

**DESARROLLO DE UN TINTE PARA
TEXTILES DE ALGODÓN RECICLADO A
PARTIR DE CÁSCARA DE CITRUS
SINENSIS**

**ANA MARÍA GARCÍA RÚA
ANGIE GABRIELA PORRAS GÓMEZ
MARIANA GUERRA GONZÁLEZ**

Trabajo de grado para optar al título de Diseñador Industrial

Asesor

PAULA ANDREA CHACÓN CIFUENTES
Ingeniera de Diseño de Producto. MsC en Ingeniería de
Materiales.

ALEJNDRO ALBERTO ZULETA GIL
Ingeniero de Materiales. PhD en Ingeniería

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
FACULTAD DE DISEÑO INDUSTRIAL
PROGRAMA DE DISEÑO INDUSTRIAL
MEDELLÍN
AÑO 2023**

DESARROLLO DE UN TINTE PARA TEXTILES DE ALGODÓN RECICLADO A PARTIR DE CÁSCARA DE CITRUS SINENSIS

Ana María García Rúa, Angie Gabriela Porras Gómez, Mariana Guerra González

Facultad de Diseño Industrial, Universidad Pontificia Bolivariana, Sede Medellín, Circular 1 N° 70-01, Medellín, Colombia

Resumen

En la actualidad, se presenta la necesidad de plantear cambios frente a la producción de textiles a base de algodón, explorando nuevos enfoques que reduzcan el impacto ambiental y mejoren el uso de recursos en la industria textil, la cual se caracteriza por el uso demandante de grandes cantidades de agua, que trae como consecuencia la presión sobre este recurso. Este estudio busca investigar la viabilidad del uso de subproductos agroindustriales de frutas procedentes de la región de Antioquia para la pigmentación de textiles de algodón reciclado. Para llevar a cabo el proyecto, se prepararon muestras de textil de algodón modificados con pigmentos naturales, a los cuales se les caracterizó sus propiedades ópticas a través de colorimetría. Se encontró que el tinte adquirido a partir de la cáscara de naranja permite teñir la tela de algodón reciclado manteniendo un patrón de igualdad entre las tonalidades, y presentando una gran diferencia entre el color adquirido y la tela sin ser modificada.

Este proyecto contribuye con la mitigación de la contaminación derivada de la industria de tinturado, que destaca negativamente por involucrar químicos tóxicos como auxiliares complejos para ser más productivos y económicos. El enfoque del proyecto es centrado a la identificación y experimentación a partir de formulaciones con materiales naturales y procesos amigables con el medio ambiente. Este estudio se presenta como un paso que aporta hacia la creación de textiles más respetuosos con el medio ambiente, el aprovechamiento de subproductos agroindustriales y la promoción de prácticas sostenibles en la industria textil.

Palabras clave: Algodón reciclado; pigmentos naturales, subproductos agroindustriales; sostenibilidad; teñido.

1. Introducción

El algodón, una fibra textil de origen vegetal que se obtiene de la planta del género *Gossypium*, ha sido un recurso versátil y fundamental a lo largo de la historia de la humanidad. Su contribución más destacada se encuentra en la industria textil, donde proporciona los hilos que dan lugar a una amplia gama de productos, ofreciendo no solo comodidad, sino también una estética agradable (Bajaj, 1998) Esta fibra desempeña un papel crucial en múltiples industrias, y su demanda continúa en constante aumento, lo que plantea el desafío de mantener precios competitivos y alta calidad en su producción, ya que la agricultura por sí sola no puede satisfacer esta creciente demanda (Yousef et al., 2019) El algodón ostenta el título de ser la fibra más importante del mundo, lo que se refleja en su impacto económico, generando ingresos que ascienden a más de 600 billones de dólares anuales a nivel mundial, representando al menos un tercio de las ganancias de la industria textil (Tariq et al., 2017) En la última década, la producción anual de fibras textiles superó los 82 millones de toneladas, de las cuales aproximadamente 25 millones corresponden al algodón (Khan et al., 2020). Sin embargo,

el crecimiento rápido y constante de la producción de textiles a base de algodón conlleva un aumento en el consumo de recursos hídricos y la generación de desechos de fibras, lo que representa un impacto ambiental considerable. El cultivo de algodón demanda vastas cantidades de agua, contribuyendo al agotamiento de las reservas de agua dulce y a la exacerbación de problemas de sequía en las áreas de cultivo (Chapagain et al., 2006). A pesar de estos desafíos, es importante destacar que, en muchos países en vías de desarrollo, el algodón es el principal cultivo comercial y una fuente vital de intercambio económico con otras naciones (González, 2022; Khan et al., 2020)

Al mismo tiempo, se reconoce que en el campo de los textiles sostenibles existe mayor investigación respecto a la aplicación de pigmentos naturales a materiales hechos a partir de otras fibras naturales, y no en algodón reciclado, como en el caso de la seda, piñatex, cáñamo, entre otros; estas investigaciones podrían representar una fuente de conocimiento valiosa y al mismo tiempo una competencia significativa (Martínez, 2009)

En este contexto, surge la necesidad de buscar soluciones que promuevan la producción sostenible de textiles elaborados a partir de algodón, esto implica la exploración de enfoques que reduzcan significativamente el impacto ambiental y promuevan la eficiencia en la utilización de recursos. Con este trabajo se propone aportar en este sentido con el fin de evaluar la viabilidad de utilizar residuos de frutas procedentes de la región de Antioquia para la pigmentación de textiles de algodón reciclado. Además, se realizará la caracterización de las propiedades ópticas, en relación con el color obtenidas sobre el textil, contribuyendo así con la mitigación de la contaminación derivada de la industria de tinturado. El objetivo de este trabajo es modificar el color de un textil de algodón reciclado a partir de formulaciones con materiales naturales y procesos amigables con el medio ambiente. Con este propósito, se plantea la siguiente pregunta de investigación: “¿Cuál es el procedimiento experimental que permite la modificación del color del algodón reciclado a partir de subproductos agroindustriales de frutas de la región antioqueña, a la vez que le confiere propiedades mecánicas mejoradas?” Este estudio se presenta como un paso que aporta hacia la creación de textiles más respetuosos con el medio ambiente, el aprovechamiento de subproductos agroindustriales y la promoción de prácticas sostenibles en la industria textil.

2. Metodología

Para alcanzar los objetivos planteados, se planearon las siguientes etapas metodológicas: En la primera etapa, se definió cuáles subproductos agroindustriales orgánicos se utilizarían y se seleccionaron las técnicas apropiadas para la extracción de tintes y el proceso de teñido. Esto incluyó una revisión exhaustiva de la literatura científica para identificar métodos aplicables, seguida de la selección de subproductos agroindustriales a partir de una tabla de ponderación que evaluó propiedades como facilidad de acceso, duración de temporada alta, nivel de articulación con el Diseño para las Transiciones y nivel de innovación del material. Luego, se preseleccionaron técnicas de extracción y teñido basadas en la bibliografía consultada, y se identificaron los recursos necesarios para las pruebas. En la segunda etapa, se planificaron sesiones de prueba, se ejecutaron pruebas de extracción del tinte y pruebas de teñido en textiles de algodón reciclado utilizando los pigmentos obtenidos en las pruebas anteriores. Finalmente, en la tercera etapa, se validaron y documentaron rigurosamente los hallazgos de las pruebas, centrándose en pruebas de resistencia a la luz, resistencia al lavado, resistencia al frote o roce, y colorimetría, con el objetivo de asegurar que los tintes cumplieran con los estándares de calidad requeridos para la industria de la moda sostenible. A continuación, se detallan cada una de las etapas:

Selección de subproductos agroindustriales

Para esto, se identificaron varios tipos de subproductos agroindustriales, de los cuales se seleccionaron cinco para un análisis más detenido entre los cuales se encontraban el cacao, la mora, el aguacate, el higo y la naranja. Estos cinco subproductos agroindustriales se sometieron a una tabla de ponderación proporcionada por el docente investigador Alejandro Zuleta. La tabla se basó en las siguientes propiedades: facilidad de acceso, duración de la temporada alta, nivel de articulación con el Diseño para las Transiciones (Arango Marín, 2021) y nivel de innovación del material. Cada propiedad en la tabla de ponderación recibió un valor numérico asignado por el equipo investigador. Además, se evaluó cada uno de los cinco subproductos agroindustriales en función de estas propiedades, otorgándoles una calificación que variaba entre Alto, Medio o Bajo. Esta evaluación ayudó a identificar los subproductos agroindustriales que mejor se ajustaban a los criterios establecidos para su posterior utilización en el proyecto de investigación.

Extracción del pigmento

Después de esto, se procedió con la extracción del pigmento a partir de los subproductos agroindustriales identificados. Esto implicó el secado del material a una temperatura constante de 60°C durante un período de 24 horas para eliminar la humedad. Luego, los subproductos agroindustriales fueron macerados hasta obtener un polvo fino. En un contenedor separado, se combinó la cáscara macerada con alcohol y acetona en una relación de 1:2. Esta mezcla se mantuvo sellada a temperatura ambiente durante al menos 24 horas (Hecker, 2014).

Prueba de teñido sobre el textil

Siguiendo los pasos descritos por (Hecker, 2014; Martínez, 2009) para teñir con pigmentos naturales, se eligió la técnica adecuada para teñir muestras de textil de algodón reciclado. Haciendo también uso de la prueba y error, se decidió aplicar la técnica por remojo para llevar a cabo el teñido, en esta, se dejó la muestra por un mínimo de 12 horas sumergida en la combinación de acetona con el macerado de los subproductos agroindustriales, se retiró pasado el lapso de tiempo de 14 horas y se dejó secar completamente. Posterior al secado, se hizo un lavado únicamente con agua para eliminar excesos de la pasta utilizada y se volvió a secar. Esta fase permitió evaluar la eficacia del pigmento en la coloración de textiles y su adherencia al tejido.

Caracterización

La última sección de la metodología se enfocó en la caracterización de las muestras teñidas. Esto incluyó varias pruebas, como la resistencia a la luz (*ISO 105-B01:1994(en), Textiles — Tests for colour fastness — Part B01: Colour fastness to light: Daylight*, 1994), la resistencia al lavado (*ISO 105-E01:2013(en), Textiles — Tests for colour fastness — Part E01: Colour fastness to water*, 2013) y la resistencia al frote o roce (*ISO 105-X12:2016(en), Textiles — Tests for colour fastness — Part X12: Colour fastness to rubbing*, 2016). Además, se realizó una prueba de colorimetría empleando un espectrofotómetro de esfera X-Rite para evaluar la uniformidad del teñido en las muestras seleccionadas. Estas pruebas se llevaron a cabo siguiendo procedimientos específicos, como exponer las muestras al sol durante 24 horas, lavarlas a máquina o a mano, realizar frotamientos en seco y medir las coordenadas L^* a^* b^* con un espectrofotómetro marca X-Rite.

3. Resultados y discusión

Selección de subproductos agroindustriales:

La selección de los subproductos se hizo tras la investigación y revisión de la bibliografía, se plantearon inicialmente diferentes variables importantes para tener en cuenta frente a la adquisición y eficiencia del subproducto, y conforme a la información adquirida sobre la producción de frutas en la región antioqueña, se tomaron 5 posibilidades: el cacao, la mora, el higo, el aguacate y la naranja. De acuerdo con los resultados arrojados por la tabla de ponderación (tabla 1), la cáscara de la naranja fue el subproducto seleccionado para llevar a cabo la extracción del tinte. Se evidenció la pertinencia de escoger este residuo teniendo en cuenta la indagación realizada por el equipo sobre la producción de naranja en Antioquia, investigaciones previas sobre pigmentación con naranja y, por ende, las variables planteadas para el ejercicio como la facilidad de acceso, la duración de la temporada alta, el nivel de articulación que tiene con el Diseño para las Transiciones y el nivel de innovación que se tendría en las tonalidades. Respecto a esta última variable, se optó por trabajar con las dos variedades de naranja que se cultivan en Antioquia, las cuales son *Valencia* y *Sweety*, explorando la posibilidad de variaciones en las tonalidades a partir de las diferencias de coloración de las cáscaras, procurando obtener una variación tanto de opacidad del tinturado como del color en sí mismo.

Facilidad de acceso a la materia prima		Duración de la temporada alta		Nivel de articulación con el diseño para las transiciones		Nivel de innovación del posible tono final	
Nivel	Calificación	Nivel	Calificación	Nivel	Calificación	Nivel	Calificación
Alto	10	Menos de 8 meses	10	Alta	10	Alta	10
Medio	5	Entre 6 y 8 meses	5	Media	5	Media	5
Bajo	1	Menos de 6 meses	1	Baja	1	Baja	1

(a)

Propiedad	Unidades	Ponderación	Cacao			Mora			Aguacate			Higo			Naranja		
			Valor	Calificación	Puntaje	Valor	Calificación	Puntaje	Valor	Calificación	Puntaje	Valor	Calificación	Puntaje	Valor	Calificación	Puntaje
Facilidad de acceso	N/A	8	Alto	10	80	Alto	10	80	Alto	10	80	Medio	5	40	Medio	5	40
Duración de temporada	N/A	7	Baja	1	7	Media	5	35	Alto	10	70	Bajo	1	7	Alto	10	70
Nivel de articulación D.T	N/A	9	Alto	10	90	Bajo	1	9	Medio	5	45	Bajo	1	9	Alto	10	90
Nivel de innovación tonalidad	N/A	10	Bajo	1	10	Alto	10	100	Alto	10	100	Alto	10	100	Alto	10	100
Propiedad 5					0			0			0			0			0
Propiedad 6					0			0			0			0			0
Propiedad 7					0			0			0			0			0
					187			224			295			156			300

(b)

Tabla 1. Tablas de ponderación para el proceso de selección de subproducto agroindustrial para llevar a cabo del producto. (a) Tabla de calificación cualitativa selección de subproductos agroindustriales. (b) Tabla de ponderación base para selección de subproductos

Extracción del pigmento

Para llevar a cabo este proceso, se optó por realizar la extracción por trituración y remojo, con alcohol y acetona, teniendo en cuenta que estos dos químicos permiten una mejor dilución del β -caroteno (responsable del color amarillo en la naranja) (Hecker, 2014) para ser absorbida por el tejido en el proceso de teñido posterior.

Se realizó el secado de las cáscaras haciendo uso de las instalaciones de la Universidad Pontificia Bolivariana, utilizando específicamente un horno de secado, como se observa en la Figura 1, en el cual se ubicaron las cáscaras por un lapso de 24 horas a 60°C. El resultado que se obtuvo fueron las cáscaras completamente secas y rígidas, de forma que se pudo continuar con el siguiente paso.

Posterior al secado, se realizó el triturado haciendo uso de una licuadora, en la que se fue adicionando la cáscara de a poco y removiendo cada 50 segundos para adquirir una cantidad de partículas mucho más finas (figura 1). Cabe resaltar que con las cáscaras se hizo una categorización, en la que se dividieron por color, de forma que se tuvieron 4 categorías: amarillo, amarillo verdoso, verde amarillento y verde. Por este motivo, fue que el proceso se realizó 4 veces distintas, una para cada categoría, de manera que los colores no se combinaran. Siguiendo a esto, se colaron los resultados, de forma que se separaron las partículas que todavía estaban de gran tamaño con las

más pequeñas. Las grandes fueron reservadas y las pequeñas son las que se utilizaron para la experimentación.

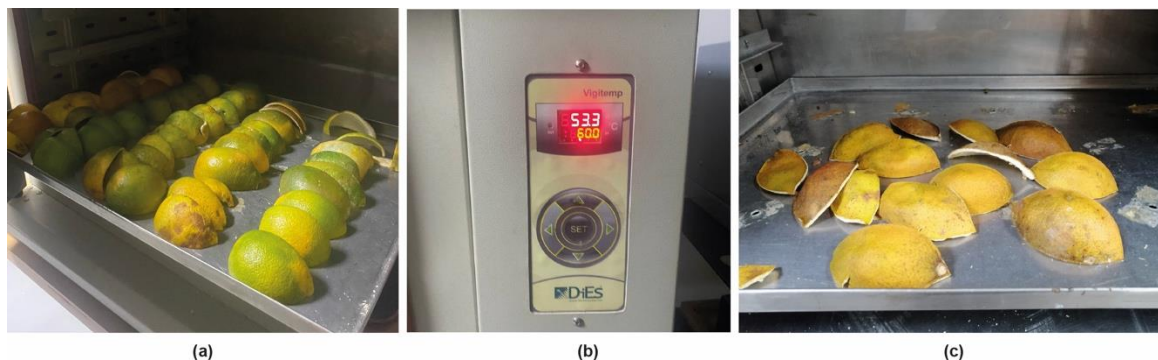


Figura 1. Proceso de preparación de las cáscaras de la naranja. (a) Cáscaras de naranja cortadas en cuartos y ubicadas ordenadamente dentro del horno de secado, (b) Temperatura del horno ubicada a los 60°C, y (c) Resultado de las cáscaras posterior al secado. Autoría propia.

Para este paso se procedió a pesar 38 g de polvo de la cáscara de cada tonalidad de color para luego añadirlos cada uno en un recipiente de vidrio distinto que contenía el doble de cantidad de solvente previamente medido. Este proceso fue realizado tanto para el alcohol como para la acetona.

Luego de mezclar la cáscara en polvo con el solvente en los recipientes de vidrio, se sellaron para dejar reposar la mezcla por 24 horas. En el caso del alcohol se obtuvieron unas mezclas con mayor nivel de pastosidad, mientras que en el caso de la acetona se obtuvieron mezclas heterogéneas, tal y como se alcanza a observar en la figura 2.



Figura 2. (a) Cáscaras posteriores al triturado, separación de los resultados por tamaño de partículas, (b) Partículas más finas de la cáscara separadas para ser utilizadas, (c) Contenedores sellados en las que se hace prueba haciendo uso de alcohol como disolvente, (d) Contenedores sellados en las que se hace prueba haciendo uso de acetona como disolvente. (e) Contenedor posterior a ser sellado 24 horas, usando alcohol, (f) Contenedor posterior a ser sellado 24 horas, usando acetona. Autoría propia.

Prueba de teñido sobre el textil

- *Pre-mordentado:*

Previo al proceso de teñido del textil se llevó a cabo un proceso de preparación del mismo con el fin de asegurar la correcta fijación del tinte.

Primero se lavó el textil con el objetivo de quitar cualquier impureza que este trajera de fábrica y se dejó secar, se cortaron muestras de 10x10cm para después pesar cada una, cada muestra pesó 6 g. Teniendo en cuenta el peso de cada muestra, se calculó el 15% en peso, para obtener la cantidad de alumbre que sería necesaria para el pre-mordentado, en este caso eran 0,9 g. Cuando se obtuvo la cantidad de alumbre que era necesaria para cada muestra, se procedió a pulverizar el alumbre, para asegurar una mejor adherencia a la tela.

Posteriormente, cuando ya se tenían claras las cantidades, se remojaron en agua todas las muestras para después escurrirlas, en paralelo se iba agregando la cantidad de alumbre necesaria para todas a un recipiente pequeño con agua para disolverlo. En una olla se añadieron 600 mL de agua y se vertió el mordiente previamente disuelto para dejar calentar hasta los 70-80 °C, cuando se alcanzó esta temperatura se procedió a añadir las muestras y revolver durante 5-7 minutos, pasado este tiempo se removieron las muestras para dejarlas secar y continuar con el proceso de teñido.

- *Teñido a muestras de algodón reciclado:*

De acuerdo con las pruebas realizadas previamente, se optó por realizar un teñido mediante remojo utilizando pigmentos combinados con acetona en muestras de algodón reciclado de 10x10 cm. Las muestras se sumergieron en un recipiente, aunque las esquinas no quedaron completamente sumergidas debido al tamaño del mismo. Permanecieron en remojo durante un mínimo de 12 horas y un máximo de 14 horas. Posteriormente, se retiraron y se colocaron planas al sol para secarse, lo que tomó alrededor de 32 horas debido a la falta de luz constante y pareja.

Como resultado, las muestras tenían polvo de cáscara sobre ellas, que se retiró para revelar los resultados del teñido. Los pigmentos se distribuyeron de manera diferente en las muestras, siendo más pronunciados en las esquinas en algunos casos y uniformes en toda la superficie en otros.

Prueba de resistencia a la luz

Para esta prueba, se realizó el proceso de teñido en remojo siguiendo el paso a paso planteado anteriormente, posterior a la absorción del color, se ubicaron las telas de forma plana sobre el piso, en un lugar en donde recibiera sol por lo menos 10 horas al día, de forma que se dejaron en esta posición un mínimo de 2 días, con el fin de sumar las 24 horas, y que la tela estuviese completamente seca al finalizar el proceso. Los resultados de esta prueba se observan en la figura 3.

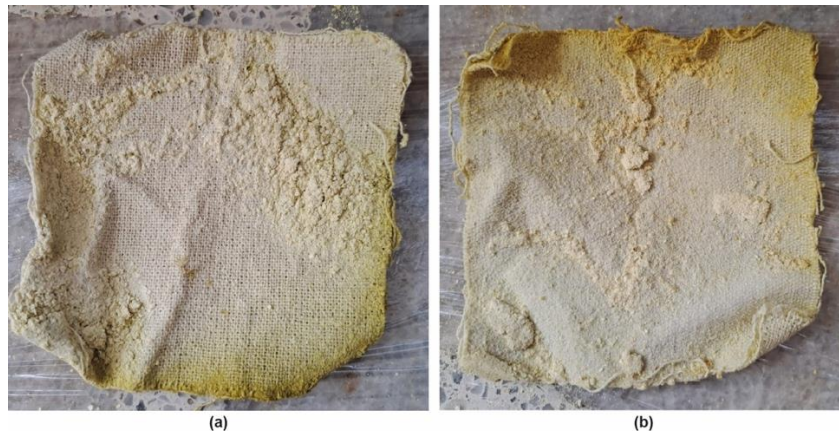


Figura 3. (a) Prueba 1 para verificar la resistencia a la luz, se observa el residuo sobre la muestra, (b) Prueba 2 para verificar la resistencia a la luz, se observa el residuo sobre la muestra. Autoría propia.

Prueba de lavado

Para esta prueba, se tomó una de las pruebas teñidas con el pigmento adquirido por la cáscara de naranja y una muestra completamente limpia, de forma que se pudiera llevar a cabo una comparación entre ambas, intentando observar si posterior al lavado, la tela quedaba más cercana a la prueba limpia o mantenía el color que había adquirido a través del proceso de teñido. Es por esto que se tomó una foto antes de realizar la prueba, en la que se puede ver la diferencia de colores.

Posteriormente, se preparó un recipiente con suficiente agua para cubrir completamente la muestra y se añadió una generosa cantidad de detergente. Se realizó un lavado manual durante un período exacto de 2 minutos, con el tiempo controlado de manera precisa. Durante este proceso, se aplicó un frote continuo con una presión constante sobre la tela. Al finalizar los 2 minutos, se retiró la muestra del recipiente y se enjuagó exhaustivamente hasta que estuvo libre de residuos de detergentes.

Al no poder ubicar la muestra al sol debido a que no se puede asegurar que la muestra reciba esta fuente de luz de forma constante y uniforme afectando los resultados de la prueba, se ubicó frente a un ventilador en la sombra hasta que estuviese completamente seco (proceso que demoró alrededor de 1 hora) y se tomaron fotos para realizar una comparación de cómo se seguía viendo al lado de la muestra en blanco.

De acuerdo con estos resultados se puede decir que el proceso de teñido con pigmentos naturales derivados de cáscaras de naranja ha resultado efectivo en la fijación del color en las muestras de tela. A pesar de la exposición al lavado, las muestras teñidas retuvieron una parte de su color inicial como se puede observar en la figura 4.

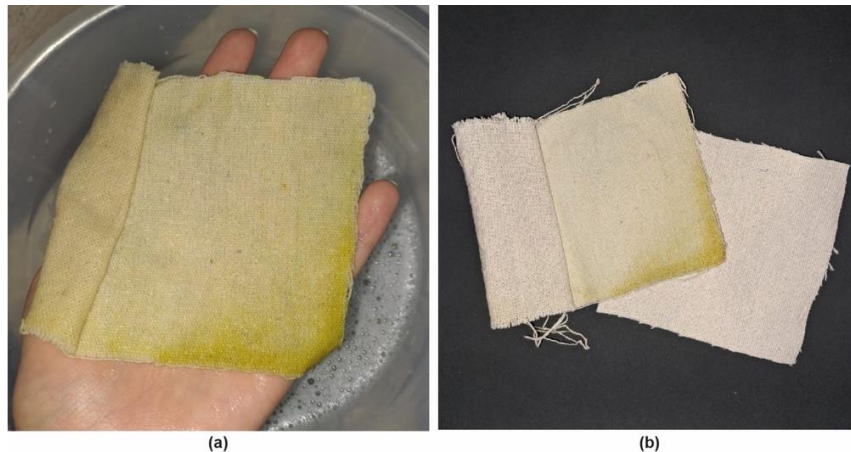


Figura 4. (a) Prueba húmeda posterior a la realización de la prueba de lavado, (b) Comparación de muestra original sin sufrir ningún cambio frente a muestra teñida haciendo uso del tinte natural posterior a la prueba. Autoría propia.

Prueba de frote-roce:

Para llevar a cabo esta prueba, se tomaron dos muestras, una teñida con el pigmento adquirido, y otra completamente limpia. De esta forma, se tomó una foto para poder llevar a cabo la comparación de las muestras antes y después de la prueba tal y como se observa en la figura 5.



Figura 5. Comparación de muestra original sin sufrir ningún cambio frente a muestra teñida haciendo uso del tinte natural adquirido antes de realizarle la prueba. Autoría propia.

Tras tomar la foto, se tomaron ambas muestras y se frotaron una contra la otra, siempre contra una misma cara, y manteniendo una fuerza constante durante todo el proceso. El frote de la muestra teñida estuvo dirigido de forma más concentrada hacia una esquina debido a que en esta es donde el color se mostraba de forma más intensa, por este motivo, también se enfocó el frote en una sola esquina de la muestra limpia.

La prueba se llevó a cabo por un lapso exacto de 2 minutos que fueron cronometrados, posterior a finalizar el proceso, se tomó una foto más para ver cómo queda la muestra tras ser expuesta a este tipo de movimientos y llevar a cabo una comparación de resultados.

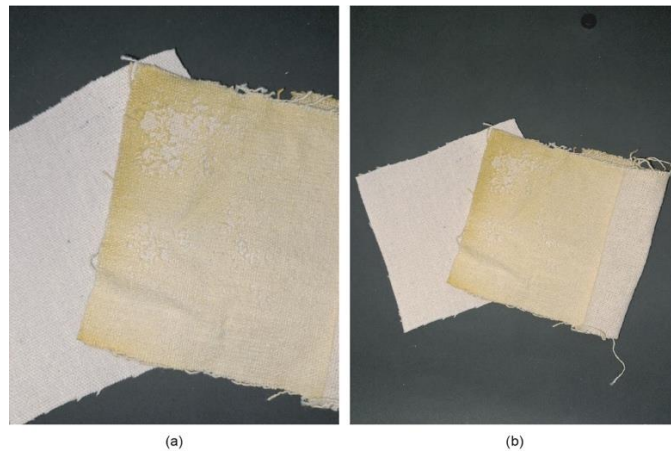


Figura 6. (a) Comparación de muestra original sin sufrir ningún cambio frente a muestra teñida haciendo uso del tinte natural adquirido tras realizarle la prueba, (b) Detalle de resultado en muestra frente a la prueba de frote-roce. Autoría propia.

Pruebas de colorimetría:

El enfoque de este análisis se centró en las cuatro muestras que arrojaron los resultados más prometedores a lo largo de los procesos de teñido previos con acetona. En cada una de estas muestras seleccionadas, se identificaron tres puntos estratégicos que mostraban variaciones en la intensidad del pigmento.

La prueba consistió en ubicar el espectrofotómetro en los diferentes puntos, de forma que este equipo lanzara en cada uno de los puntos coordenadas en L^* , a^* y b^* que se explicarán más abajo, permitiendo llevar a cabo una recolección de resultados que fueron ubicados en una tabla y gráficos para comparar la diferencia de colores entre la muestra limpia y las 4 muestras teñidas, dando a conocer cuál de las muestras quedó con un pigmento más intenso y cual fue más uniforme entre sus 3 puntos.



Figura 7. (a) Espectrofotómetro de esfera Xrite utilizado para ejecutar la prueba, (b) Formato en el que el espectrofotómetro lanza resultados de los diferentes puntos. Autoría propia.

A partir de los resultados adquiridos, se realizó una sistematización de la información que se logró obtener a partir de las pruebas de colorimetría, de forma que se tomó el punto que lanzó un color más vibrante en comparación a la tela sin teñir, y se ubicaron las coordenadas en un diagrama de cromaticidad para cada caso, obteniendo el gráfico a continuación.

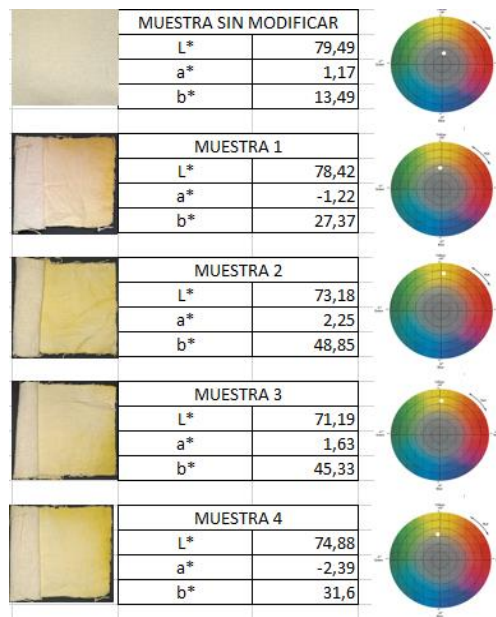


Figura 8. Sistematización de los puntos más vibrantes en las diferentes muestras en comparación al color de la muestra sin modificar. Autoría propia.

Teniendo en cuenta que el parámetro b^* es de mayor importancia debido a que es el que señala la cercanía al color amarillo, se obtuvieron los promedios y se realizó el ejercicio de adquirir cuál es la desviación estándar, que permite observar la diferencia entre las muestras y lo verdaderamente lejano que están los resultados entre ellos. De esta manera, se realizó el siguiente gráfico con los datos adquiridos.

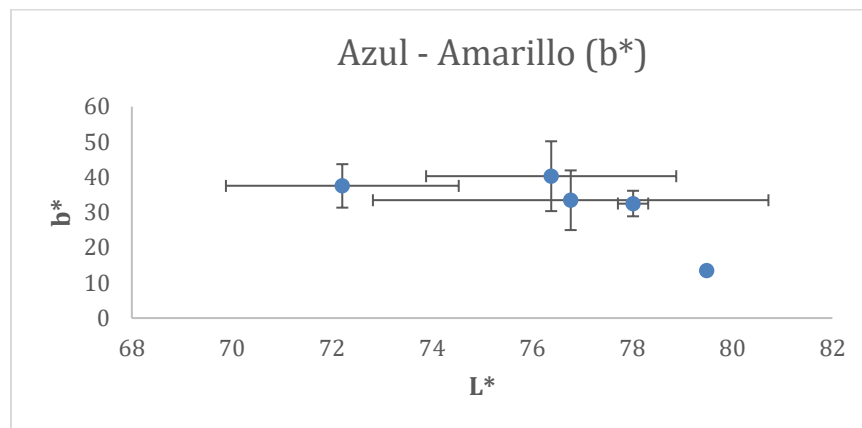


Figura 9. Gráfica de desviación estándar en la que se observa la desviación entre las muestras teñidas en comparación a la muestra sin modificar. Autoría propia.

En lo que respecta al parámetro b^* , que es donde se han observado las mayores diferencias, se evidencia que existe una diferencia significativa entre la muestra no modificada y todas las muestras que han experimentado modificaciones. Sin embargo, entre las muestras modificadas no se han identificado cambios sustanciales en cuanto al valor del parámetro b^* . Estas muestras exhiben rangos de valores muy similares entre sí, lo que significa que se ha producido un cambio de color de

blanco a amarillo, pero no se han observado diferencias notables en los resultados obtenidos mediante diferentes tratamientos de pigmentación.

4. Conclusiones

1. La cáscara de naranja, tratada con acetona, se reveló como una fuente efectiva de pigmentos, especialmente β -caroteno, para el proceso de teñido textil. Se evidenció que el secado controlado y el macerado adecuado son parte vital para la extracción del tinte.

2. A partir de la investigación previa, se identificó que el textil de algodón reciclado tiene gran variedad de beneficios a nivel económico y ambiental, pero en cuanto a su desempeño mecánico es evidente que presenta un nivel menor comparado con la tela de 100% algodón. Esto es debido a que, en el proceso de fabricación, las fibras pierden longitud por lo tanto la tela final no es tan resistente y tiende a desgastarse más fácilmente que una tela normal, esto se logró evidenciar desde el primer momento del recorte de las muestras, ya que los bordes de las mismas se empezaron a deshilar y fue muy notoria la disminución de su rendimiento a nivel mecánico.

Las muestras teñidas mostraron una distribución irregular del tinte, concentrándose en las esquinas, posiblemente a causa de tensión de las fibras del textil, lo que permitiría que las partículas se alojasen con más facilidad y el color se viera mucho más vibrante en estas zonas.

3. Las pruebas de lavado demostraron que las muestras teñidas con pigmentos de cáscaras de naranja mantuvieron su color de manera notable después de un lavado manual de 2 minutos con detergente, lo que sugiere que el teñido con pigmentos naturales de cáscaras de naranja podría ser una alternativa viable y duradera al teñido químico en la industria textil. Sin embargo, se requiere investigación adicional para comprender completamente sus propiedades de durabilidad.

4. Las pruebas de frote revelaron que la capa superior de la tela teñida se desprende fácilmente al rozar con otra muestra, dejando expuesta la tela cruda debajo de este, indicando la necesidad de investigar diferentes procesos de mordentado para una mejor adhesión del tinte.

5. En términos ambientales, se puede decir que el uso de acetona en el proceso de teñido se considera menos perjudicial que los tintes sintéticos convencionales, los cuales, a partir de la bibliografía, se puede corroborar que efectivamente en su proceso de fabricación tienen una gran influencia en la contaminación del agua al hacer uso de químicos no solubles y tóxicos. Sin embargo, se debe evaluar el impacto energético del secado y triturado de las cáscaras de naranja a nivel industrial.

Referencias

Arango Marín, M. (2021). Diseño para las transiciones: Una ruta formativa desde las identidades y los saberes artesanales *Transition Design: a Formative Route From Identities and Artisan Knowledge. RChD creación y pensamiento*, 6, 1–17. <https://doi.org/10.5354/0719-837X.2021.60871>

Bajaj, Y. P. S. (1998). Biotechnology for the Improvement of Cotton. En Y. P. S. Bajaj (Ed.), *Cotton* (pp. 3–36). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-80373-4_1

Chapagain, A. K., Hoekstra, A. Y., Savenije, H. H. G., & Gautam, R. (2006). The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. *Ecological Economics*, 60(1), 186–203. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.11.027>

González, S. V. (2022). *Estudio sobre el impacto de las principales fibras empleadas en el sector textil desde el punto de vista de la sostenibilidad*.

Hecker, S. (2014). *Extraction of β -carotene from orange peel and carrot waste for cotton dyeing* (Número 2014.14.04) [Master's Thesis]. University of Borås, Swedish School of Textiles.

ISO 105-X12:2016(en), *Textiles—Tests for colour fastness—Part X12: Colour fastness to rubbing*. (2016). <https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:105:-X12:ed-6:v1:en>

ISO 105-B01:1994(en), *Textiles—Tests for colour fastness—Part B01: Colour fastness to light: Daylight*. (1994). <https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:105:-B01:ed-5:v1:en>

ISO 105-E01:2013(en), *Textiles—Tests for colour fastness—Part E01: Colour fastness to water*. (2013). <https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:105:-E01:ed-6:v1:en>

Khan, M. A., Wahid, A., Ahmad, M., Tahir, M. T., Ahmed, M., Ahmad, S., & Hasanuzzaman, M. (2020). World Cotton Production and Consumption: An Overview. En S. Ahmad & M. Hasanuzzaman (Eds.), *Cotton Production and Uses: Agronomy, Crop Protection, and Postharvest Technologies* (pp. 1–7). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1472-2_1

Martinez, L. (2009). *Teñido de seda natural con colorantes naturales 29 05 13*. https://www.academia.edu/7230871/Te%C3%B1ido_de_seda_natural_con_colorantes_naturales_29_05_13

Tariq, M., Yasmeen, A., Ahmad, S., Hussain, N., Afzal, M., & Hasanuzzaman, M. (2017). Shedding of Fruiting Structures in Cotton: Factors, Compensation and Prevention. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20, 251–252. <https://doi.org/10.56369/tsaes.2286>

Yousef, S., Tatarants, M., Tichonovas, M., Sarwar, Z., Jonuškienė, I., & Kliucininkas, L. (2019). A new strategy for using textile waste as a sustainable source of recovered cotton. *Resources, Conservation and Recycling*, 145, 359–369. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.02.031>