

**METODOLOGÍA DE TEÑIDO A PARTIR DE LAS ACÍCULAS DE
PINO PARA SUSTRATOS TEXTILES COMERCIALES**

**MARIANA JARAMILLO ÁNGEL
LIZETH PAOLA PALACIO LOZADA
MARIO ANDRÉS LONDOÑO RESTREPO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
FACULTAD DE DISEÑO INDUSTRIAL
PROGRAMA DE DISEÑO INDUSTRIAL
MEDELLÍN
2022**

METODOLOGÍA DE TEÑIDO A PARTIR DE LAS ACÍCULAS DE PINO PARA SUSTRATOS TEXTILES COMERCIALES

**MARIANA JARAMILLO ÁNGEL
LIZETH PAOLA PALACIO LOZADA
MARIO ANDRÉS LONDOÑO RESTREPO**

Trabajo de grado para optar al título de Diseñador Industrial

Asesores

Ever Patiño

Magister en Ingeniería

Alejandro Zuleta

Doctor en Ingeniería

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
FACULTAD DE DISEÑO INDUSTRIAL
PROGRAMA DE DISEÑO INDUSTRIAL
MEDELLÍN
2022**

METODOLOGÍA DE TEÑIDO A PARTIR DE LAS ACÍCULAS DE PINO PARA SUSTRATOS TEXTILES COMERCIALES

Mariana Jaramillo Ángel, Lizeth Paola Palacio Lozada, Mario Andrés Londoño Restrepo.
Facultad de Diseño Industrial, Universidad Pontificia Bolivariana, Sede Medellín, Circular 1 N° 70-01, Medellín, Colombia

Resumen

La industria textil colombiana es una de las más contaminantes hacia las fuentes hídricas del país. Esto se debe al mal manejo de aguas residuales y desechos de los procesos de teñido, que finalmente, son vertidos en fuentes hídricas, afectando la vida vegetal y animal, los suelos y las personas que se encuentran expuestas a estas sustancias nocivas.

Dado que existe poco manejo sobre este tema y que la necesidad de acción es innegable, se evidencia el potencial de los residuos orgánicos para la extracción de tintes naturales. Dentro de los residuos orgánicos, las acículas de pino, son una materia prima renovable y abundante, puesto que se estima que hay aproximadamente 200 mil millones de toneladas de su biomasa seca disponible alrededor del mundo. Es por lo anterior, que el trabajo propone una metodología de teñido de bajo impacto ambiental a partir de acículas de pino. Para ello, se exploraron con diferentes mordientes y técnicas de teñido, hasta desarrollar un tinte natural amigable con el medio ambiente, durable y efectivo al teñir. Además, se encontró que este tinte permite el mejoramiento de la propiedad retardante a la llama de los sustratos textiles comerciales presentes en el mercado colombiano y la posibilidad de reutilizar el agua que fue utilizada en el proceso de teñido.

Palabras clave: Teñido sustentable; Tinte natural; Acículas de pino; Industria textil; Sostenibilidad.

1. Introducción

La industria textil es reconocida como una de las más grandes e importantes de la economía colombiana (Gerardo, 2014). Igualmente, es una de las industrias que más contaminan las fuentes hídricas del país. Esto se debe a que la mayoría de los tintes usados no son biodegradables y las estructuras de las moléculas de colorantes resisten la exposición solar, el ataque químico y la degradación microbiana (Brown y De Vito, 1993; Ramsay y Nguyen, 2002; Gavril y Hodson, 2007). Así mismo, se ha demostrado que ciertos colorantes pueden ser carcinogénicos y mutagénicos (Brown y De Vito, 1993; Ramsay y Nguyen, 2002; Gavril y Hodson, 2007), convirtiéndose en un problema de salud pública que debe ser abordado con urgencia para evitar daños irreparables en todos los sistemas vivos.

A lo anterior se suma que, dependiendo del tipo de colorante, se estima que del 2% al 50% de estos compuestos se desechan en las aguas residuales, llegando a considerarse como contaminantes persistentes que no pueden removerse con los métodos convencionales de tratamiento de aguas. Esto es debido a su origen y las estructuras complejas que presentan (Kuhad et al., 2004; Días et al., 2007; Dos Santos et al., 2007), consumiendo altas cantidades de agua, que finalmente son difíciles de reutilizar.

Al analizar lo antes mencionado, se encuentra una oportunidad de abordar uno de los procesos de acabado en la industria textil que más impacto tiene en las fuentes hídricas, usando además un recurso poco explorado como son las acículas de pino, dado que hay aproximadamente 220 mil millones de toneladas de biomasa seca disponible alrededor del mundo (Varma y Mondal, 2018).

Las acículas de pino, *Figura 1*, generan una gruesa capa en el suelo que impide el paso del sol y del agua. De esta forma, la vegetación ubicada bajo el pino se ve afectada y muere tras perder todos sus nutrientes (Sharma, Kumain, Bhattacharya, 2020). Dentro de sus propiedades podemos encontrar, la propiedad retardante a la llama, “una característica de la tela que hace que no se quemé, ni propague la llama y que automáticamente extinga el fuego cuando se retira la fuente de ignición” (Textil, 2021), lo que le permitirá a la prenda o sustrato textil tener una mayor resistencia en condiciones de exposición a altas temperaturas.



Figura 1: Acículas secas de pino. Fotografía de los autores.

Con el desarrollo de este proyecto se busca plantear una alternativa sostenible, que pueda cumplir la misma función de un colorante sintético, teniendo como valor agregado la posibilidad de mejorar las propiedades de retardante a la llama de sustratos textiles comerciales presentes en el mercado colombiano, siguiendo las normativas necesarias y un incremento en la seguridad de los usuarios que hacen uso de los sustratos. De igual modo, será un camino para aportar a la generación de empleo en la recolección de las acículas de pino a nivel local, atendiendo a la problemática de la acidificación de suelos y pérdida de nutrientes en zonas sembradas con Pino Patúla (Sharma, Kumain, Bhattacharya, 2020).

A partir de lo anterior se define la pregunta de investigación: ¿Cómo pigmentar un sustrato textil comercial para mejorar sus propiedades retardantes a la llama a partir de las acículas de pino? Responderla ayudará al mejoramiento de las cualidades físicas y de desempeño de las prendas de vestir, estas se verán beneficiadas al tener pigmentos a base de Pino Pátula, que brinden resistencia U.V., acción antimicrobiana y de retardante a la llama (Orjola, 2020; Manoj et al., 2011; Kyungman University, 2005).

1.1. Objetivos

Objetivo general: Desarrollar una metodología de teñido a partir de las acículas de Pino Pátula que disminuya el impacto ambiental y mejore la propiedad retardante a la llama cuando es aplicado en sustratos textiles comerciales presentes en el mercado colombiano.

Objetivos específicos:

1. Determinar el procedimiento para extraer el colorante de las acículas de pino.
2. Teñir sobre tela 70% algodón 30% poliéster y fibra 100% algodón con el colorante extraído utilizando mordientes.
3. Caracterizar las propiedades retardantes a la llama del teñido a partir de pruebas con las prendas con pigmento y sin pigmento.
4. Identificar la durabilidad del proceso de teñido a partir de pruebas de lavado de las prendas con pigmento y sin pigmento.

1.2. Industria textil y pigmentos

En Colombia, la industria textil y de confecciones ha sido fundamental para la economía, además, representa más del 3% del total del Producto Interno Bruto o PIB. Esto hace que la empresa privada reconozca que muchos de sus esfuerzos deben ir enfocados hacia sus limitaciones y desafíos, para de esa forma lograr un desarrollo socioeconómico y un proceso de expansión que aproveche su potencial exportador (Gerardo, 2014).

Debido a la necesidad actual de las pequeñas y grandes empresas por agilizar procesos y disminuir costos de producción, se observa que, la implementación de colorantes sintéticos para mejorar la calidad y durabilidad de los productos ha tenido una muy buena acogida, tanto para el consumidor como para el productor. Generando una pérdida de los procedimientos de coloración naturales de origen cultural en las regiones del país (Paván et al., 2017).

Sin embargo, la creciente exigencia de los consumidores y, la progresiva aparición de normativas, obligan a la industria a tener en cuenta diferentes requerimientos para que los tejidos o prendas contribuyan al cuidado y bienestar de los usuarios y de la naturaleza (Cárdenas, 2019), dando lugar a nuevas necesidades en cuanto a las propiedades, características y procesos de fabricación de la ropa.

Es importante considerar que, los tintes naturales requieren de una mayor inversión en cuanto a investigación, no obstante, se sabe que hay una gran variedad de plantas, animales y minerales tintóreos alrededor del mundo que pueden utilizarse para llevar a cabo procesos de teñido sustentables. Entendiendo que América es un continente particularmente rico en esta materia prima (Paván et al., 2017), es una oportunidad para el desarrollo y el mejoramiento del sector textil colombiano, en la medida que, se podrían aprovechar los residuos locales a los que no se les da utilidad. Cabe señalar que los tintes naturales se obtienen de fuentes renovables, por tanto, no representan un gasto importante en recursos indispensables y limitados.

Para finalizar, hay que resaltar que actualmente la mayoría de los productos retardantes a la llama son bromados y muchos de ellos se consideran tóxicos, persistentes y bio-acumulativos (Martí et al, 2020), dado que los agentes usados suelen ser altamente contaminantes. Es por esto, que se busca cada vez más opciones que no tengan un impacto en la vida silvestre y otros organismos vivos y que sea posible bio-sintetizarlos para que sean eliminados de manera natural y no afecten la salud de los usuarios que utilizan las prendas (News, 2020).

2. Metodología

La metodología se dividió en 4 momentos correspondiente a cada objetivo establecido. En el primer momento se revisó en la literatura las diferentes técnicas de extracción de color para elementos naturales. A partir de allí se seleccionaron 4 técnicas que tuvieran potencial para el proyecto y que permitieran su exploración. En la figura 2 se pueden ver los procedimientos de cada una de las técnicas: **(i) decantación**, que consiste inicialmente, en la pulverización de las acículas secas, luego, se disponen tres recipientes para verter alcohol 70%, agua y vinagre en cada uno de ellos, finalmente, se sumerge una muestra de los sustratos textiles en cada uno y se deja reposar durante 48 horas; **(ii) disolución**, que consiste en incorporar las acículas de pino y las tres muestras de sustratos textiles al agua, dejar a fuego medio hasta que hierva, luego se vierten en un recipiente y se tapa; **(iii) maceración**, que consiste en triturar las acículas con un mortero, incorporando lentamente el solvente, luego se filtra y vierte en un recipiente junto con las tres muestras de sustratos textiles y finalmente, **(iv) infusión**, que consiste en hervir una cantidad de agua, apagar el fuego, incorporar las acículas y las tres muestras de sustratos textiles y dejar esta mezcla enfriar para luego verter en un recipiente.

Se usaron las acículas verdes y las acículas secas para comparar la diferencia entre estas, sin embargo, no todas las técnicas pudieron llevarse a cabo con ambos tipos de acículas, dado el procedimiento que se debía realizar con cada una (ver *Figura 2*). Se emplearon 3 muestras de tela 70% algodón 30% poliéster para cada técnica de extracción, con el fin de reconocer cuáles acículas daban mejores resultados en cuanto a la intensidad del color y adherencia del tinte al sustrato textil.

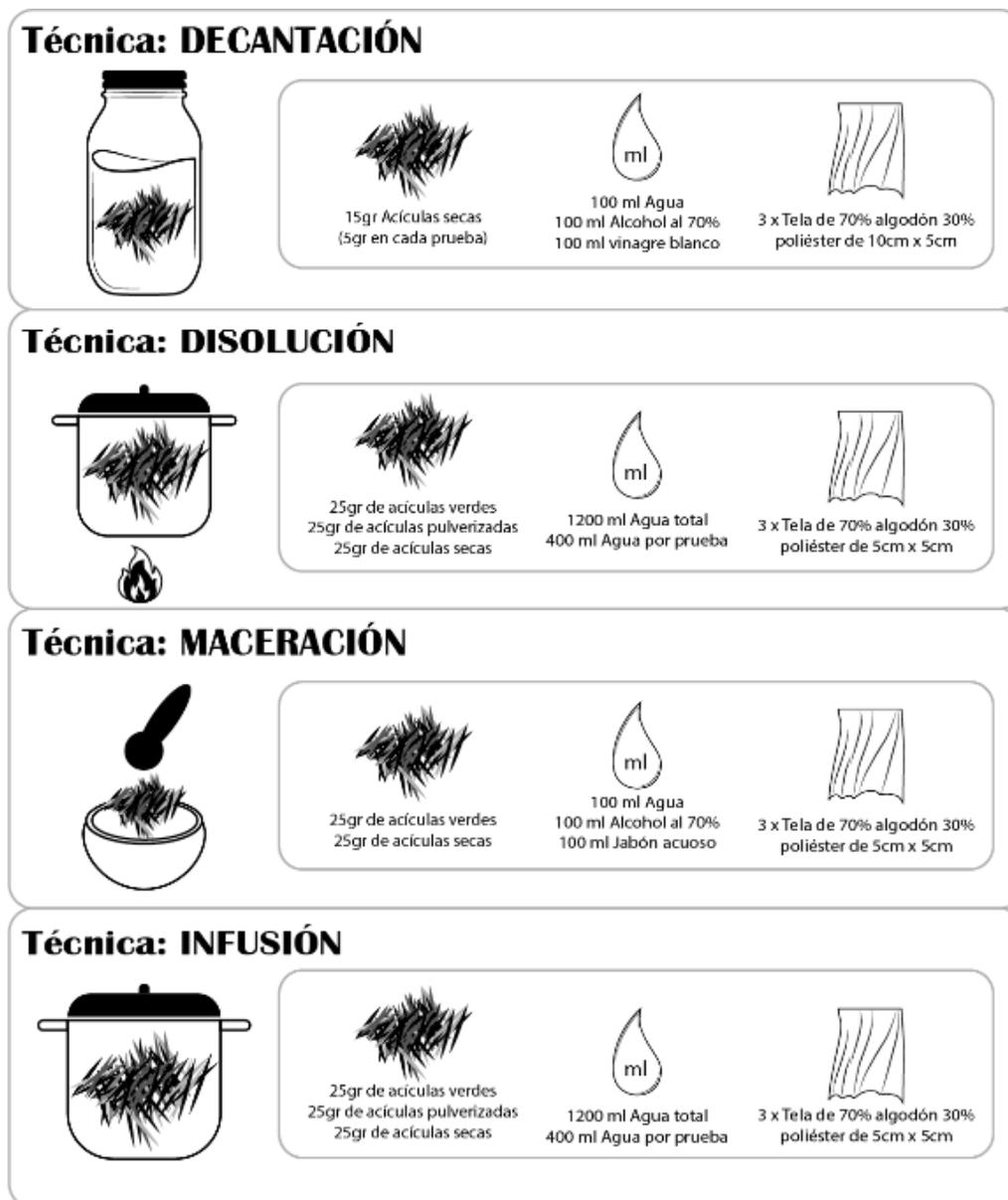


Figura 2: Técnicas usadas para la extracción del color de las acículas de pino. Dibujo de los autores.

Luego de realizar las 4 técnicas anteriores, con los tres tipos de acículas de pino: (i) acículas verdes, (ii) acículas secas y (iii) acículas pulverizadas, se evaluaron cuáles fueron las técnicas que arrojaron mejores resultados en cuanto a la intensidad del color. Esto se realizó mediante un escáner Epson L220 que permitió ver el color de forma uniforme en toda la muestra, después se elaboraron paletas de color con códigos de color CMYK y RGB y finalmente, una paleta de color en escala de grises que permitió reconocer cuales habían sido las muestras con una coloración más intensa.

Posteriormente, para elegir los mordientes, se realizó una documentación previa sobre sustancias o elementos naturales que aportaran fijación del tinte al sustrato textil, que no fuera tóxico o volátil, que permitiera ser lavado, que fueran asequibles, bioseguros y que, además, pudiera disolverse en agua (Figura 3). El propósito de usar estos mordientes es mantener el enfoque del proyecto que es aportar

al cuidado del medio ambiente al evitar usar sustancias que sean altamente contaminantes y afecten la salud de las personas.

MORDENTAR Metodología

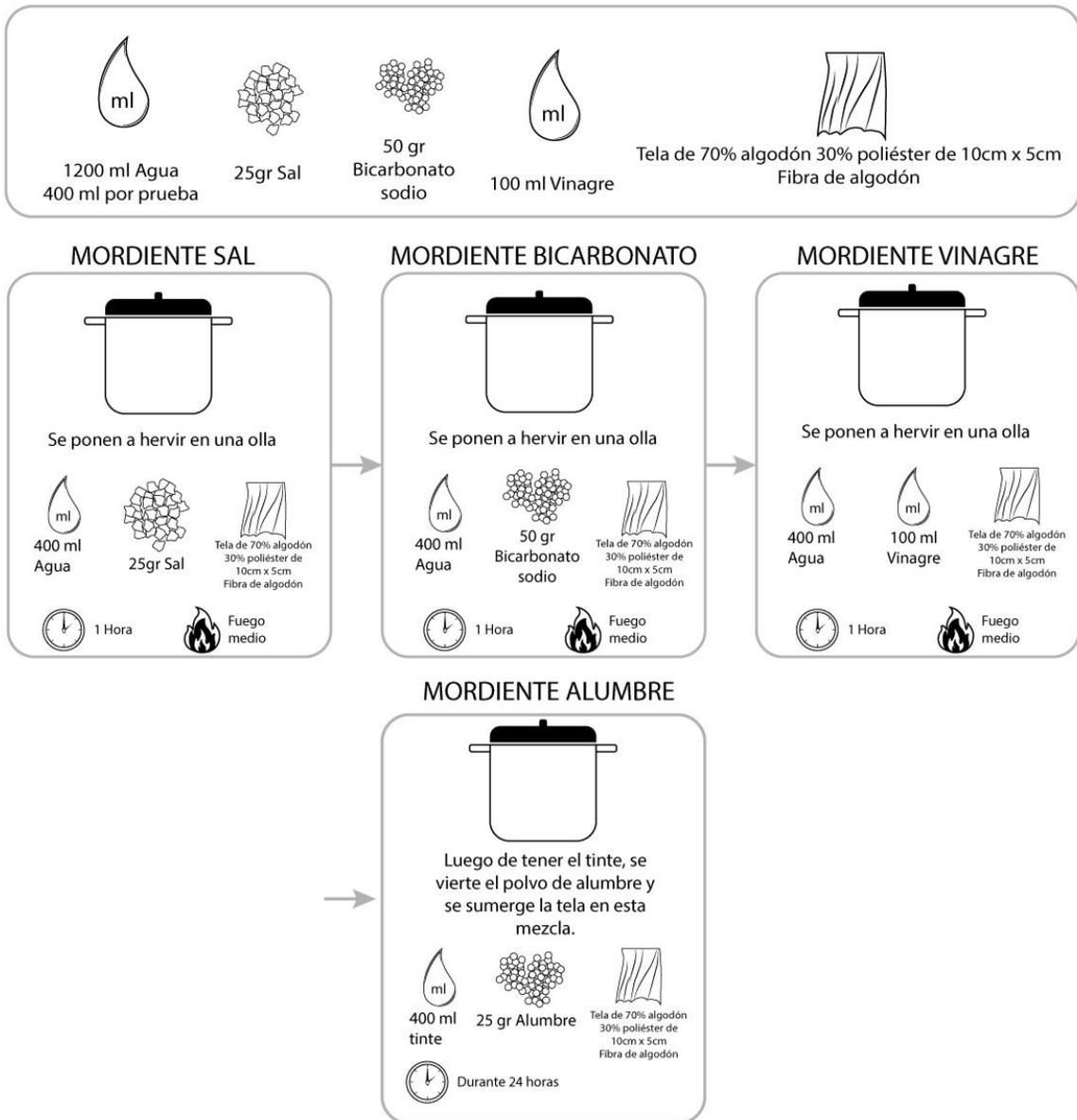


Figura 3: Proceso para preparar y mordentar las muestras de tela y fibra de algodón. Dibujo de los autores.

Luego se determinó el comportamiento del tinte en las fibras luego de ser mezclado con diferentes mordientes. Estas pruebas se hicieron basadas en las normas **ISO 11612** para la prueba de fuego (Figura 4) y **NTC 1155-2:2014** (esta norma es una adaptación de la ISO 105-C06:2010) para la prueba de lavado (Figura 5). Teniendo en cuenta el estado del proyecto en cuanto a la clasificación TRL se usaron las normas antes mencionadas, ya que permitieron tener una idea inicial de cómo se comporta el tinte y que se necesita para potenciarlo.

PRUEBA CON FUEGO Metodología

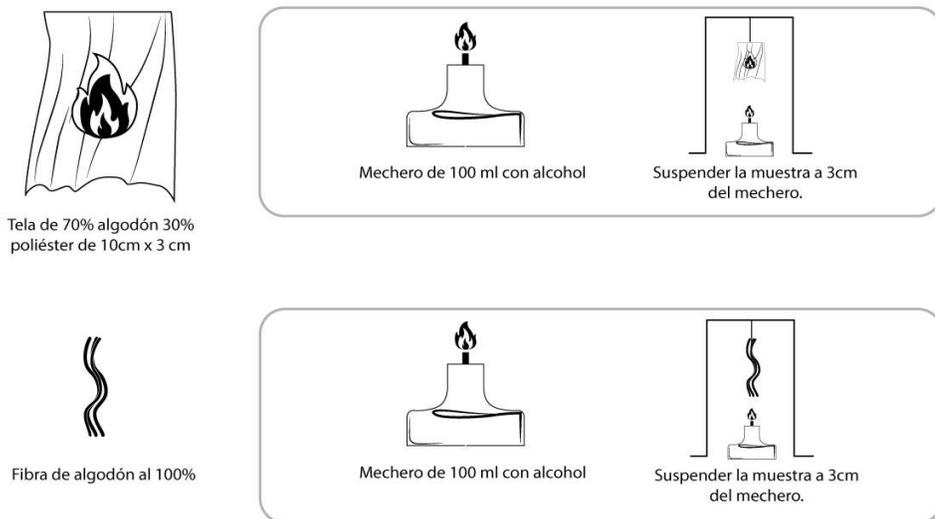


Figura 4:

Procedimiento para la prueba de fuego con tela de 70% algodón 30% poliéster y Fibra de algodón 100%. Dibujo de los autores.

El siguiente paso, fue realizar la prueba de lavado **NTC 1155-2:2014** para saber la solidez del color al lavado doméstico y comercial, y establecer qué técnica y mordientes funcionan mejor frente a los ciclos de lavado.

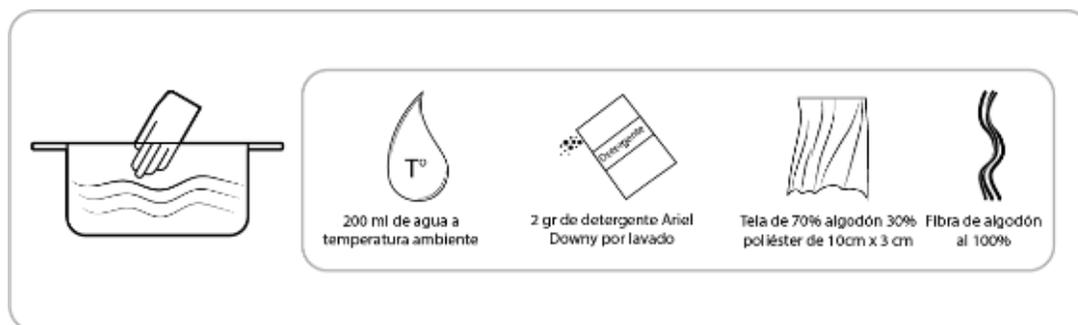


Figura 5: Procedimiento para la prueba de lavado, 5 ciclos de lavado en las mismas condiciones. Dibujo de los autores.

3. Resultados y discusión

Como se mencionó anteriormente, se exploró con cuatro técnicas de extracción: decantación, disolución en agua, maceración e infusión en agua. Para cada una de las técnicas se hicieron 3 muestras de tela y fibras para comparar la intensidad del color obtenido. En la Figura 6 se puede ver cuáles fueron los colores resultantes durante el proceso de extracción y además, un diagrama donde se estudia, mediante escala de grises, cuáles muestras arrojaron un mayor porcentaje de brillo en el color.

Se encontró que las técnicas de extracción que aportaron mejores resultados en cuanto a intensidad de color fueron la maceración de acículas verdes con alcohol 70% y agua, debido a que las acículas húmedas/verdes poseen un mayor porcentaje de clorofila, por lo tanto, tienen mayor capacidad tintórea. Además, los solventes son un buen medio para disolverse y la disolución en agua de acículas pulverizadas, debido a que estas se mezclan de una forma homogénea, gracias a la exposición al fuego.

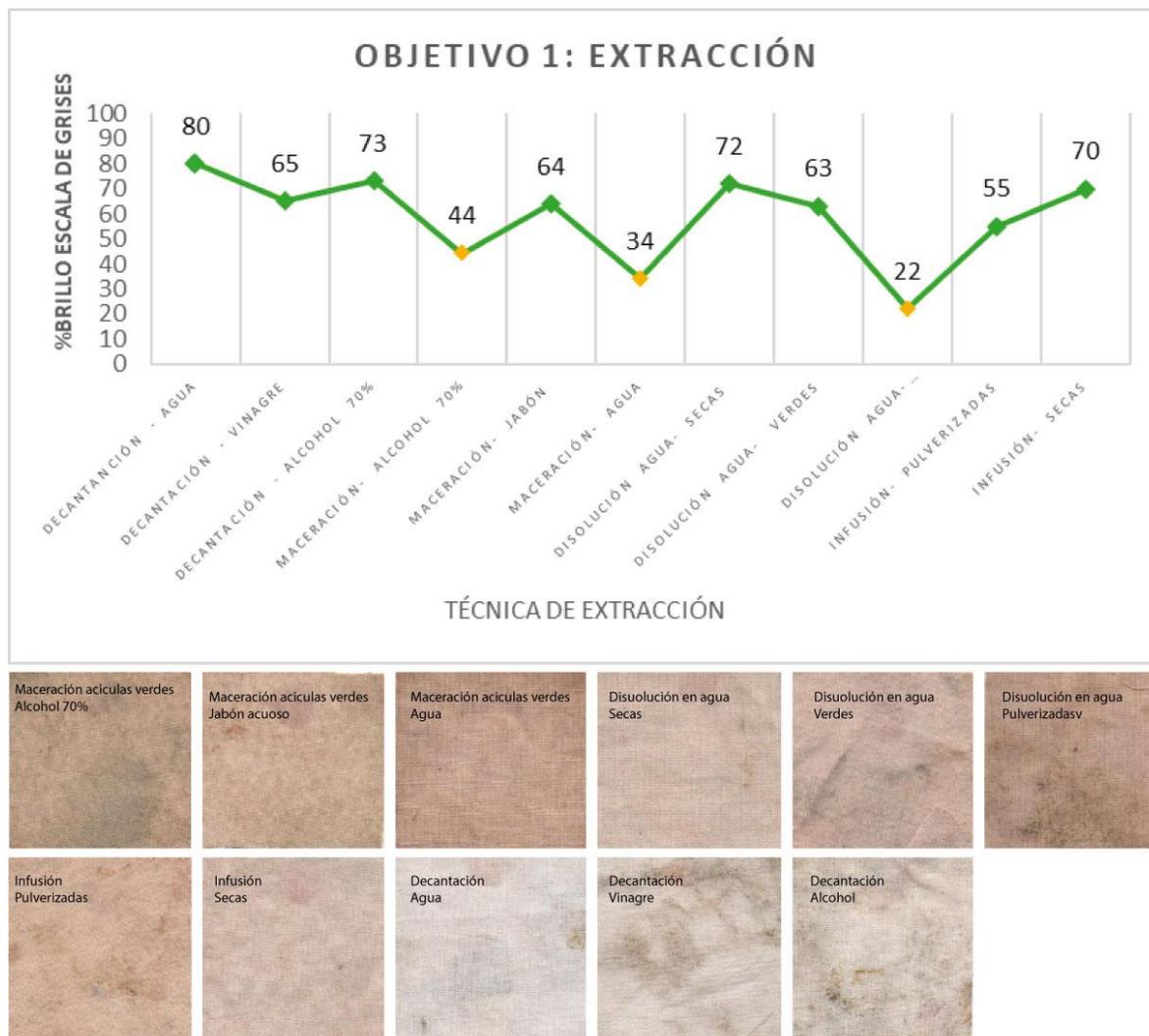
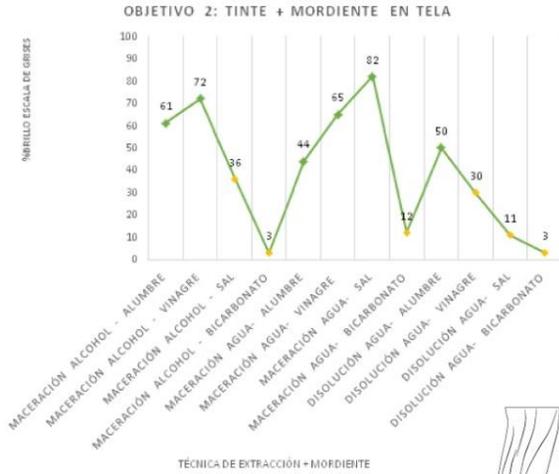


Figura 6: Análisis del nivel de brillo en escala de grises para las pruebas de métodos de extracción.

Por otro lado, y según los datos expuestos en la Figura 7, teniendo como punto de referencia el brillo obtenido en la escala de grises, se concluye que los mordientes que generan una mejor adherencia del tinte a la tela 70% algodón 30% poliéster y a la fibra 100% algodón, son el bicarbonato y la sal. Se presenta un evento inesperado respecto a la variación entre el color del tinte en el recipiente, frente a los colores obtenidos luego de teñir los sustratos textiles. En la figura 7 también se pueden ver los colores obtenidos tras el teñido de las muestras de tela 70% algodón 30% poliéster, en los cuales se obtienen tonos verdes y marrones, al contrario, se obtienen tonos de un marrón más oscuro al teñir fibras 100% algodón, esto a pesar de utilizar acículas verdes.

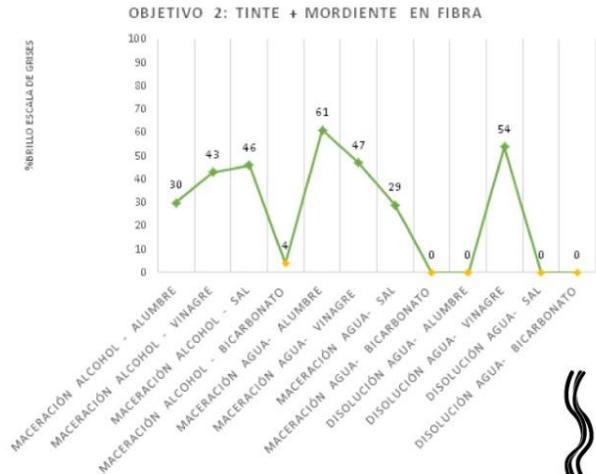
SUSTRATO TEXTIL



TÉCNICA DE EXTRACCIÓN + MORDIENTE



COLORES OBTENIDOS



TÉCNICA DE EXTRACCIÓN + MORDIENTE



Tela

MALC - Alumbre	MALC - Vinagre	MALC - Sal	MA- Alumbre	MA- Vinagre	MA- Sal
R: 189 C: 26% G: 170 M: 28% B: 139 Y: 45% K: 9%	R: 202 C: 23% G: 190 M: 22% B: 168 Y: 35% K: 4%	R: 149 C: 36% G: 130 M: 38% B: 92 Y: 62% K: 23%	R: 152 C: 39% G: 142 M: 33% B: 104 Y: 60% K: 17%	R: 184 C: 30% G: 177 M: 24% B: 148 Y: 43% K: 6%	R: 217 C: 17% G: 210 M: 16% B: 197 Y: 23% K: 1%
MALC - Bicarbonato	DA - Vinagre	DA - Sal	MA- Bicarbonato	DA - Alumbre	DA - Bicarbonato
R: 94 C: 41% G: 63 M: 62% B: 45 Y: 70% K: 57%	R: 150 C: 32% G: 116 M: 47% B: 102 Y: 50% K: 27%	R: 129 C: 35% G: 91 M: 56% B: 76 Y: 58% K: 38%	R: 121 C: 39% G: 96 M: 49% B: 76 Y: 60% K: 40%	R: 175 C: 28% G: 143 M: 38% B: 133 Y: 40% K: 15%	R: 105 C: 40% G: 76 M: 57% B: 67 Y: 56% K: 50%

MALC: Maceración en alcohol al 70% MA: Maceración en agua DA: Disolución en agua

Fibra

MALC- Alumbre	MALC- Vinagre	MALC- Sal	MA- Alumbre	MA- Vinagre	MA- Sal
R: 139 C: 35% G: 119 M: 43% B: 88 Y: 63% K: 27%	R: 159 C: 29% G: 136 M: 40% B: 103 Y: 58% K: 18%	R: 163 C: 29% G: 142 M: 36% B: 98 Y: 64% K: 16%	R: 189 C: 21% G: 166 M: 32% B: 134 Y: 48% K: 7%	R: 169 C: 25% G: 143 M: 38% B: 95 Y: 65% K: 15%	R: 142 C: 32% G: 117 M: 45% B: 77 Y: 70% K: 26%
MALC- Bicarbonato	DA - Vinagre	DA - Sal	MA- Bicarbonato	DA - Alumbre	DA - Bicarbonato
R: 114 C: 35% G: 82 M: 60% B: 53 Y: 78% K: 41%	R: 182 C: 21% G: 151 M: 39% B: 114 Y: 56% K: 9%	R: 68 C: 45% G: 47 M: 69% B: 35 Y: 74% K: 69%	R: 106 C: 36% G: 74 M: 64% B: 37 Y: 91% K: 45%	R: 87 C: 39% G: 55 M: 72% B: 33 Y: 85% K: 57%	R: 61 C: 45% G: 35 M: 80% B: 23 Y: 84% K: 72%

MALC: Maceración en alcohol al 70% MA: Maceración en agua DA: Disolución en agua

Figura 7: Análisis de resultados de acuerdo al brillo en escala de grises para la tela 70% algodón 30% poliéster y la fibra 100% algodón. Esquema de los autores.

Es importante mencionar, que en la *Figura 7*, se marca con un círculo blanco las técnicas y mordientes que obtuvieron un mejor resultado en cuanto a la intensidad del color, por lo tanto, en el caso de la tela 70% algodón 30% poliéster los 5 mejores resultados fueron (i) maceración en alcohol con bicarbonato, (ii) disolución en agua con bicarbonato, (iii) disolución en agua con sal, (iv) maceración en agua con bicarbonato y (v) maceración en agua con sal. En el caso de la fibra 100% algodón, los 5 mejores resultados fueron (i) disolución en agua con bicarbonato, (ii) disolución en agua con sal, (iii) disolución en agua con alumbre, (iv) maceración de agua con bicarbonato y (v) maceración en alcohol con bicarbonato. Sabiendo esto, se reconoce que los mordientes bicarbonato y sal, presentaron una mayor intensidad de color para las 3 técnicas utilizadas.

Luego de haber teñido las muestras de tela 70% algodón 30% poliéster y las fibras 100% algodón, se realizó el secado natural de las muestras durante 24 horas. Al terminar este proceso, se cortó la muestra de tela en tres partes de 10x3cm y las fibras se separaron en 3 partes iguales. Esto, con el fin de realizar las pruebas de laboratorio: retardante a la llama y lavado.



Figura 8: Muestras de tela cortadas con una medida de 10x3cm. Fotografía de los autores.

En el caso de la prueba **ISO 11612** para verificar la propiedad retardante a la llama de los sustratos textiles teñidos, se encuentra que los mordientes con mejores resultados fueron el bicarbonato y el alumbre, puesto que estas muestras se demoran más tiempo en prenderse frente a la exposición al fuego y, además, no propagan la llama, sino que se consumen completamente.

Por otro lado, se evidencia que los sustratos que tuvieron la presencia del alcohol en el proceso de extracción del tinte tienden a prenderse y consumirse más rápido, por lo que este solvente, afecta las propiedades del tinte natural. Otro factor que influye significativamente en los resultados de esta prueba es que la tela posee un 30% de poliéster, por lo que este polímero hace que estas muestras se prenda mucho más rápido.

Para ilustrar mejor, se clasifican los resultados de acuerdo con tiempo en iniciar combustión y tiempo en extinguirse. Se muestran en la *Tabla 1* los resultados obtenidos y se observa que la tela al contener poliéster tiene un comportamiento menos eficiente en comparación con la fibra 100% algodón.

Tabla 1: Resultados con mejores desempeños durante la prueba de exposición al fuego.

Muestras + técnicas + mordiente	Comportamiento	Evidencia
Fibra de algodón 100% + Maceración en agua + Bicarbonato	-5 segundos en iniciar combustión -Solo hay fuego cuando está en contacto con el mechero	
Fibra de algodón 100% + Disolución en agua + Alumbre	-3 segundos en iniciar combustión -Los primeros 12 segundos la llama es débil -A los 29 segundos se extingue	
Fibra de algodón 100% + Disolución en agua + Bicarbonato	-3 segundos en iniciar combustión -Los primeros 12 segundos la llama es débil -A los 30 segundos se extingue	
Tela 70% algodón 30% poliéster + Maceración en agua + Alumbre	-2 segundos en iniciar combustión -A los 24 segundos se extingue	

Algunas de las muestras de fibra 100% algodón se consumieron hasta llegar a ceniza, sin embargo, fue más lento el proceso de combustión. A diferencia de la tela 70% algodón 30% poliéster, que con mucha más rapidez al entrar en contacto con la llama. En la *Figura 9*, se observa cómo se veían inicialmente las muestras de los sustratos textiles y el resultado después de la prueba



Figura 9: Prueba de fuego en tela 70% algodón 30% poliéster y fibra de 100% algodón.

Es común que las prendas se carbonicen, no obstante, el propósito de la experimentación fue identificar de qué forma el tinte a partir de acículas de pino puede modificar este comportamiento.

Ahora bien, en la prueba de lavado, basado en el nivel de brillo obtenido en la escala de grises de la tela y las fibras, como lo muestran la *Figura 10* y *Figura 11*, se usó como límite un brillo de 45% o menos, donde no se presenta una pérdida alta de color. Se determinó, entonces, que el comportamiento de los mordientes con mejor resultado fueron el alumbre y el vinagre para la tela, puesto que al finalizar el quinto (5) ciclo de lavado y secarse al aire libre, todavía tienen una coloración intensa y uniforme.

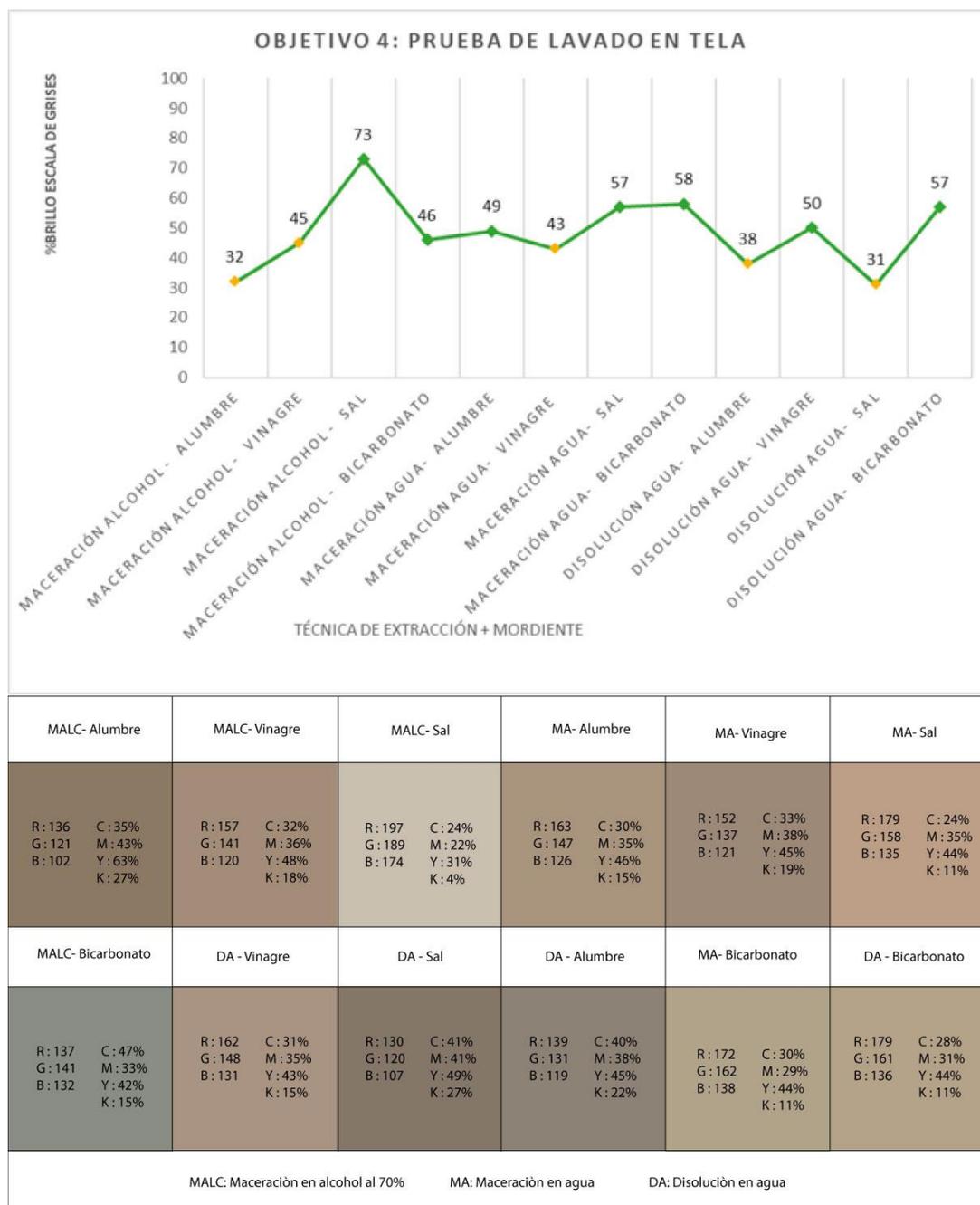
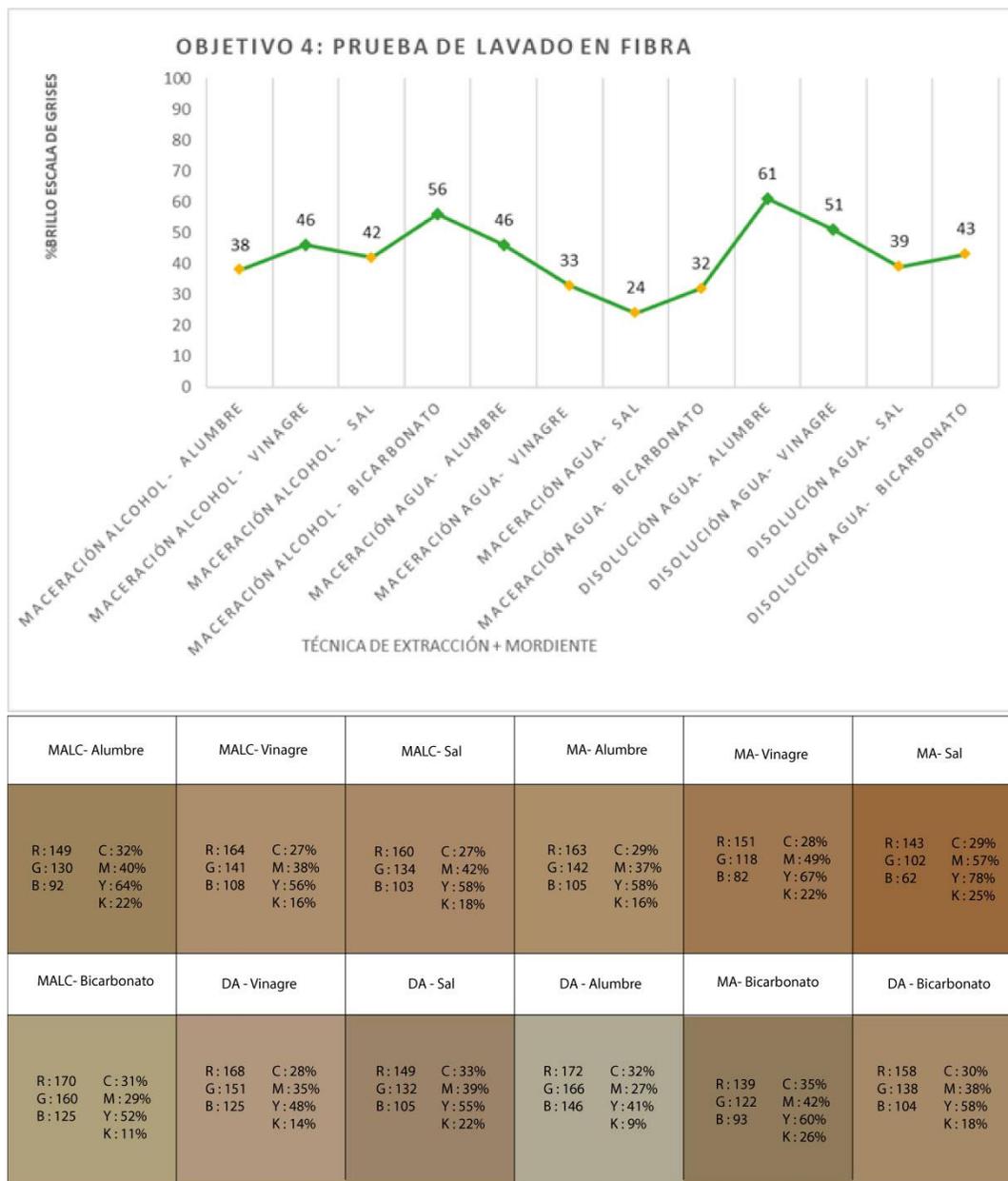


Figura 10: Análisis brillo en escala de grises para la prueba de 5 ciclos de lavado en tela 70% algodón 30% poliéster y paleta de colores obtenidos.

Por otro lado, con las fibras, los cuatro mordientes utilizados presentaron un buen comportamiento frente a la propiedad retardante a llama, como se observa en la *Figura 10*. Sin embargo, se evidenció que las técnicas que tienen como solvente agua, prolongan la propiedad retardante a la llama de las acículas de pino, contrario a lo que sucede con el alcohol, que acelera el proceso de combustión.



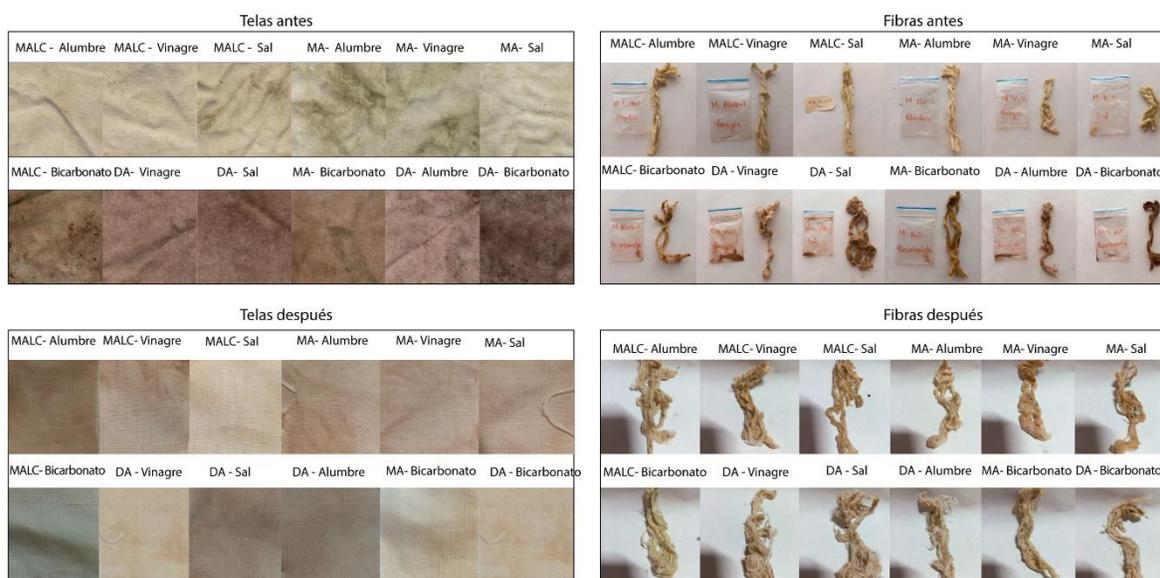
MALC: Maceración en alcohol al 70% MA: Maceración en agua DA: Disolución en agua

Figura 11: Análisis brillo en escala de grises luego de la prueba de 5 ciclos de lavado en fibra de algodón 100% y paleta de colores obtenidos.

Los mordientes usados tuvieron un papel importante en el desempeño de las pruebas de laboratorio, puesto que afectaron la reacción de los sustratos textiles al fuego y la solidez del color luego de las pruebas de lavado. Sabiendo esto y observando las paletas de color obtenidas al final del proceso, se reconocen nuevas posibilidades para el uso del color y sus tonalidades en el proceso de teñido.

Ahora bien, no se descarta la opción de utilizar nuevos mordientes que permitan una mejor adherencia del tinte a los sustratos textiles, puesto que se esperaba una pigmentación más intensa al finalizar el proceso de experimentación con las muestras. En la *Tabla 2*, se observa el cambio en la pigmentación de la tela 70% algodón 30% poliéster y la fibra 100% algodón, luego de los 5 ciclos de lavado.

Tabla 2: Tela 70% algodón 30% poliéster y fibra de 100% algodón antes y luego de la prueba de lavado.



4. Conclusiones

En relación con la pregunta: ¿Cómo pigmentar un sustrato textil comercial para mejorar sus propiedades retardantes a la llama a partir de las acículas de pino? Se evidencia el potencial de los residuos orgánicos para la extracción de tintes naturales. Se logró demostrar la capacidad tintórea de las acículas de pino para teñir sustratos textiles comunes, además, se encontró que las técnicas de extracción que aportaron mejores resultados en cuanto a intensidad de color fueron la maceración de acículas verdes debido a que las acículas húmedas/verdes poseen un mayor porcentaje de clorofila y, la disolución en agua de acículas pulverizadas, debido a que estas se mezclan de una forma homogénea, gracias a la exposición al fuego.

Al realizar las pruebas de lavado, se evidencia que el color resultante es mucho más opaco y con menor intensidad, esto se debe a que los mordientes usados no permitieron una mayor adherencia del tinte al sustrato textil. Reconociendo así la importancia de experimentar con nuevos mordientes para mejorar la calidad y la durabilidad del color sobre el textil.

Se evidencia que el sustrato textil que tuvo un mejor comportamiento desde el teñido hasta las pruebas controladas de laboratorio fue la fibra 100% algodón. Esto se debe a que no posee polímeros ni un tratamiento previo que actué como barrera para la adherencia del tinte natural. Se evidencia, además, que la fibra 100% algodón requiere de un mayor periodo de exposición a la llama para prenderse, por lo tanto, es el sustrato ideal para utilizar el tinte natural a partir de acículas de pino.

Para trabajos futuros, se podrían utilizar otros mordientes en el proceso de teñido, con el fin de obtener diferentes metodologías de teñido e identificar cuál es el camino con mejores resultados en cuanto a intensidad de color, adherencia del tinte al sustrato textil y potenciamiento de las propiedades de las acículas de pino.

Agradecimientos

Ever Patiño, Magíster en Ingeniería y Alejandro Zuleta, Doctor en Ingeniería. Por sus conocimientos rigurosos y precisos, su disposición a escuchar, enseñar y construir con tanta paciencia. Por su constancia y preocupación por cada uno de los procesos llevados a cabo para desarrollar este proyecto con éxito, muchas gracias. Sin ustedes no hubiese sido posible lo que hoy logramos, gracias por su orientación y por compartir con nosotros de manera profesional cada uno de sus saberes.

Referencias

- Brown M.A. y De Vito S.C., (1993). Predicting azo dye toxicity. *Crit. Rev. Environ.Sci. Technol.*,23, 249–324.
- Cárdenas, H., (2019). RIESGOS AMBIENTALES Y SOCIALES EN EL SECTOR TEXTIL. Pilotos de innovación financiera, negocios verdes. *Asobancaria*.
<https://www.asobancaria.com/documentos/biblioteca-de-innovacion-financiera/Riesgos%20Ambientales%20y%20Sociales%20Sector%20Textil.pdf>
- Dias A.D., Sampaio A. y Bezerra R.M., (2007). Environmental applications of fungal and plant systems: decolourisation of textile wastewater and related dyestuffs. En *Environmental Bioremediation Technologies* (Editores Singh S.N. y Tripathi R.D.) Springer Berlin Heidelberg, 445-463.
- Dos-Santos A., Cervantes F. y Van-Lier J., (2007). Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: Perspectives for anaerobic biotechnology. *Bioresour. Technol.*, 98, 2369-2385.
- Gavril M. y Hodson P.V., (2007). Investigation of the Toxicity of the Products of Decoloration of Amaranth by *Trametes versicolor*. *J. Environ. Qual.*, 36, 1591–1598.
- Gerardo, A., (2014). El sector textil en Colombia: ¿cómo ser más competitivos? Universidad militar nueva granada, Recuperado de:
<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/12920/Ensayo%20Especializacion.%20EL%20SECTOR%20TEXTIL%20EN%20COLOMBIA%20%BF%20COMO%20SER%20M%C3%20COMPETITIVOS.pdf?sequence=1#:~:text=En%20Colombia%2C%20el%20sector%20textil,siga%20en%20proceso%20de%20expansi%C3%B3n>

- Gonzalez. S, Cordero. A, Castro. L & Segovia. M. (2020). Potencial tintóreo de las plantas autóctonas de la estepa. Dto. Escalante, Chubut, Patagonia, Argentina. Bol. Soc. Argent. Bot.
- ICONTEC (2021). NTC 1155-2:2014. Textiles. Ensayos de solidez del color. Parte 2: solidez del color al lavado doméstico y comercial. Link de compra: <https://tienda.icontec.org/gp-textiles-ensayos-de-solidez-del-color-parte-2-solidez-del-color-al-lavado-domestico-y-comercial-ntc1155-2-2014.html>
- Kuhad R.C., Sood N., Tripathi K.K., Singh A. y Ward O.P., (2004). Developments in microbial methods for the treatment of dye effluents. Adv. Appl. Microbiol., 56, 185-213.
- Kyungman University (2005). A study on the Functionality of the Fabrics Dyed with Pine Needles Extract (1) Fecha de elaboración: Young-Hee Park Professor, dept. of Fashion & Clothing.
- Manoj K. Ghosh, Uttam K. Ghosh. (2011). Utilization of pine needles as bed material in solid state fermentation for production of lactic acid by lactobacillus strains. Indian Institute of technology Roorkee, Saharanpur, India.
- Martí, M., Alonso, C., Manich, A., Coderch, L (2020). Revista de Química e Industria Textil 233: 11-21
- News, E. (2020). Acabados retardantes de la llama. Retrieved August 25, 2022, from Expotextil News website: <https://www.expotextilnews.com.pe/news/tenidos-y-acabados/acabados-retardantes-de-la-llama/>
- Orjola. T. (2020). Craft & New Materials. DDW talks
- Paván, M. F., V. Furlan, M. Renny, I. Monterroso & L. Argüello. (2017). Natural plant dyes in El Desmonte, Cerro Colorado Natural and Cultural Reserve, Córdoba (Argentina).
- Ramsay J. y Nguyen T., (2002). Decoloration of textile dyes by Trametes versicolor and its effect on dye toxicity. Biotechnol. Lett., 24, 1757–1761.
- Sharma Kurma .H, Kumain. A, Bhattacharya T.K. (2020). Characteristic properties of pine needle biochar blocks with distinctive binders. University of Agriculture and Technology, Pantnagar.
- Textil, M. (2021, March 5). ¿Qué es un tejido inherente retardante a la llama? EN11612 / NFPA2112. Consultado: August 24, 2022, from Marina Textil website: <https://marinatextil.com/es/news/que-es-un-tejido-inherente-retardante-a-la-llama-en11612-nfpa2112>
- Textil, M. (2018). ISO 11612 tejido técnico para ropa de protección (EPI) <https://marinatextil.com/es/norma-tejido-proteccion/iso-11612-norma-tejido-tecnico>
- Varma Kumar. A, Mondal. P. (2018). Pyrolysis of pine needles: effects of process parameters on products yield and analysis of products . Akadémiai Kiadó, Budapest, Hungary