos da información que puede ser importante a nivel estructural. La zona más importante respecto a la protección ultravioleta es la que se encuentra entre 300 y 400 nm, mientras que por encima de 400 nm lo que estamos viendo es el color que va a tener.



*Figura 18. Máquina de espectrofotometría*

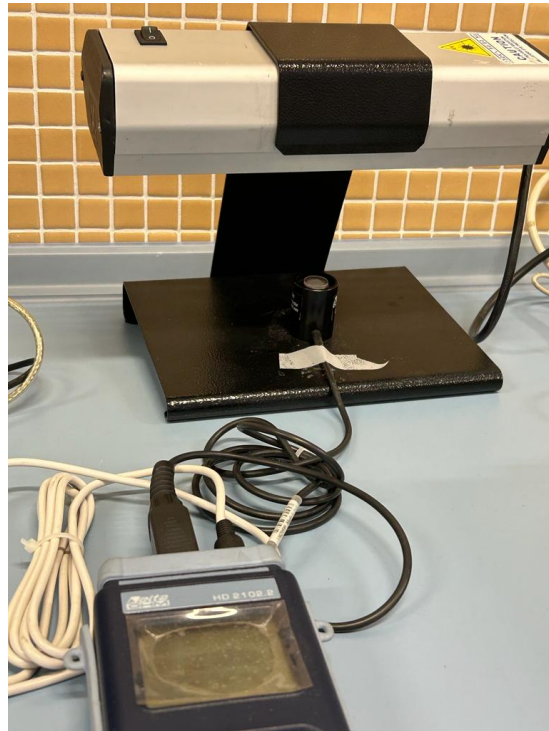
#### 4.2.6 Medición de la transmitancia

Para la medida de la transmitancia del tejido se ha empleado el nuevo método utilizando los tres equipos principales: lámpara de emisión de luz UV, sonda captadora y caja completamente opaca. Este método es un sistema de medición alternativo a la espectrofotometría, se basa en la medida de la transmisión de la radiación ultravioleta a través del tejido, que se cuantifica mediante un espectrofotómetro debidamente adaptado. Cuando un haz de luz ultravioleta de una lámpara ultravioleta irradia varias longitudes de onda en una muestra textil, parte de la radiación se refleja, parte es absorbida por el tejido y la radiación restante se transmite de forma difusa a través de la muestra. Cuando el tubo de ensayo se coloca de modo que la muestra esté entre el detector y la fuente, se mide la transmitancia que llega al sensor, entonces se revela la cantidad de radiación que el tejido no puede bloquear.

En primer lugar, encontramos la lámpara de emisión de luz ultravioleta la cual es del modelo VL-6C de Vilber Lourmat. Se trata de una lámpara UV horizontal, la cual permite emitir radiación en las zonas de ultravioleta A y B (UVA, UVB) debido a que permite intercambiar los tubos de emisión de luz consiguiendo diferentes longitudes de onda. Las longitudes de onda que emite la lámpara son entre 300 y 370 nm. Podemos observar en la figura 19 la lámpara de emisión de luz UV junto con un detector digital de radiación



UV la cual se encuentra en la base de la lámpara por lo que la radiación será captada por la sonda, la cual es del siguiente modelo Delta Ohm HD 2102.2.



*Figura 19. Lámpara de emisión de luz UV junto con la sonda detectora*

Para realizar correctamente la medición de la transmitancia tanto la lámpara, el detector como la muestra de tejido deben estar aislados con el fin de evitar que la luz externa cree interferencias en la medición. Para ello, se ha utilizado una caja opaca para aislar la medición del exterior. Dicha caja se muestra en la figura 20



*Figura 20. Caja opaca*

#### 4.2.7 Medición de color

En su estudio, se ha utilizado un método de medición del color mediante la dirección de luz intermitente hacia la superficie de la muestra. Se han realizado mediciones del porcentaje de reflectancia espectral en diferentes longitudes de onda. Esto nos permite evaluar el color de la muestra al analizar como interactúa con la luz en diferentes longitudes de onda. Al medir el porcentaje de reflectancia espectral, es posible obtener información cuantitativa sobre la cantidad de luz reflejada en cada longitud de onda específica. En la figura 21 podemos observar el espectrofotómetro de reflectancia utilizado del modelo MINOLTA S.A modelo CM-3600d con el observador estándar 10° y el iluminante D65.



*Figura 21. Espectrofotómetro de reflectancia*

### 4.3 Procedimiento experimental

#### 4.3.1 Diseño experimental

Se empezó con el procedimiento experimental relativo a los residuos urbanos relacionados con la siguiente tabla con valores. Se trata de una matriz Doehlert, también conocida como matriz de composición de mezclas, es un instrumento utilizado en el diseño de experimentos para examinar cómo diferentes variables

afectan un proceso. Cuando se trata de tres factores, es especialmente útil porque permite examinar rápidamente cómo interactúan. Una evaluación de los efectos primarios de cada factor y cómo interactúan entre sí es posible después del análisis de resultados. La matriz de Doehlert también facilita la optimización del proceso porque permite identificar las mejores combinaciones de variables para maximizar o minimizar una respuesta o propiedad en particular.

En este estudio se ha realizado el diseño experimental para unas condiciones determinadas, en el caso del pH se encuentra 5 niveles lo que quiere decir que se han realizado experimentos con pH desde 7 hasta 11 esto se debe a que por debajo de este pH el algodón, que es una fibra celulósica, a pH ligeramente ácidos puede degradarse, además de conocer que este tipo de sustancias (al igual que la mayoría de los colorantes aniónicos) aumentan su solubilidad al aumentar el pH. Es por lo que, trabajamos en ese rango de mayores de pH 7. Para la concentración de HLS es un rango desde 1000 hasta 2500, lo que consta de 7 niveles ya que nos hemos movido en un rango de concentraciones típicas empleadas en el sector textil para la industria. Por último, se han utilizado 3 niveles de temperatura se han utilizado las temperaturas de 65, 80 y 95° C debido a que se trata de un rango convencional de trabajo. Por lo tanto, todos los valores utilizados son seleccionados ya que se trata de valores frecuentes que se utilizan en la industria textil. En la tabla 1 se puede observar el diseño experimental realizado para este estudio, teniendo en cuenta el uso de una matriz Doehlert.

Experimento	pH (5 niveles)	[HLS] (7 niveles) (mg/L)	T (3 niveles) (°C)
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	8	2500	80
11	9	2250	65
12	8	2000	95
13	9	1250	95
14	9	1750	80
15	9	1750	80

*Tabla 1. Matriz Doehlert*

En el procedimiento experimental, se han manipulado factores para observar cómo estos afectan a ciertas respuestas. En este estudio, hay tres factores que han sido manipulados y que se han utilizado para obtener respuesta respecto a la protección UV y el color.

#### 4.3.2 Preparación de las sustancias húmicas

En referencia a las sustancias húmicas, se conocen como compuestos orgánicos complejos que se encuentran en el suelo, los sedimentos y los materiales vegetales en descomposición. Se debe tener en cuenta que las sustancias ya se han dado extraídas y secada en formato sólido, pues hay que recordar que para obtenerlos se requiere una digestión alcalina a un pH muy alto, la cual ayuda a descomponer la materia orgánica y liberar sustancias húmicas. A continuación, se realiza un tratamiento de membrana, que ayuda a separar las sustancias húmicas de otros compuestos y partículas presentes. Seguidamente el agua se evapora y las sustancias húmicas se concentran. Finalmente, se secan para obtener un producto sólido, que en este estudio serán residuos orgánicos urbanos utilizados para la elaboración del colorante con el que se tinarán los tejidos de los diferentes experimentos.

#### 4.3.3 Pretratamiento del textil

Para iniciar con el procedimiento experimental se realizó un pretratamiento a la tela de algodón con quitosano, este polímero es utilizado en la industria textil como mordiente para facilitar la adherencia del colorante a las fibras. El pretratamiento se realizó mediante impregnación por foulardado, como se puede observar en la figura 14 obteniendo un pick-

up del 70%. Este procedimiento se basa en el método de impregnación de un sustrato textil en un baño que contiene una solución predeterminedada; en este caso la solución de quitosano con una concentración de 5 g/L. EL tejido es secado a 95 grados y, posteriormente pasa al termofijado que se realiza a 140 grados.

Cabe resaltar que el quitosano, además de aumentar la adsorción y fijación del colorante, aporta más valor añadido al material. Puede formar una capa protectora que mejora la resistencia a las bacterias presentando propiedades antimicrobianas que ayudan a prevenir bacterias y otros microorganismos en el textil. Además, ayuda a aumentar la resistencia para evitar desgarros y abrasión del textil, lo cual lo convierte en un material de alta durabilidad y resistencia.

#### 4.3.4 Proceso de tintura

Con los valores de [HLS] sabemos que tenemos dicha cantidad para 1L y teniendo en cuenta que en nuestro estudio vamos a realizar las pruebas con matraces a 200 ml debemos obtener la relación respecto [HLS]. Una vez obtenemos la cantidad correcta de residuos orgánicos que vamos a utilizar en cada experimento, se introduce dicha cantidad en un matraz aforado donde enrasaremos a 200 mL para introducirlo en la máquina de ultrasonidos para poder unificar el agua con la cantidad de residuos que se ha incorporado. Tras un tiempo, trasladamos el matraz a un agitador mecánico. Seguidamente, observamos el pH sabiendo que es uno de los factores que debemos observar para obtener respuestas de nuestro estudio. El pH de una solución puede influir en una amplia variedad de procesos y reacciones químicas, por lo que aumentar o disminuir el pH puede tener efectos importantes en diferentes sistemas y aplicaciones.

Una forma de aumentar el pH es añadir una base, como hidróxido de sodio (NaOH). Por otro lado, para disminuir el pH de una solución se puede agregar un ácido, como ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

Seguidamente, el tejido utilizado ha sido tintado mediante agotamiento, denominamos tintura por agotamiento al proceso en el cual el colorante se encuentra disuelto o disperso en un baño de tintura, de un volumen determinado en función de la capacidad de la máquina. Este baño de tintura está en contacto con la materia textil a tintar, en el proceso

de tintura llevado a cabo en una autoclave de laboratorio (Testtherm) puede observarse en la figura 16, se han tintado 5 gramos de tejido de algodón.

En una tintura por agotamiento, el colorante existente en el baño de tintura pasará a la materia textil como consecuencia de una transferencia de materia producida por la fuerza de afinidad entre el colorante y la materia textil. En este estudio se realizaron tinturas a tres temperaturas diferentes, 65, 80 y 95 °C todas durante 60 minutos. Se introdujo cada muestra de tela junto con los 150 mL de disolución de colorante preparada, en un cilindro metálico cerrado (figura 14).

Después del proceso de enfriamiento, el tejido será lavado a 60°C para eliminar el colorante no fijado a la fibra y, por último, dejaremos la muestra secar al aire. Tanto antes como después de la tintura debemos extraer una muestra de colorante para nuestro estudio con el espectrofotómetro de absorbancia que realizaremos más adelante.

#### 4.3.5 Medida color

Seguidamente tras realizar las tinturas, se utiliza el espectrofotómetro de reflexión para medir el color del textil. Estos dispositivos utilizan principios ópticos para calcular la transmitancia de la luz en función de la longitud de onda. Al obtener valores de intensidad de color, es posible verificar la uniformidad del color o identificar desviaciones en el proceso de tintura.

#### 4.3.6 Medida UPF

Por último, el UPF se calcula mediante un espectrofotómetro UV, que proporcionará la información que se necesita para determinar el grado de protección UV que el tejido tras la tintura es capaz de ofrecer. Esta información es crucial porque los diferentes niveles de protección UV requieren diferentes estándares para los tejidos, cada uno de los cuales debe cumplir un tejido.

## 5. Resultados

Durante la investigación se han realizado 15 experimentos con procesos de tintura en muestras textiles con el objetivo de evaluar la intensidad de color obtenida en cada uno de ellos, así como el efecto de tres variables, que se han ido variando para cada experimento: la temperatura, la concentración del colorante y el pH. Además, se ha llevado a cabo un análisis espectrofotométrico de las muestras, lo que permitió obtener información precisa acerca de la cantidad de luz absorbida y reflejada por cada una de ellas. El espectrofotómetro produce un espectro, que consiste en un gráfico que muestra la absorbancia o transmitancia de la luz en diferentes longitudes de onda. Se puede observar en la figura 22 un ejemplo de un espectro obtenido para temperatura 65°C, con [HLS] 1500 y pH 8, se obtiene un amplio rango de respuesta para todas las temperaturas, a los pH y concentraciones de HLS determinados por el diseño experimental.

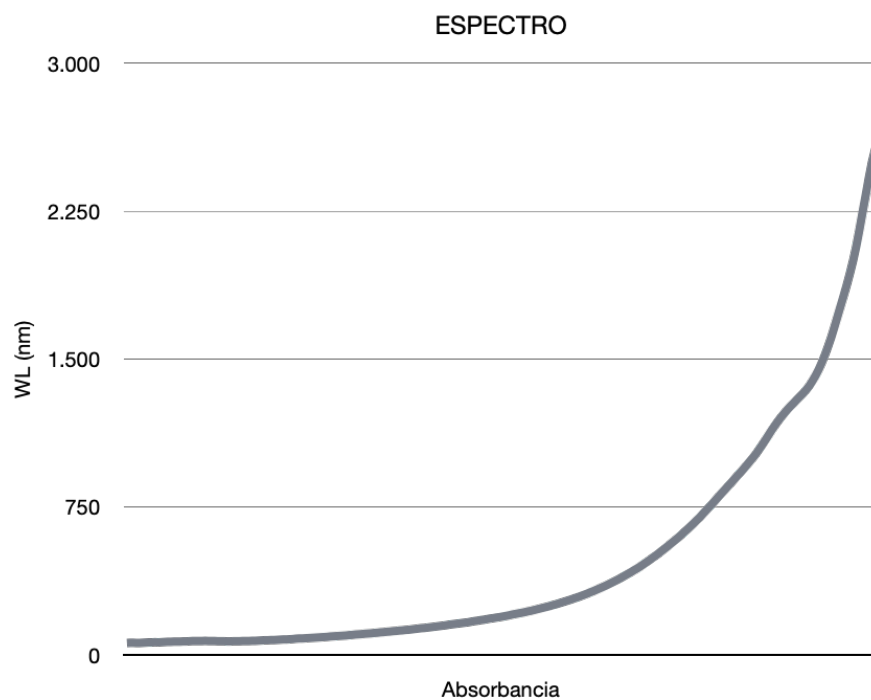


Figura 22. Espectro para temperatura 65°C, con [HLS] 1500 y pH 8

Este espectro muestra claramente cómo aumenta la absorbancia conforme aumenta la longitud de onda, lo que indica que con frecuencia se nota un aumento en la absorbancia a medida que avanzamos hacia longitudes de onda más largas en el espectro.

A continuación, en la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos de UVA y UVB, junto con el valor de UPF.

	Resultados		UVA		UVB		UPF
	[HLS] (mg/L)	pH	Media	Desv.	Media	Desv.	
80°C	1750	9	0,0017	0,00005	0	0	<b>106</b>
	2500	10	0,00975	0,00014	0,0013	0,0004	<b>18</b>
	1750	11	0,0018	0,00014	0,0049	0,0003	<b>98</b>
	1750	7	0,000625	0,00009	0	0	<b>289</b>
	1000	8	0,00088	0,00008	0	0	<b>205</b>
	1000	10	0,007	0,00023	0,0014	0,0002	<b>26</b>
95°C	2000	8	0,00032	0,000041	0	0	<b>565</b>
	1250	9	0,00058	0,00021	0	0	<b>312</b>
	2000	10	0,00044	0,000079	0	0	<b>411</b>
65 °C	1500	10	0,0006	0,000071	0	0	<b>301</b>
	2500	9	0,00253	0,000149	0	0	<b>71</b>
	1500	8	0,0067	0,00058	0,0008	0,0001	<b>27</b>

Tabla 2. Resultados experimentales de UPF

Como se ha comentado anteriormente para explicar los resultados se van a clasificar los experimentos por sus temperaturas. Debemos conocer el valor del UPF del tejido sin tratar que lo encontraremos en la tabla 3:

	UPF
Tejido sin tratar	<b>3,41</b>

Tabla 3. Valor UPF del tejido sin tratar

Por otro lado, encontramos los valores de medida de color que también se estudiaron para los 15 experimentos como se observan en la tabla 4 donde podemos encontrar los valores de las coordenadas del espacio de color CIELAB que son L\* que hace referencia a la luminosidad, a\* son las coordenadas relacionadas con el rojo (+a) y verde (-a), y b\* son las coordenadas relacionadas con el amarillo (+b) y azul (-b). Además de C\*, h y DE\*ab donde la C\* hace referencia al croma, h es el ángulo de matiz y DE\*ab que indica la diferencia total de color de entre as muestras con el valor del tejido sin tratar.



	Resultados		L*	a*	b*	C*	h	DE*ab
Sin tratar	[HLS] (mg/L)	pH	88,69	-0,61	2,88	2,95	102,02	
80°C	1750	9	63,45	5,33	16,05	16,91	71,60	29,08
	2500	10	75,41	3,13	12,43	12,82	75,82	16,78
	1750	11	81,61	1,78	10,70	10,85	80,53	10,82
	1750	7	59,56	5,54	15,80	16,75	70,67	32,46
	1000	8	61,49	5,37	15,38	16,29	70,74	30,53
	1000	10	69,78	4,53	14,71	15,40	72,86	22,89
95°C	2000	8	52,64	6,23	16,30	17,45	69,07	39,07
	1250	9	54,88	6,18	16,46	17,58	69,42	37,07
	2000	10	53,38	6,66	16,93	18,20	68,51	38,69
65°C	1500	10	60,51	5,75	16,98	17,93	71,28	32,15
	2500	9	63,39	5,40	15,98	16,87	71,30	29,11
	1500	8	69,52	4,71	15,89	16,57	73,46	23,77

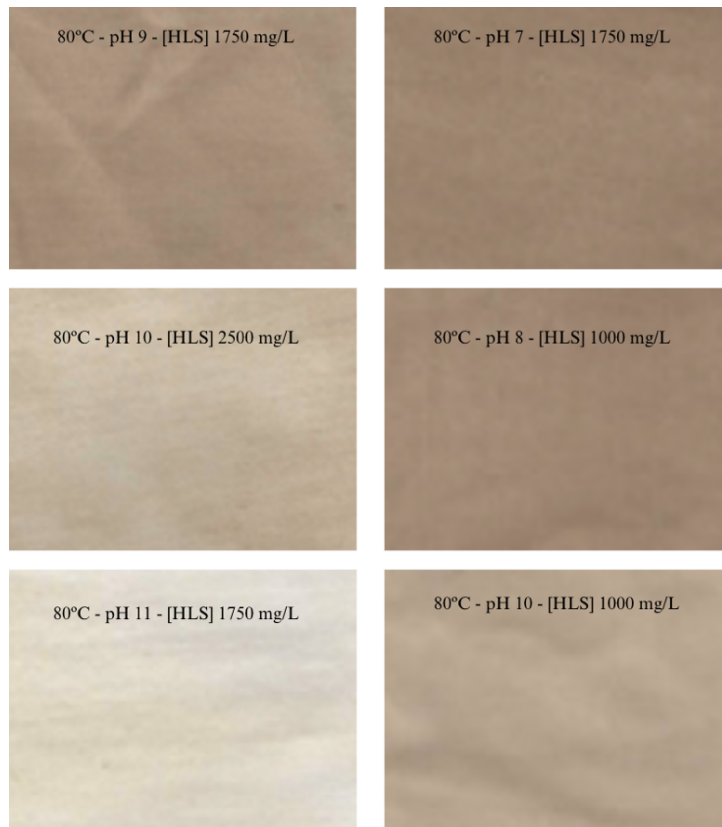
Tabla 4. Resultados experimentales de medida de color

### 5.1 Valores experimentales de temperatura 80°C

Entre los valores de la temperatura de 80°C lo cuales los podemos observar en la tabla 5 encontramos los valores de UPF junto a la medida de color, podemos observar valores de UPF muy altos con valores cercanos a 290 siendo este un valor de UPF muy alto, el valor más alto de los experimentos realizados. Si observamos detenidamente los valores obtenidos junto con los parámetros de pH y [HLS] que se han ido variando durante las diferentes muestras se puede observar como aquellos que presentan valores más bajos de pH entre 7 y 9 son los que muestran unos valores de UPF altos lo que significa que presentan una mayor protección frente a los rayos UV esto se debe a que el pH de un material puede afectar a su capacidad para absorber o reflejar la radiación ultravioleta. En nuestro caso podemos observar que un pH más bajo es capaz de mejorar las propiedades de UPF obteniendo valores más altos del mismo y, por lo tanto, proporcionar mayor protección UV. Mientras que en soluciones con pH más elevados que sitúan cerca de los 10 y 11 se ven afectadas de la manera contraria, ya que se disminuye las propiedades de protección UV y a su vez el valor de UPF. Por otro lado, los que presentan un menor pH

en la medida de color son los que presentan una menor coordenada  $L^*$  esto se debe a que cuanto mayor sea el pH este puede contribuir a una mayor fijación de los colorantes lo que puede resultar en una mayor luminosidad. Si encontramos una menor coordenada de luminosidad esto implica que la tela tiene mayor tonalidad que una muestra sin tratar o completamente blanca.

Conociendo el valor de  $L^*$  de la tela sin tratar se puede observar una diferencia del 30% de tonalidad absorbida por parte de la muestra que presenta la luminosidad más baja, presenta la mayor diferencia frente a la tela no tratada. Lo que implica que la muestra ha absorbido color ya que presenta una diferencia considerable frente a la muestra sin tratar que presenta un valor cercano a una tonalidad blanca, por lo tanto, cuanto mayor sea la diferencia entre las muestras y menor sea el valor de  $L^*$  que se presente supondrá que la tela ha adquirido mayor tonalidad. Ya que si recordamos  $L^*$  hace referencia en el eje vertical a la luminosidad  $L^*$  tomando valores desde 0 que corresponde al negro a 100 que corresponde a blanco, por lo tanto, nuestra muestra no tratada como se encuentra en un valor muy cercano a 100 es una muestra casi blanca. Entre los valores experimentales expuestos en la siguiente tabla, también encontramos diferencias de tonalidad menos notables entre un 9% lo que implica que la tela no se impregnado de color ya que no se encuentra muy lejano de la tonalidad blanca de la muestra sin tratar. También se pueden observar valores intermedios con una diferencia del 20%. Seguidamente, la concentración de extractos húmicos de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos que se utiliza en el estudio como colorante puede afectar el valor de UPF de un tejido. La opacidad del tejido puede aumentar a medida que aumenta la concentración del colorante. Esto hace que el tejido sea más denso y aumenta su capacidad para bloquear los rayos UV. Por lo tanto, una tela con un mayor contenido de colorante puede tener un valor UPF más alto. La tela puede absorber más radiación UV al aumentar la concentración de colorante. Como resultado, la cantidad de radiación UV que pasa a través de la tela y golpea la piel puede reducirse, elevando la calificación UPF. En la figura 23 podemos observar como son las muestras de tejido tras la tintura obtenidas durante el procedimiento experimental.



*Figura 23. Muestra de telas para temperatura 80°C*

Todo lo comentado anteriormente podemos observarlo en la tabla 5, donde encontramos los valores experimentales obtenidos para la temperatura de 80°C como también se puede observar en las tablas consiguientes 6 y 7 donde encontramos los valores de las siguientes temperaturas con las que hemos trabajado, 95°C y 65°C. En último lugar, se puede observar que dependiendo de la relación que presente la [HLS] con el pH el valor de UPF puede verse afectado. Cuando encontramos un valor de [HLS] alto junto con un pH alto darán lugar a un valor de UPF alto que, por lo tanto, nos proporcionará al tejido una buena capacidad para bloquear la radiación ultravioleta del sol y proteger la piel de los dañinos rayos UV. Mientras que, con un pH y una concentración de extractos de tipo húmico, utilizados como colorante, más bajo presenta un UPF más alto y que, por lo tanto, proporciona una mayor protección. Cuando se aumenta el valor de pH podemos observar una disminución considerable del valor de UPF y con ello, una menor protección frente a los rayos ultravioletas.

	Resultados		L*	a*	b*	C*	h	DE*ab	UPF
Sin tratar	[HLS] (mg/L)	pH	88,69	-0,61	2,88	2,95	102,02		
80°C	1750	9	63,45	5,33	16,05	16,91	71,60	29,08	<b>106</b>
	2500	10	75,41	3,13	12,43	12,82	75,82	16,78	<b>18</b>
	1750	11	81,61	1,78	10,70	10,85	80,53	10,82	<b>98</b>
	1750	7	59,56	5,54	15,80	16,75	70,67	32,46	<b>289</b>
	1000	8	61,49	5,37	15,38	16,29	70,74	30,53	<b>205</b>
	1000	10	69,78	4,53	14,71	15,40	72,86	22,89	<b>26</b>

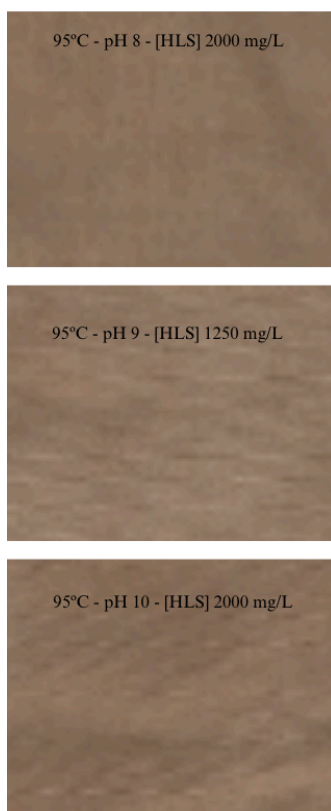
Tabla 5. Mediciones experimentales a temperatura 80°C

## 5.2 Valores experimentales de temperatura 95°C

Entre los resultados obtenidos a 95°C de temperatura podemos observar que encontramos valores muy bajos de luminosidad sabiendo que la L\* en el espacio CIELAB representa el brillo o luminosidad de un tejido que puede variar de 0 (negro absoluto) hasta 100 (blanco absoluto). Conociendo esto podemos definir que los valores obtenidos para la temperatura 95°C son valores más próximos a las coordenadas que hacen referencia a que las muestras han absorbido color y que no son cercanas a la tela sin tratar cercana a 100 que implicaría que está muestra es completamente blanca. Podemos observar unas diferencias de tonalidad entre el 40% siendo hasta el momento las diferencias más considerables de entre los experimentos realizados a temperatura 80 y 95 °C. De otro lado, se encuentran valores de UPF muy elevados respecto a los otros experimentos.

La temperatura en este caso podría haber generado efectos en los tejidos proporcionándole una gran cantidad de protección ultravioleta que además se ve respaldada por los valores de pH que como en la temperatura de 80°C es capaz de potenciar las propiedades de UPF de la muestra, dando como resultado valores de este más elevados y, dando lugar a un tejido que proporciona una mayor protección UV frente a los rayos violeta del sol. Por lo tanto, el tejido permite pasar menor cantidad de UV a través de él, disminuyendo los efectos nocivos de la radiación UV. Por otro lado, podemos observar como se cumple lo comentado anteriormente ya que cuando encontramos un valor de [HLS] alto junto con un pH alto darán lugar a un valor de UPF alto. Aunque si

disminuimos el valor de pH podremos observar un aumento notable en el valor de UPF que, por lo tanto, proporcionará al tejido una buena capacidad para bloquear la radiación ultravioleta del sol y proteger la piel de los dañinos rayos UV. Como encontramos que en dos de las muestras tenemos la misma [HLS] se puede observar de una forma muy evidente como afecta el pH a los valores de luminosidad haciendo que estos sean valores bajos lo que implica mayor tonalidad de la que se ha impregnado la tela y una mayor protección frente a UV que implica valores altos de UPF. En la figura 24 podemos encontrar como se obtuvieron las muestras de tela para temperatura 95°C.



*Figura 24. Muestra de telas para temperatura 95°C*

Todo lo comentado anteriormente se puede observar en la tabla 6, donde se encuentran las mediciones experimentales.

	Resultados		L*	a*	b*	C*	h	DE*ab	UPF
	[HLS] (mg/L)	pH							
Sin tratar			88,69	-0,61	2,88	2,95	102,02		
95°C	2000	8	52,64	6,23	16,30	17,45	69,07	39,07	<b>565</b>
	1250	9	54,88	6,18	16,46	17,58	69,42	37,07	<b>312</b>
	2000	10	53,38	6,66	16,93	18,20	68,51	38,69	<b>411</b>

Tabla 6. Mediciones experimentales a temperatura 95°C

### 5.3 Valores experimentales de temperatura 65°C

Finalmente, encontramos los valores experimentales realizados a 65°C donde se puede observar resultados obtenidos completamente diferentes. En la figura 25 encontramos de forma visual los tejidos obtenidos tras la tincura a temperatura 60°C.

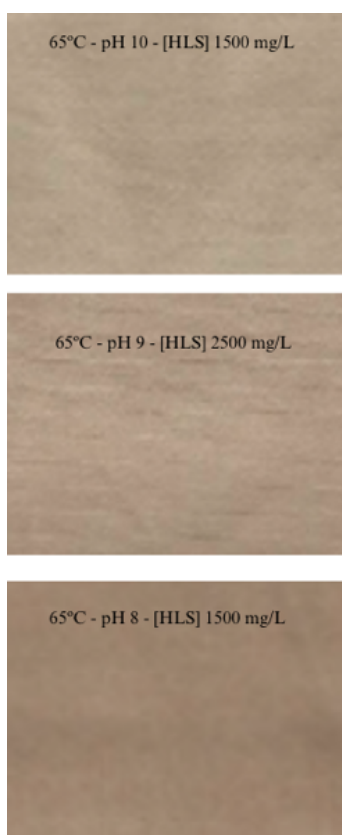


Figura 25. Muestra de telas para temperatura 65°C

En la tabla 7 podemos observar como en la tabla anterior que en dos de las muestras se mantiene la temperatura y la HLS y únicamente varía el pH lo que nos permite un análisis más simple. En primer lugar, vemos que la muestra de mayor pH es la que presenta un valor de UPF más alto lo que proporciona una mayor capacidad a la tela de protegerse de la radiación de los rayos ultravioletas. Mientras que la luminosidad de la misma muestra presenta una diferencia de un 30% lo que implica que se trata de entre las muestras realizadas a 65°C la que mayor impregnación de color presenta. Por otro lado, en el caso opuesto se encuentra el que presenta el pH más bajo. En consecuencia, esta diferencia de pH dará lugar a un valor de UPF es más bajo y, por lo tanto, ofrece menos protección en comparación con las otras muestras a la misma temperatura. Además, se observa una diferencia de luminosidad de un 28% que, aunque no sea una diferencia notable con la muestra comentada anteriormente, sigue siendo inferior a ésta, lo que indica una menor absorción de colorante por parte del tejido. Por lo que podemos decir que la variación del pH es un parámetro importante ya que puede proporcionar mayor o menor capacidad de protección e incluso afectar a la capacidad de la tela de absorber mayor o menor cantidad de colorante. Por otro lado, observamos una muestra con una gran cantidad de [HLS] y un pH intermedio entre los valores de la tabla lo que da lugar a un valor de UPF y de luminosidad intermedios con respecto a estas temperaturas. Debemos tener en cuenta que a 65°C se han obtenido valores alrededor de 30% de luminosidad lo que implica que son muestras que han absorbido color y que, por lo tanto, se alejan del 100 que sería un blanco absoluto, de la misma manera que se alejan de la muestra sin tratar que sería de un blanco roto ya que presenta 89. Implica que la tonalidad de la que se han impregnado las telas será notable con respecto a la muestra sin tratar.

	Resultados		L*	a*	b*	C*	h	DE*ab	UPF
	[HLS] (mg/L)	pH							
Sin tratar			88,69	-0,61	2,88	2,95	102,02		
65°C	1500	10	60,51	5,75	16,98	17,93	71,28	32,15	<b>301</b>
	2500	9	63,39	5,40	15,98	16,87	71,30	29,11	<b>71</b>
	1500	8	69,52	4,71	15,89	16,57	73,46	23,77	<b>27</b>

Tabla 7. Mediciones experimentales a temperatura 65°C

Se ha podido observar durante el análisis de las tablas 5, 6 y 7 que hacen referencia a las mediciones experimentales de las que consta el estudio, que cada temperatura a la que se han realizado los experimentos ha determinado valores notablemente diversos. Ya que, al variar las tres variables, temperatura, [HLS] y pH, ha dado lugar a un barrido importante de diferentes mediciones a analizar.

Anteriormente se ha estudiado una respuesta centrada en puntos experimentales específicos, limitándose de esa manera a resultados puntuales e individuales. Por otro lado, el diseño experimental permite obtener una respuesta amplia de la zona de estudio, incluso de puntos que experimentalmente no se han podido cubrir mientras se ha realizado el estudio. Lo que proporciona una visión general de la respuesta en lugar de centrarse en puntos individuales. Seguidamente se procederá a realizar el tratamiento estadístico de estos datos para obtener superficies de respuesta. Estas superficies representan una solución integral en todo el rango de condiciones abarcado en este estudio. En la figura 26 encontramos la respuesta la luminosidad a una temperatura fija que en este caso es 80°C.

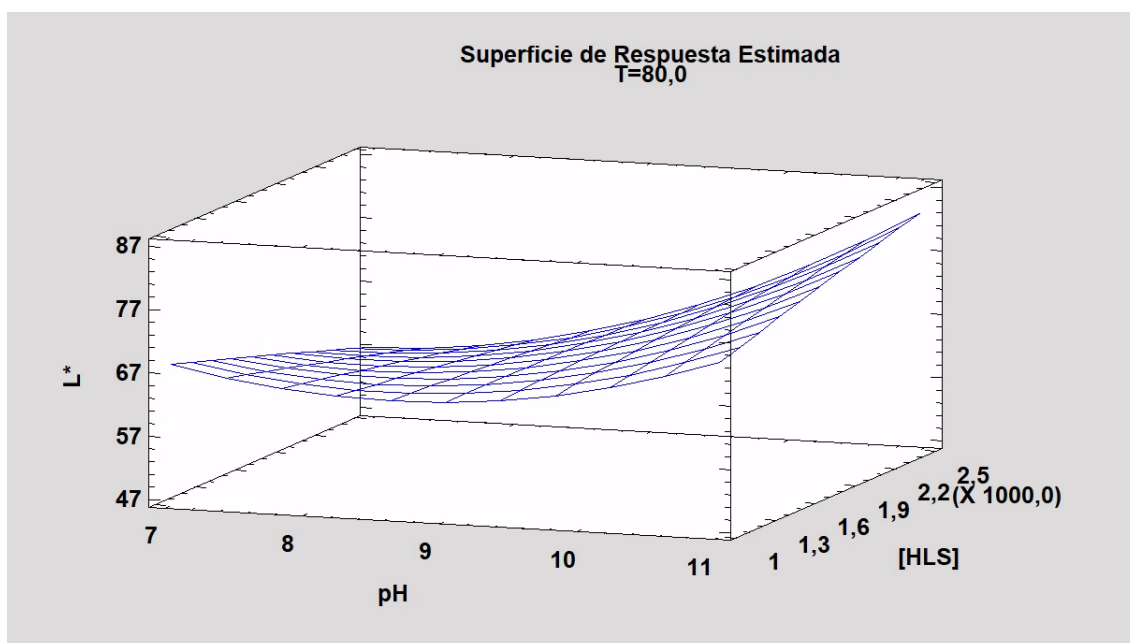


Figura 26. Superficie de Respuesta Estimada de L\*



En este caso la meta del estudio consiste en minimizar los valores de  $L^*$  lo que implicaría que en el tejido se ha adherido el colorante con mayor facilidad y que por lo tanto presenta más tonalidad en las muestras. Se puede observar que cuando el pH es más neutro, los valores de luminosidad son valores más bajos en comparación con los valores que se obtienen cuando se trata de pH ácido, donde se encuentran puntos de respuesta más elevados. Además, se ha observado que a valores más altos de [HLS] producen una respuesta más significativa, mientras que valores más pequeños producen una respuesta menos considerable.

Por ello, en la figura 26 podemos observar que encontramos un mínimo en la siguiente ecuación:

$$L^* = 108,33 - 38,0145 * pH - 0,0185722 * [HLS] + 3,51439 * T + 1,52698 * pH^2 + 0,0034784 * pH * [HLS] + 0,104618 * pH * T - 2,89778E - 7 * [HLS]^2 - 0,000151217 * [HLS] * T - 0,0284544 * T^2$$

La superficie de respuesta trata todos los valores mientras que en una representación gráfica tridimensional no pueden aparecer todas las variables. Esta ecuación representa las cuatro variables que en la gráfica tridimensional no se ha podido. El mismo sistema ha sido el que ha dado lugar a la ecuación matemática mostrada anteriormente, lo que nos permite obtener un mínimo, el cual se trata de un mínimo optimizado para esta ecuación el será igual a un valor de  $L^* = 40,5256$ , el cual tendría los siguientes parámetros en los que será óptimo:

Factor	Óptimo
pH	7
[HLS] (mg/L)	2500
T (°C)	95

*Tabla 8. Valores óptimos para  $L^*$*

Esta tabla muestra la combinación de los niveles de los factores como la cual minimiza  $L^*$  sobre la región indicada. Lo que significa que se necesitan valores altos de sustancia de tipo húmicas, que será obtenido si es la temperatura máxima que se ha utilizado junto con el pH mínimo haciendo referencia al nivel de optimización. Se debe tener en cuenta

que el valor óptimo obtenido por el sistema es un extremo, lo que significa que es el valor óptimo obtenido entre las limitaciones en las que se ha realizado el estudio no implica que cuando se disminuya más el pH o por otro lado se aumente más la temperatura se obtengan valores óptimos, mejorando así los resultados, una vez se haya ampliado la zona de estudio. Por lo tanto, éstas serán las mejores condiciones para los tejidos y las mejores condiciones para que la protección ultravioleta.

En la figura 26 se encuentra representada la superficie de respuesta en las mismas condiciones que en la figura anterior, es decir con la temperatura fijada en 80°C. Como ya se ha comentado anteriormente estas superficies de respuesta representan una solución integral en todo el rango de condiciones abarcado en este estudio.

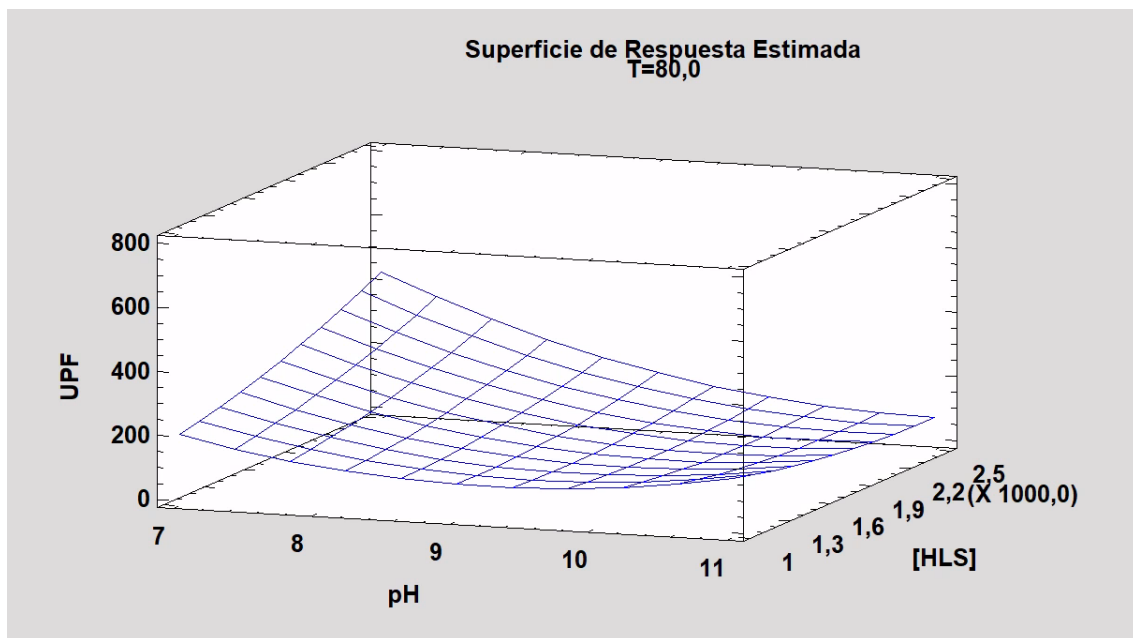


Figura 27. Superficie de Respuesta Estimada de UPF

En este caso la meta del estudio consiste en maximizar los valores de UPF lo que implicaría que los tejidos tuvieran mayor capacidad de protección frente a las radiaciones ultravioleta de manera que presenten una alta habilidad para proteger de los dañinos rayos UV, protegiendo principalmente la piel de los efectos nocivos que puede provocar la exposición a la radiación. Se puede observar que, a pH neutro, los valores de UPF son más bajos en comparación con los valores que se obtienen cuando se trata de un pH entre 8-9. Por otro lado, podemos observar como afecta la concentración de HLS, ya que a valores más altos de [HLS] producen una respuesta más notable que cuando se trata de

valores más bajos, aunque la diferencia no sea tan significativa como cuando se hace referencia al pH se puede observar una diferencia notable.

Por ello, en la figura 27 podemos observar que encontramos un mínimo en la siguiente ecuación:

$$UPF = 2127,77 + 152,132 * pH - 0,475977 * [HLS] - 62,7083 * T + 21,793 \\ * pH^2 - 0,0526957 * pH * [HLS] - 6,26107 * pH * T \\ + 0,0000411978 * [HLS]^2 + 0,0106982 * [HLS] * T + 0,688743 * T^2$$

La superficie de respuesta trata todos los valores mientras que en una representación gráfica tridimensional no pueden aparecer todas las variables. Esta ecuación representa las cuatro variables que en la gráfica tridimensional no se ha podido. El mismo sistema que ha generado la ecuación matemática mostrada anteriormente, nos permite obtener un máximo, el cual se trata de un máximo optimizado para esta ecuación el cual será igual a un valor de  $UPF = 938,371$ , que además tendría los siguientes parámetros en los que será óptimo:

Factor	Óptimo
pH	7
[HLS] (mg/L)	2500
T (°C)	93

Tabla 9. Valores óptimos para UPF

La tabla 9 muestra la combinación de los niveles de los factores como la cual maximiza UPF sobre la región indicada. Lo que significa que se necesitan valores altos de sustancia de tipo húmicas, que será obtenido si es la temperatura máxima que se ha utilizado junto con el pH mínimo haciendo referencia al nivel de optimización. Se debe tener en cuenta que el valor óptimo obtenido por el sistema es un extremo, lo que significa que es el valor óptimo obtenido entre las limitaciones en las que se ha realizado el estudio no implica que cuando se disminuya más el pH o por otro lado se aumente más la temperatura se obtengan valores óptimos, mejorando así los resultados, una vez se haya ampliado la zona

de estudio. Por lo tanto, éstas serán las mejores condiciones para teñir los tejidos y las mejores condiciones para que la protección violeta.

Teniendo en cuenta que, para ambas metas, ya sea maximizar el valor de UPF o minimizar el valor de  $L^*$ , se han obtenido los mismos valores óptimos para los tres factores, pH, [HLS] y T. Por lo tanto, para la tintura y mejor absorción del colorante en las telas proporcionando mejor luminosidad, y para una mejor capacidad de protección frente a los rayos perjudiciales generados por los rayos ultravioleta las mejores condiciones en la que esto se producirá serán a un pH neutro, altas sustancias húmicas y una temperatura de 95°C, siendo estos valores las condiciones óptimas de trabajo. Conociendo esto se podrá realizar el estudio económico para estas condiciones de trabajo dadas.

## 6. Escalado de las condiciones de proceso

El escalado es el proceso de llevar un proceso a una mayor escala de producción. lo que implica modificar y agilizar un proceso para satisfacer las necesidades y demandas de la producción masiva.

Conociendo las condiciones de trabajo idóneas que deben darse para que los valores sean óptimos utilizando un colorante que se ha obtenido a partir de extractos de sustancias húmicas de una fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, se va a realizar un estudio económico donde se pueda realizar una comparación entre un colorante natural y uno químico en un estudio económico que permitirá evaluar factores relacionados con el bienestar, la salud, la demanda del consumidor y los costos de producción, proporcionando información útil para la toma de decisiones en la industria. Para realizar dicho estudio comparando el colorante extraído de residuos orgánicos frente al colorante comercial que se utiliza en la industria química, primero se debe realizar un escalado, es decir, transformar el estudio a escala de laboratorio en escala industrial para poder realizar la comparativa entre ambos tipos de colorante y finalmente, realizar el estudio económico. En primer lugar, se van a comparar el consumo de variables para la escala de laboratorio frente al consumo a escala industrial los cuales se especifican en la tabla 10:

<b>Consumo</b>	<b>Escala de laboratorio</b>	<b>Escala industrial</b>
Cantidad de tela	0,005 kg	600 kg
Colorante	0,0005 kg	45 kg
Ácido (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	7,35e <sup>-5</sup> mL	4,9L
Quitosano	0,005 kg/L	2,1kg/L
Ácido acético	0,003 kg/L	1,26kg/L
Energía eléctrica	1 h *0,16438 €/kWh*0,0814 kW = 0,02005€	1 h *0,16438 €/kWh*9767,33 kW = 1605,55€
Agua	0,15L	18000 L
Procesos	Pretratamiento + Tintura	Pretratamiento + Tintura
Tiempo	90 min	264 min

*Tabla 10. Comparación del consumo a escala de laboratorio frente al consumo a escala industrial.*

Como se puede observar en la tabla 10, encontramos la comparación del consumo a escala de laboratorio frente al consumo a escala industrial en el proceso de tintura de tejidos. La cantidad de tela utilizada en la producción industrial difiere significativamente de la utilizada en la producción de laboratorio. El uso del laboratorio de una cantidad muy pequeña de tela (5 gramos), este tamaño de muestra se emplea con frecuencia en proyectos de investigación para determinar si las técnicas de tintura son prácticas. Por otro lado, durante la producción industrial se tintan mayores cantidades de tela. En este caso, se tiñen 600 kg de tejido, esta cifra es mucho mayor y refleja una escala de producción considerable ya que los equipos de tintura están hechos para manejar grandes cantidades de tela de manera rápida y eficiente en la industria textil. Conociendo el valor óptimo de la concentración de [HLS], el cual es 2500, este hace referencia a la cantidad de 2,5g/L, con lo que se puede calcular la cantidad utilizada para 150 mL siendo esta la cantidad con la que se realizan las tinturas para los textiles. Por ello, para calcular la cantidad de colorante para la escala industrial, debe tenerse en cuenta la relación que hay entre la concentración de colorante y los mL de la misma solución, obtenidos de la misma forma la cantidad de colorante para en este caso la escala industrial.

Puesto que las sustancias tipo húmicas se obtienen de un medio básico su aplicación provoca que aumente el pH a un valor de pH 9 con respecto al óptimo, por lo tanto, en algunos experimentos se ha necesitado bajar el pH. Como nuestro óptimo está a pH 7 y partimos de pH se debe bajar dos unidades logarítmicas. Se calcula entonces basándose en la relación estequiométrica entre el ácido sulfúrico de 1 mol de este por cada 2 moles del ion hidrógeno (H<sup>+</sup>), se obtiene  $5e^{-3}$  mol/L, sabiendo que el volumen es de 0,15 L en escala de laboratorio, se obtienen  $7,5e^{-4}$  mol de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y, por último, conociendo el peso molecular del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> que equivale a 98,07g/mol se puede obtener la cantidad de ácido sulfúrico utilizada que es de 0,0735g para escala de laboratorio. Si para 0,15 L se ha utilizado 0,0735g puede calcularse la cantidad de ácido sulfúrico que se utilizará para 18000L, la cual será de 8820g de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Por último, se tendrá en cuenta la densidad del ácido sulfúrico que es de 1,8kg/L, por lo que el resultado será de 4,9L para realizar la tintura a 600 kg de tejido en la industria.

En cuanto al proceso de pretratamiento se trata de un tren de tratamiento, primero fulard y después secado y termofijado, es un proceso continuo con lo que si estamos haciendo

el cálculo de 600 kg de tejido y el tejido del estudio tiene un gramaje de 210 g/m<sup>2</sup> con un ancho de 1,40 m son 294 g/m lineal, y puedes obtener que 600 kg equivalen a unos 2040 m de nuestro tejido. También se debe tener en cuenta que para la escala de laboratorio se ha utilizado 0,005 kg/L de quitosano del cual se ha consumido 0,35g de quitosano/m<sup>2</sup>, conociendo esto se puede calcular a escala industrial dando como resultado que se ha utilizado 600 kg/L donde se ha consumido 2100g de quitosano/m<sup>2</sup>. Por otro lado, el ácido acético se obtiene que para 0,003 kg/L de este se ha consumido 0,21 g de ácido acético/m<sup>2</sup>, obteniendo así 1260 g de ácido acético/m<sup>2</sup>.

Por otro lado, sabiendo que se ha utilizado 0,15L para de agua para las tinturas lo que es equivalente a 18000L cuando se trata de la escala industrial, además debe calcularse la cantidad de energía necesaria para calentarla a 95°C. Para determinar la cantidad de kWh necesarios para calentar litros de agua a la temperatura óptima, necesitamos conocer la capacidad calorífica del agua la cual tiene un valor aproximado de 4,18 kJ/(kg\*°C). Luego, podemos calcular la cantidad de energía necesaria utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Energía} = \text{Masa} \times \text{Capacidad calorífica específica} \times \Delta T$$

Para esta ecuación nos falta por conocer la diferencia de temperatura, donde la temperatura inicial hace referencia a 25°C y la temperatura final a 95°C. Conociendo la cantidad de energía y sabiendo que el precio del kilovatio se encuentra en un valor aproximado de 0,16438 €/kWh, se podrá conocer los costes. La energía debe calcularse teniendo en cuenta que solo se utilizará durante los 60 minutos que dura el proceso de tintura.

Para concluir, haciendo referencia al escalado entre nivel de laboratorio e industrial debemos tener en cuenta que debe ajustar el agua utiliza de laboratorio la cual equivale a 0,15L por la cantidad necesaria para el nivel industrial que serían 18000L. Los procesos serán los mismos para ambos niveles, aunque el tiempo de estos no. Esto se debe a que para tinter 600 kg si se trabaja a una velocidad de 10 m/min, la duración del pretratamiento es de 204 min = 3,4 h junto con los 60 minutos que dura la tintura el total del tratamiento será de 264 min que equivale a 4,4 h.

## 7. Estudio económico

Para poder establecer un estudio que utilice extractos de residuos orgánicos como colorantes textiles naturales, es necesario analizar la viabilidad y rentabilidad de hacerlo. En este proyecto se realizará un estudio únicamente de los costes con relación a la producción, por lo tanto, solo se hará referencia a los costes variables. Se va a comparar el proceso que se ha realizado durante este estudio para la muestra de este que en este caso se trata de 5 g de algodón. El coste de producción hace referencia a los gastos que supondrá para una empresa en el proceso de tintura de tejidos para lograr el producto deseado. Entre estos costes encontramos: materias primas, los productos químicos entre los que encontramos el quitosano con el que se realiza el pretratamiento de la tela, también se debe estudiar la cantidad de agua y de energía que se va a consumir ya que durante el proceso se consume gran cantidad de energía para los equipos y, por otro lado, un elevado consumo de agua que se requiere para el lavado de telas y otros procesos del tratamiento de estas. Por último, se tendrá en cuenta la mano de obra utilizada para el control del proceso, supervisión y para los encargados en la preparación de las telas. Se debe tener en cuenta que los costes de producción son costes variables lo que implica que estos pueden variar en función de muchos factores. Gracias al escalado realizado en el apartado anterior conocemos las condiciones en las que el colorante extraído de las sustancias húmicas trabajará cuando se tinte 600 kg a nivel industrial. Por lo que ahora se debe buscar un colorante comercial para poder comparar la misma cantidad de producción en condiciones diferentes. Para escoger un colorante comercial se ha observado el catálogo de Earth Colors, tras un estudio exhaustivo se ha encontrado un colorante comercial que se adapta a lo que estamos buscando.

Seguidamente se busca estudiar el consumo de cada uno en las condiciones óptimas, para conocer los valores con los que se realizará más adelante el estudio económico. En la tabla 11 se puede conocer el consumo para cada tipo de colorante a nivel industrial.



<b>Consumo</b>	<b>Colorante natural</b>	<b>Colorante comercial</b>
Cantidad de tela	600 kg	600 kg
Colorante	300 kg	240 kg
Ácido (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )		0
Quitosano	600 kg/L	0
Ácido acético	480 g/L	0
Óxido de zinc	0	40g/L
Resina acrílica	0	50 g/L
Energía eléctrica	1 h *0,16438 €/kWh*9767,33 kW = 1605,55€	1 h *0,16438 €/kWh*9767,33 kW = 1605,55€
Agua	18000 L	18000 L
Procesos	Pretratamiento + Tintura	Tintura + UPF
Tiempo	264 min	90 min

*Tabla 11. Comparación del consumo para un colorante natural frente al consumo para un colorante comercial.*

Como se ha comentado anteriormente, entre el catálogo de Earth Colors no hay ningún colorante que tras la producción proporcione tejidos con UPF. Aunque no necesite un pretratamiento para la tela que utilice para la tintura el colorante comercial, por otro lado sí que será necesario un tratamiento específico para proporcionar UPF a la tela, lo que conllevará un mayor consumo de tiempo y un mayor consumo de recursos. En el caso de las fibras naturales, como el algodón, cuando no pueden proporcionar en sí mismo un factor de protección ultravioleta pueden reforzarse mediante un tratamiento posterior al acabado mediante impregnación por fulardado, el mismo que se ha utilizado para el pretratamiento de la tela durante el estudio con el colorante natural. En este caso se sustituye el quitosano por un baño de nanopartículas de ZnO (40 g/L) y 50 g/L de resina acrílica. Por todo ello, se va a empezar el estudio de viabilidad estudiando los precios base del material textil, operarios, energía y compuesto químicos utilizados para ambos colorantes, todos los precios base se encuentran en la tabla 12. Estos precios se recopilaron a partir de diferentes empresas y fuentes. En primer lugar, el precio de la tela ha sido obtenido de la empresa indexMundi. Para el colorante natural se determinó el precio a partir de la extracción utilizando sustancias húmicas en base a un proyecto en particular, donde se revisaron los cálculos para adecuarlos a las necesidades de este

estudio. <sup>[51]</sup> El negocio de Earth Colors proporcionó el precio del colorante comercial. Para el precio del carbonato de sodio y el sulfato de sodio anhidro se ha obtenido de una empresa que lo proporciona estos compuestos químicos llamada Restauero. La empresa Merck proporcionó el precio del quitosano y Arquimi el precio del ácido acético. Se han elegido a partir de los datos encontrados en un artículo sobre resina acrílica y óxido de zinc. <sup>[52]</sup> Se calculó un promedio utilizando el costo de cada hora del día para llegar al valor del kilovatio hora (kWh). También se ha utilizado el Boletín Oficial del Estado (BOE) para determinar el coste del trabajo realizado por un operario o técnico textil.

<b>Coste</b>	<b>Colorante natural</b>	<b>Colorante comercial</b>
Tela	1,98€/kg	1,98€/kg
Colorante	30€/kg	8-10 €/kg
Ácido Sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	18€/L	18€/L
Carbonato de sodio (NA <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	0€	6,14€/kg
Sulfato sódico anhidro	0€	5,71€/kg
Quitosano	11,4€/L	0€
Ácido acético	12€/L	0€
Óxido de zinc	0€	60-80€
Resina acrílica	0€	10-15€
Energía eléctrica	0,16438 €/kWh	0,16438 €/kWh
Operario	8,3 €/h	8,3 €/h

*Tabla 12. Comparativa de los precios base utilizados para un colorante natural y un colorante comercial*

En primer lugar, tenemos el coste de la tela ya que teniendo en cuenta que el algodón en. La industria textil tiene un precio de 1,90€/kg se obtendrá su coste multiplicando el precio de este por los 600 kg de tela que se van a producir a nivel industrial tanto para el colorante natural como para el colorante comercial, dando como resultado para ambos un coste de 1188€.

A continuación, se hace referencia al colorante, en el caso del colorante natural se conoce que este se encuentra a una concentración de 2,5g/L por lo que queremos conocer cuanto será necesario para 18000L, dando como resultado una cantidad de 45 kg de colorante. Mientras que para el colorante comercial se trata de una concentración de 1 g por cada 100g de tejido por lo que para 18000L, se obtendrá 6 kg. Sabiendo que el precio del colorante natural es de 30€/kg y, por otro lado, el precio del colorante comercial es de 9€/kg, los costes de los colorantes serán 1350€ y 54€, respectivamente.

Para el cálculo del ácido sulfúrico utilizado para disminuir el pH de 9 a pH 7 obtenemos el valor mediante la relación estequiométrica dada entre el ácido sulfúrico y los iones de hidrogeno, de esta forma como se ha explicado anteriormente en el apartado 6, se obtiene que, para un volumen de 0,15L se utilizarán  $7,5e^{-4}$  mol de  $H_2SO_4$ , que utilizando el peso molecular del ácido sulfúrico dará como resultado 0,0735g. Por lo tanto, y teniendo en cuenta la densidad del ácido sulfúrico para 18000L se necesitarán 4,9L de ácido sulfúrico. Conociendo que el precio de este este 18€/L obtenemos que el coste será de 88€.

Por otro lado, para el cálculo del quitosano y del ácido acético conocemos los siguientes valores con los que se ha trabajado:

- Gramaje del tejido: 210 g/m<sup>2</sup>
- Pick-up: 70%
- 5 g/L de quitosano y 3 g/L de ácido acético

El pick up es la cantidad de baño absorbido por el baño después del tratamiento antes de secarse (justo después de sumergir el tejido en el baño y exprimirlo con los cilindros de presión) y significa que el tejido ha absorbido 70 mL/100 g de tejido y el ácido acético se utiliza para disolver el quitosano. Si el baño contiene 5 g/L de quitosano se habrá consumido 0,35 g de quitosano en 100g de tela, entonces para entonces podemos conocer cuantos gramos de quitosano tendremos en 600 kg de tela, que da una cantidad de 2100g de quitosano para 600kg. El precio del quitosano es de 442€/250g podemos conocer entonces que el valor para 2100g de quitosano será 3713€.

Por otro lado, el baño contiene una concentración de 3 g/L de ácido acético por lo que conociendo que la tela ha absorbido 70 mL/100 g de tejido se realizan los mismos cálculos y se obtiene una cantidad final de 1260g. El precio del ácido acético es 12€/kg por lo que para 1260g el precio será de 15,12€.

Seguidamente, para el colorante comercial dado que en Earth Color, como se ha comentado anteriormente, no hay ningún colorante en su catálogo que sea capaz de proporcionar UPF se deberá realizar un tratamiento posterior al de tintura al tejido para proporcionarle la capacidad de protección ultravioleta. En este estudio, para realizar este tratamiento posterior se realizará mediante impregnación por fulardado que consiste en el mismo procedimiento que para el tratamiento de quitosano. Por lo tanto, si en el baño tenemos una concentración de 40 g/L de óxido de zinc se habrá consumido 2,8 g de tela ajustando el cálculo para 600kg obtenemos un valor de óxido de zinc de 16,8 kg. Conociendo entonces que el precio del óxido de zinc es de 70€/kg se obtendrá un coste de 1176€. Mientras que, por otro lado, para la resina acrílica en el baño se encuentran 50 g/L donde se habrán consumido 3,5 g que ajustado a los 600 kg a escala industrial se necesitarán 21 kg de resina acrílica. Conociendo entonces que tiene un precio 12,5€/kg podemos obtener que el valor del coste será 262,5€.

El coste energético es de 1605,55€ para ambos colorantes teniendo en cuenta que la tintura donde se calienta el agua a 95°C tiene una duración de 60 minutos, sabiendo el valor de 0,16438€ que hace referencia a el precio del kWh en España.

A continuación, se mostrarán los gastos necesarios debido al personal contratado. Solo se tendrán en cuenta las horas del operario dedicadas a los procesos establecidos únicamente para este estudio, en este caso se necesitarán dos operarios para cada proceso ya que al ser una gran cantidad de tejido un único operario no puede. Se necesitarán ambos operarios para cada proceso con cada colorante, teniendo en cuenta que el proceso de tintura para ambos tiene una duración de 30 minutos, a lo que se sumará para el colorante natural 30 minutos del proceso de pretratamiento de quitosano y, por otro lado, para el colorante comercial se sumarán 30 minutos para el tratamiento posterior para proporcionar UPF. Según la BOE en la regularización de 2021 para el sector textil, centrado en el algodón, un técnico tintorero cobra a diario 1324,34€/mes por convenio, lo que equivale a que su salario base para un operario que trabaja 8h diarias es de

15892,08€ al año. Esto representa el salario bruto del empleado, aunque para el coste de la empresa se debe tener en cuenta que hay cuatro pagos adicionales que se deben hacer al salario base en esta situación, y sus valores se enumeran a continuación:

- Seguridad Social: 30% del salario base
- Tipo general de desempleo para contrato indefinido: 5,5% del salario base
- Fondo de garantía salarial (FOGASA): 0,2% del salario base
- Para formación profesional: 0,7% del salario base

Concepto	Coste de un operario para 8h	Coste de un operario para 1h
Salario base	15892,08€/año	1986,51€/año
Seguridad Social	4767,62€/año	595,95€/año
Tipo general de desempleo	874,06€/año	109,25€/año
Fondo de garantía salarial	31,78€/año	3,97€/año
Formación profesional	111,24€/año	13,9€/año
<b>Total</b>	<b>21676,78€/año</b>	<b>2709,58€/año</b>

*Tabla 13. Costes de un operario que trabaja 8h y 1h*

En la tabla 13 se muestra la comparativa de los costes de un operario que trabaja 8 horas frente a un operario que trabaja una hora, ya que como se ha comentado tanto para el proceso del colorante natural como para el colorante comercial tendrá una duración de una hora para un trabajador el coste a la empresa será de 2709€/año. Teniendo en cuenta que trabajará durante una hora en lo relacionado con el estudio, los costes que generará y el salario base del operario, se obtendrá que el precio de una hora de trabajo para un operario será de 18,88€/h, sabiendo que van a necesitarse dos operarios por cada colorante será un total de 37,76€/h ambos operarios.

<b>Coste</b>	<b>Colorante natural</b>	<b>Colorante comercial</b>
Tela	1188	1188
Colorante	1350	54
Ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	88	0
Carbonato sódico (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	0	553
Sulfato sódico anhidro	0	2056
Quitosano	3713	0
Ácido acético	15	0
Óxido de zinc (ZnO)	0	1176
Resina acrílica	0	262
Energía eléctrica	1605	1605
Operario	38	38
<b>TOTAL</b>	<b>7997€/Lote</b>	<b>6932€/Lote</b>

*Tabla 14. Costes de producción para el colorante natural y el colorante comercial*

Una vez se han obtenido los costes de producción tanto con el uso del colorante natural como para el cálculo comercial, se han obtenido unos gastos totales de 7997€ y 6932€, respectivamente. Por otra parte, el precio final por metro de tejido será de 3,90€/m de tejido con el uso del colorante natural mientras que para el colorante comercial tendrá un precio de 3,40€/m de tejido. El precio final por metro de tela ha resultado ser más económico con el uso del colorante comercial en comparación con el colorante natural, esto puede deberse a que los pretratamientos que necesita la tela para el colorante natural son más costosos en comparación con el colorante comercial. También afecta al coste las horas de trabajo demás que se emplean en el colorante natural lo que implica más horas de trabajo y por lo tanto aumenta los costes. Este tipo de procesos serán ventajosos siempre y cuando lo que se busque es obtener un tejido con alta protección ultravioleta directamente proporcionada por un colorante que además es natural, ya que durante el proceso y al tratarse de un colorante que ha sido extraído de residuos orgánicos reduce su impacto ambiental.

## 8. Conclusión

En este trabajo de fin de grado se han utilizado sustancias húmicas extraídas de residuos orgánicos urbanos para utilizarlos como colorantes naturales en un proceso de tintura de tejidos. Los resultados obtenidos del análisis de los experimentos permiten extraer las siguientes conclusiones:

- Se ha demostrado que los extractos de los residuos sólidos urbanos son colorantes naturales capaces de tinter tejido que presentarán una alta protección UV y una intensidad de color óptima.
- El estudio del efecto de las tres variables es importante ya que ha permitido observar cómo actúan los extractos de los residuos urbanos como colorantes naturales cuando se encuentran en diferentes condiciones, dando lugar a tejidos con capacidades diferentes, ya sea de color o de protección frente a los UV. Además, es importante para tener un rango más amplio entre las condiciones óptimas que puedan darse.
- Se debe tener en cuenta que en el estudio de las condiciones óptimas se han obtenido valores en las condiciones máximas entre las que se estudia el rango, lo que significa que si se hubiese ampliado el rango de estudio en líneas futuras podrías estudiar que las condiciones óptimas fuesen diferentes.
- Se han calculado y estudiado las condiciones en las que nuestro estudio sería escalado a un nivel industrial para una tintura tradicional en la industria textil, pudiéndose observar que es efectivo realizar este proceso para trabajar a nivel industrial.
- La evaluación económica reveló que los costes para un colorante comercial son más beneficiosos para la empresa desde el punto de vista económico, ya que se obtiene un precio de 0,5€/m más caro para el proceso de tintura utilizando el colorante natural de este proyecto. En cambio, desde el punto de vista medio ambiental, siempre que la empresa tenga como objetivo reducir la contaminación que la actividad industrial textil genera será más beneficioso la utilización del

colorante natural ya que este te aporta UPF al finalizar la tintura, no se utilizan productos tóxicos, ni productos auxiliares y se realiza el proceso sin la utilización de sal, es un proceso sostenible y de un mismo tratamiento se obtiene coloración y un alto factor de protección ultravioleta.

En conclusión, al estudiar el empleo de extractos de residuos orgánicos como colorantes textiles naturales, se ha llevado a cabo una participación en la actividad industrial textil ya que pueden abordarse proyectos futuros que contribuyan beneficiosamente a la economía circular como es este proyecto y se puede seguir estudiando para disminuir sus costes consiguiendo así que pueda ser más ventajoso en el ámbito económico que los colorantes comerciales que se utilizan de manera convencional en la industria textil.



## 9. Bibliografía

- [1] Akbar Jan, M. I. (2010). *A comparative study of human health risks via consumption of food crops grown on wastewater irrigated soil (Peshawar) and relatively clean water irrigated soil (lower Dir)*.
- [2] Hossein Khademi, M. (2019). *Environmental impact assessment of industrial activities on heavy metals distribution in street dust and soil*.
- [3] Garmendia, A., Salvador, A., Crespo, C., & Garmendia, L. (2005). *Evaluación de impacto ambiental*.
- [4] Rodríguez Jiménez, j. J. (2008). *Hacia un uso sostenible de los recursos naturales*.
- [5] Rothausen, D. (2011). *Greenhouse-gas emissions from energy use in the water sector*.
- [6] David, G., Mark, S.-S. (2013). *Policy: sustainable development goals for people and planet*.
- [7] Carlos, S-S. (2013). *El agua y la generación de energía en entornos de sostenibilidad*.
- [8] Christoph, C. H. (2018). A company-oriented model for the assessment of raw material supply risks, environmental impact and social implications. *Journal of Cleaner Production*..
- [8] Daniel, E. Z. (2008). *El impacto ambiental de las actividades industriales: el cambio necesario*.
- [9] Choudhury, A. R. (2014). *Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing*..
- [10] Sughosh Madhav, A. A. (2018). A review of textile industry: Wet processing, environmental impacts, and effluent treatment methods.

- [11] Francesc, E-T. (2017). Environmental impact of Recover cotton in textile industry.
- [12] Adriana Cortazar, C. C. (s.f.). Contaminación generada por colorantes de la industria textil. *Boletín Científico*.
- [13] Sana Khan, A. M. (2013). *Environmental and Health Effects of Textile Industry Wastewater*.
- [14] Ali Hasangeigi, L. P. (2015). A technical review of emerging technologies for energy and water efficiency and pollution reduction in the textile industry. *Journal of Cleaner Production*,
- [15] Kuryk, A. (2022). *Nuevos materiales ecoeficientes basados en la revalorización de residuos del sector textil*.
- [16] Fernanda De Oliveira, B. S. (2022). *Textile waste revaluation system: from design to implementation*.
- [17] Sylvie Geisendorf, F. P. (2017). The circular economy and circular economic concepts—a literature analysis and redefinition. *Thunderbird International Business Review*,
- [19] Xuandong Chen, H. A. (2021). Circular Economy and Sustainability of the Clothing and Textile Industry. *Materials Circular Economy volume*.
- [20] Requena, D. D. (2023). *Residuos como materia prima*.
- [21] Jaidith Marisol, R. R. (2010). Estudio del proceso de biosorción de colorantes sobre borra de café.
- [22] Mohamed Kadhom, N. A.-F. (2020). Removal of dyes by agricultural waste.
- [23] Dogan Karadag, E. A. (2007). Basic and Reactive Dye Removal Using Natural and Modified Zeolites.
- [24] Adriana Cortazar, C. C. (s.f.). Contaminación generada por colorantes de la industria textil. *Boletín Científico*.

- [25] Katherine, S. R. (2013). Removal of dyes using agricultural waste as low-cost adsorbents: a review.
- [26] <https://ieqfb.com/la-valorizacion-de-residuos-y-sus-beneficios/>
- [27] Joaquín, A. M. (2005). Protección ultravioleta proporcionada por los textiles: estudio de la influencia de las variables más significativas y aplicación de productos específicos para su mejora.
- [28] Azadeh Bashari, M. S. (2019). *UV-protective textiles*. Iran: Woodhead Publishing.
- [29] Héctor S. (2007). Protección anti uv proporcionada por tejidos: montaje del laboratorio y primeros ensayos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*.
- [30] Moura, A. (2018). Advances in textiles with UV protective properties for clothing. *Textile Research Journal*.
- [31] <https://www.skincancer.org/es/skin-cancer-prevention/sun-protection/sun>.
- [32] Beatriz M. A. V. (2018). Efecto del TiO<sub>2</sub> en las propiedades de los tejidos de algodón.
- [33] Hao Sun, X. L. (2021). Molecular composition and optical property of humic-like substances (HULIS) in winter-time PM<sub>2.5</sub> in the rural area of North China Plain. *Atmospheric Environment*.
- [34] Malcolm N. Jones, N. D. (1998). Colloidal properties of humic substances. *Advances in Colloid and Interface Science*.
- [35] Thurman, E. (1985). Aquatic Humic Substances. *Organic Geochemistry of Natural Waters*.
- [36] Gara, P. M. (2008). Extracción, caracterización de sustancias húmicas y su empleo en procesos fotoquímicos de interés ambiental.
- [37] Jerzy Weber, Y. C. (2018). Preface: humic substances in the environment. *Journal of Soils and Sediments volume*.

- [38] Ludmila Timofeevna Shirshova, E. A. (2005). Spectroscopic characterization of humic acid fractions isolated from soil using different extraction procedures. *Geoderma*.
- [39] Ciavatta, M. G. (1990). Characterization of humified compounds by extraction and fractionation on solid polyvinylpyrrolidone. *Journal of Chromatography A*.
- [40] Arellano, K. A. (2016). Sustancias húmicas: origen e impacto ambiental.
- [41] Oliag, P. T. (s.f.). Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELAB.
- [42] Martina Viková, M. V. (2014). Description of photochromic textile properties in selected color spaces. *Textile research journal*.
- [43] Jessica Ingrid Piñeiro-Di Blasi, J. (2013) Desarrollo de una aplicación para la comparación rápida de pigmentos a partir de sus coordenadas colorimétricas.
- [44] Bruno, B. A. (2002). Fibras textiles.
- [45] <https://sostenibilidadmasvida.com/textil/fibras-textiles/>
- [46] <https://www.playerasmak.com/conoce-los-tipos-y-caracteristicas-de-las-fibras-textiles/>
- [47] Laura, V. V. (2021). Estudio de tejidos celulósicos mediante análisis térmico.
- [48] Sebastian, C. S. (2015). Estudios experimental de tintura de tejidos sintéticos para la preparación de muestras de referencia.
- [49] <https://nunezrevec.com/2021/03/13/tintes-naturales-que-son-los-mordientes/>
- [50] Alied, R. S. (2020). Quitosano, un biomaterial versátil. *Ingeniería UC*, 118-135.
- [51] Jaume, R. G. (s.f.). Obtención de sustancias tipo húmicas a partir de residuos sólidos de la industria del aceite de oliva.
- [52] Aslam S, H. T. (2019). Multifunctional finishing of cotton fabric. *Autex Res*.

