

A Systematic Review on the Application of Sustainable Alternatives in the Cotton Dyeing Process

Castro Lucas, Lady Vanessa¹, Choquicota Cayllahui, Gilyary Beatriz²
Universidad Tecnológica del Perú, Lima, Perú ^{1 2}
U18205754@utp.edu.pe¹, U18217902@utp.edu.pe²

Abstract– *The introduction of natural dyes, especially in the cotton fiber dyeing process, becomes more important year after year since the dyeing process has become more sustainable because conventional processes where synthetic dyes are used generate pollution and increase the carbon footprint in the textile industry. For this reason, this systematic review aims to identify different natural sources for obtaining dye that can be extracted from flowers, seeds, wood, and fruits, as well as the incorporation and use of mordants in the dyeing process. of cotton. To do this, a search for articles was carried out using the Scopus database. In addition, the PRISMA methodology was used, from which the inclusion and exclusion criteria were established for extracting articles where the application of natural dyes was identified, of which 16 articles corresponding to the topic were obtained. The analysis of the articles showed that it is possible to dye cotton fiber with natural dyes; some authors even propose the intervention and application of bio-mordants to make the dyeing process even more sustainable. Finally, the conclusion was reached to continue the corresponding studies and find new natural sources for creating new shades of dyes. These should also be implemented at an industrial level, as it would be a more sustainable option for the environment and the textile industry.*

Keywords-- Natural dyes, natural extracts, mordants, bio-mordants, textile.

Una Revisión Sistemática sobre la Aplicación de Alternativas Sustentables en el Proceso de Teñido del Algodón

Castro Lucas, Lady Vanessa¹, Choquicota Cayllahui, Gilary Beatriz²
Universidad Tecnológica del Perú, Lima, Perú ^{1 2}
U18205754@utp.edu.pe¹, U18217902@utp.edu.pe²

Resumen– La introducción de tintes naturales, especialmente en el proceso de teñido de la fibra de algodón, cobra mayor importancia año tras año ya que el proceso de teñido se convierte en un proceso más sustentable, debido a que los procesos convencionales donde se utilizan tintes sintéticos generan contaminación y aumentan la huella de carbono en la industria textil. Por tal motivo, esta revisión sistemática tiene como objetivo identificar diferentes fuentes naturales para la obtención de tinte que pueden extraerse de flores, semillas, madera, frutos, entre otros, así como la incorporación y uso de biomordientes en el proceso de teñido de algodón. Para ello se realizó una búsqueda de artículos en la base de datos Scopus, además se utilizó la metodología PRISMA, a partir de la cual se establecieron los criterios de inclusión y exclusión para la extracción de artículos donde se identificó la aplicación de tintes naturales, de los cuales 16 artículos se obtuvieron los correspondientes al tema. Del análisis de los artículos, los resultados arrojaron que es posible teñir la fibra de algodón con tintes naturales; algunos autores incluso proponen la intervención y aplicación de biomordientes para hacer aún más sostenible el proceso de teñido. Finalmente se llegó a la conclusión de continuar con los estudios correspondientes y encontrar nuevas fuentes naturales para la creación de nuevos tonos de tintes, además que estos se implementen a nivel industrial, ya que sería una opción más sustentable para el medio ambiente y la industria textil.

Palabras Clave– Colorantes naturales, extracto natural, mordientes, biomordientes, textil.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los colorantes naturales son la fuente de pigmentación de color y su aplicación se ha dado empíricamente, así como en estudios científicos. La respuesta de los exámenes de resistencia al lavado en textiles teñidos con tintes naturales reveló una variabilidad entre moderada a buena, necesitando la fuente específica de los tintes, los agentes fijadores y los procedimientos de teñido utilizados. Además, se encontró que los tintes naturales no solo asignan una coloración adecuada al algodón, sino que también pueden dar propiedades antibacterianas a las telas teñidas [1].

Los colorantes naturales nos brindan diversas características positivas al ser aplicadas, trayendo la atención de la industria

textil. A través de estudios nos señalan que los colorantes naturales revelan poseer diversas funciones, como propiedades antibacterianas, antioxidante, protección contra rayos UV, resistencia al fuego y entre otras. Estas investigaciones sugieren oportunidades favorables para emplear estos tintes naturales en la aplicación del desarrollo textil [2].

Para lograr un teñido adecuado con colorantes naturales es importante emplear los biomordientes, los cuales garantizan una mejor fuerza de color y otras ventajas para el teñido de las telas de algodón, pues sirven como un puente de unión con el tinte y el tejido, obteniendo como resultado la solidez del color deseado. Además, los biomordientes son respetuosos con el medio ambiente, reemplazando a los mordientes químicos en el teñido textil [3].

Como resultado de lo anterior, el uso de colorantes naturales es una alternativa más eco amigable que la aplicación de los peligrosos tintes sintéticos [3]. Por tal, la problemática se centra en el impacto ambiental del uso de tintes sintéticos en el proceso de teñido de la fibra del algodón [4]. Para ello, se plantea la aplicación de biomordientes con la finalidad de fijar el color y mejorar los procesos de teñido, además de que estos al ser obtenidos de manera natural son también una alternativa ecológica [5].

La realización de esta revisión sistemática de literatura se justifica por la necesidad de proporcionar información sintetizada y actualizada de los estudios disponibles sobre la aplicación de colorantes naturales como alternativas sustentables para mejorar procesos en la fibra textil más cotizada, el algodón, con el fin de identificar las mejores prácticas ecológicas en la tintorería, buscando un sector textil más limpio y con mayor conciencia ambiental [6].

El objetivo principal de esta revisión sistemática de la literatura es conocer las nuevas fuentes de colorantes naturales y biomordientes extraídos de flores, semillas, cortezas de maderas, residuos de madera, cáscaras de frutos entre otros y su aplicación para mejorar el proceso de teñido del algodón.

Con ello, optar por un proceso más ecológico en comparación con el teñido convencional que usan tintes sintéticos que generan la destrucción de ecosistemas y de los recursos naturales. Por ende, se brinda la visión panorámica y estructurada de las soluciones presentes en esta literatura, generando el objeto de la RSL metódica sobre el tema.

En este contexto, el documento está estructurado de la siguiente manera. La sección 2, Metodología, presenta el método empleado para la RSL, detallando los aspectos técnicos desde las preguntas de investigación hasta las operaciones que llevan a la selección del material discutido en el documento. La sección 3, Resultados, presenta y organiza los hallazgos obtenidos tras el análisis de los artículos sobre la aplicación de colorantes naturales en el teñido del algodón, desde la identificación de las fuentes naturales y sus beneficios para el medio ambiente y el ser humano. En la sección 4, Discusión y conclusión, se aborda la discusión sobre la introducción de biomordientes en el proceso de teñido del algodón y de la aplicación de las normas internacionales para el análisis de las propiedades de los tejidos teñidos con colorantes naturales, proporcionando algunos criterios para un análisis más eficiente. Finalmente, en las Conclusiones, se resumen los principales descubrimientos y las limitaciones de este estudio de RSL, señalando la dirección de futuras investigaciones sobre el tema.

II. METODOLOGÍA

A. Estrategia de Búsqueda

Para realizar una investigación es fundamental evaluar la calidad metodológica de los estudios además de determinar su confiabilidad y validez por lo que realizar una RSL tiene una importancia significativa en el ámbito de las investigaciones y toma de decisiones, como lo menciona [7], una RSL exige una estrategia rigurosa para la identificación, retrospección, evaluación crítica y síntesis de evidencias obtenidas. Es decir, se implementa para obtener información detallada sobre un tema específico.

Para ello, se plantea la formulación de la pregunta de revisión de literatura empleando la metodología PICOC, la cual consiste en identificar el grupo objetivo de investigación, la acción que se implementará en la población objetivo compara los resultados con otros grupos, los cambios esperados de la intervención y el entorno en la que se llevará a cabo la intervención, como se muestra en la TABLA I.

TABLA I
CUADRO PICOC

PICOC				
Problema	Intervención	Comparación	Resultado	Contexto
Proceso de teñido de fibra de algodón.	Aplicación de colorantes naturales en la fibra algodón.	Alternativas sintéticas.	Mejorar procesos de teñido.	Industria textil.

De acuerdo con el tema planteado para la revisión sistemática de literatura se planteo la siguiente pregunta de investigación:

RQ: ¿De qué manera la aplicación de alternativas sustentables mejora el proceso de teñido de la fibra de algodón en la industria textil?

Asimismo, se formularon las siguientes subpreguntas:

RQ1: ¿Cómo se define el proceso de teñido de la fibra del algodón?

RQ2: ¿En qué proceso de la industria textil se ha investigado?

RQ3: ¿Qué alternativas sustentables se han aplicado para mejorar el proceso de teñido?

RQ4: ¿Qué tan eficiente resulta la aplicación de alternativas sustentables en comparación a las alternativas sintéticas?

B. Ecuación de búsqueda en Scopus

Para la búsqueda de los artículos que se analizaron para la revisión sistemática de literatura propuesta se utilizó una de las bases bibliográficas más grandes y completas del mundo conocida como Scopus. Para ello, como se muestra en la TABLA II, se plantea la ecuación de búsqueda con palabras claves, además solo se considera los artículos de los últimos cuatro años y los elaborados en inglés y español.

TABLA II
ECUACIÓN DE BÚSQUEDA SCOPUS

TITLE-ABS-KEY ("textile processes" OR "dyed cotton" OR cotton OR dyeing OR "cotton fabric" OR processes OR textile) AND TITLE-ABS-KEY (mordants OR biomordants OR organic OR biodegradation OR "sustainable development" OR "Bacterial Pigments" OR "Natural Extracts") AND TITLE-ABS-KEY ("chemical products" OR "natural products" OR "natural fibers" OR "synthetic fibers" OR synthetic OR "synthetic dyes" OR "natural dyes" OR "natural extracts" OR "coloring agents" OR "natural fabrics") AND TITLE-ABS-KEY (color OR pigmentation OR "fastness properties" OR "elimination of synthetic dyes" OR "elimination of pollutants" OR "Antioxidant Activity" OR "Antibacterial properties" OR "Textile Coloration") AND TITLE-ABS-KEY ("textile industry")
--

C. Criterios de Inclusión y Exclusión

A partir de la pregunta de investigación propuesta, como se muestra en la TABLA II y IV, se definieron los siguientes criterios necesarios para obtener una mejor selección de artículos.

TABLA III
CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Criterios de Inclusión	
CI1	Las investigaciones incluidas deben abordar el proceso de teñido de fibra de algodón.
CI2	Las investigaciones deben aplicar alternativa sustentable en la fibra de algodón.
CI3	Las investigaciones incluidas deben conseguir resultados de mejora de procesos de teñido.
CI4	Las investigaciones desarrolladas en la industria textil.
CI5	Las investigaciones en español e inglés.

TABLA IV
CRITERIO DE EXCLUSIÓN

Criterio de Exclusión	
CE1	Los estudios que no incluyen el proceso de teñido de fibra de algodón.
CE2	El tipo de publicación no corresponde a artículo original.
CE3	Los estudios que no se adecuan con información necesaria para responder con la pregunta principal del estudio.

D. Proceso de Selección de Datos

Para mejorar la calidad de los artículos la revisión sistemática de literatura se empleó el método PRISMA como se muestra en la Fig. 1. En ella, se introduce en la base de datos

Scopus, la ecuación planteada anteriormente por el método PICOC en la que se obtuvo 205 artículos como resultado.

Del registro obtenido, se excluyeron 143 porque no tienen relación con el tema de la RSL propuesta. Asimismo, a los 62 artículos restantes se revisaron los títulos y resúmenes, de los cuales 25 no se encontraron a texto completo disponible por lo que fueron descartados.

Se aplicaron los filtros a los 37 artículos restantes, según los criterios de exclusión planteados, donde 11 de ellos no incluyen estudios de procesos de teñido de fibra de algodón, además 7 no corresponde a un artículo original y 3 estudios tampoco se adecuan en responder la pregunta principal del estudio, por lo que se obtiene un registro final de 16 artículos óptimos para la realización de la revisión sistemática de literatura.

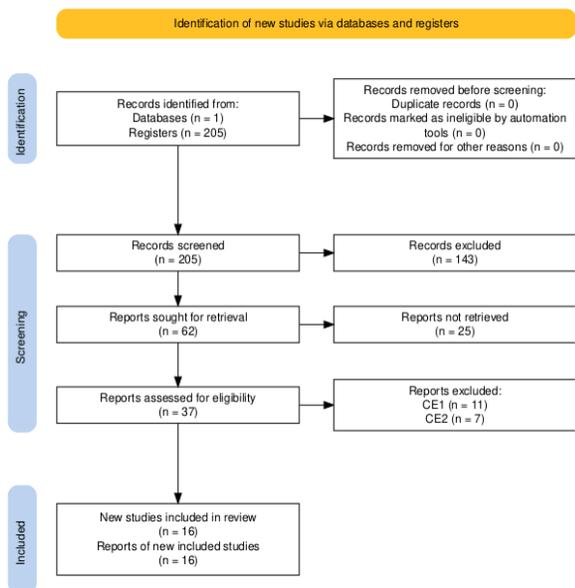


Fig. 1 Recopilación de Datos. Método PRISMA.

III. RESULTADOS

A. Indicadores Bibliométricos

A partir del análisis, los estudios realizados en los últimos cuatro años que abordan la aplicación de alternativas naturales en el proceso de teñido de la fibra del algodón muestran resultados significativos, puesto que, en el 2009 y 2023 se alcanzó un máximo de 5 publicaciones como se observa en la Fig. 2.

Documentos por año

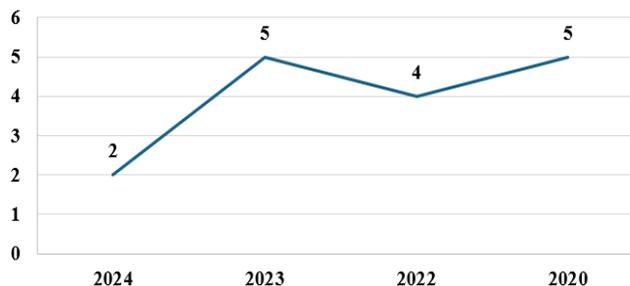


Fig. 2 Recopilación de artículos por año.

B. Correlación de Palabras Claves

Como se observa en la Fig. 3, las palabras claves indexadas en los artículos analizados destacan que las más resaltantes son “textile industry”, “natural dye” y “coloring agent”. Estas palabras claves están relacionadas con la problemática, la intervención y el contexto de nuestra Revisión Sistemática de Literatura.

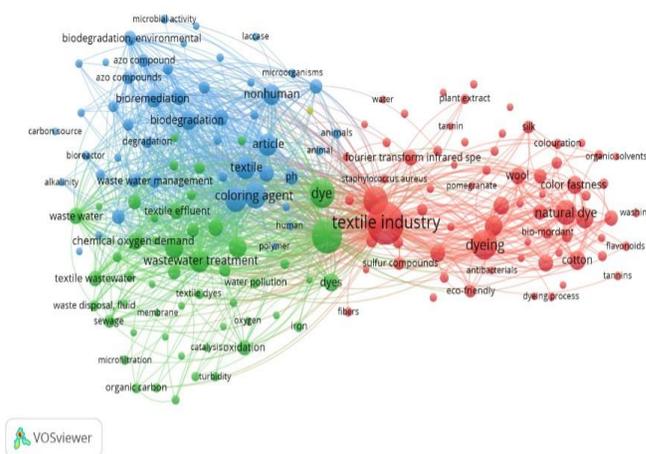


Fig. 3 Palabras Claves Indexadas.

C. Correlación de Autores

De todos los artículos analizados, los autores con mayor participación en los contenidos relacionados a la aplicación de colorantes naturales en el proceso de teñido del algodón son Adeel Shahid y Mia Rony, como se observa en la Fig. 4. Asimismo, se muestra la participación de Hussaan Muhammad y Ahmed Taosif.

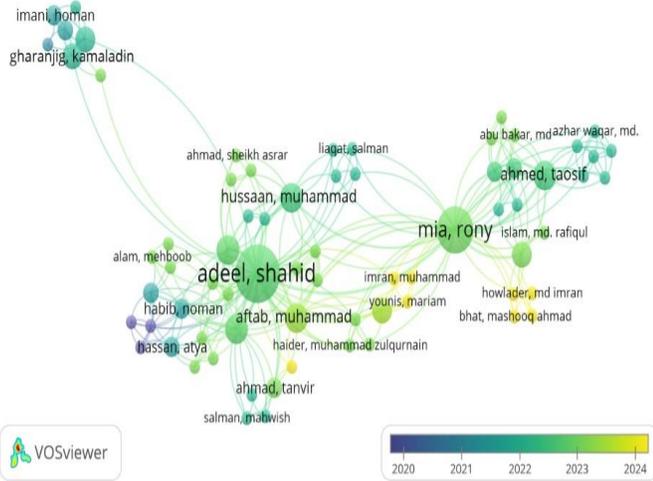


Fig. 4 Correlación de Autores.

D. Países con Mayor Estudios Realizados

Los países donde se han realizado los estudios relacionados al proceso del teñido del algodón con alternativas naturales son principalmente en India y Bangladesh, como se muestra en la Fig. 5 seguidos de Pakistán, Malasia, China, Indonesia, Etiopía, España, Portugal, Irán y Turquía.

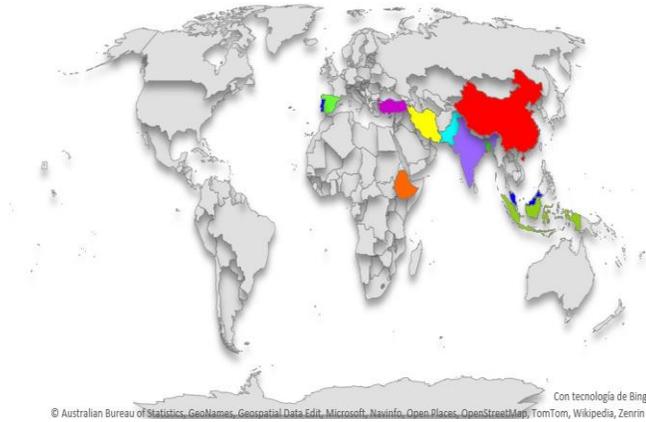


Fig. 5 Países con más estudios relacionados con el teñido del algodón con colorantes naturales.

E. RQ1: ¿Cómo se define el proceso de teñido de la fibra del algodón?

Según el análisis de los 16 artículos, el teñido de la fibra del algodón es un proceso que consiste en la impregnación del colorante en los tejidos textiles y que, gracias a su afinidad y formación de enlaces covalentes, estas se convierten en teñidos resistentes ante los efectos físicos y químicos. Sin embargo, no todos los autores coinciden en emplear una temperatura y un tiempo establecido, existiendo una variedad de parámetros

críticos considerados para el desarrollo del proceso como se observa en la TABLA V.

TABLA V
PARÁMETROS CRÍTICOS CONSIDERADOS EN EL PROCESO DE TEÑIDO DEL ALGODÓN

Autores	Parámetros críticos
Anahas et al., T. Islam et al., Kusumawati et al. y Periyasamy et al.,	Se considera una temperatura de 100°C y un tiempo de 60 minutos, sin embargo, la fuente [19] considera un tiempo de 55 minutos.
S. Islam et al., Melaku et al., Mía et al. y Periyasamy et al.	Consideran una temperatura de 90°C y un tiempo de 60 minutos, sin embargo, la fuente [19] que considera un tiempo de 40 minutos.
Aftab et al. y Ji et al.	Consideran una temperatura de 70°C, pero la fuente [8] considera un tiempo de 50 minutos y la fuente [13] un tiempo de 30 minutos
Muruganandham et al.	Considera una temperatura de 60°C y un tiempo de 45 minutos
Pinheiro et al.	Considera una temperatura de 50°C y un tiempo de 100 minutos
Vadood et al. y Zhao et al.	Considera un tiempo de 60 minutos, pero la fuente [21] considera una temperatura de 40°C y la fuente [23] una temperatura de 95°C

Así mismo, se ha identificado los procesos previos al teñido (TABLA VI) que se le debe realizar a la fibra de algodón, con la finalidad de obtener una mejor impregnación de los colorantes en el interior de la fibra y así mismo una mejor calidad del producto.

TABLA VI
PROCESOS PREVIOS AL TEÑIDO DEL ALGODÓN

Autores	Procesos Previos al Teñido del Algodón
Anahas et al., Kusumawati et al., Melaku et al., Mijas et al., Muruganandham et al. y Vadood et al.	Proceso de lavado con la finalidad de eliminar las impurezas que recubren las fibras.
T. Islam et al., Hussin et al., Muruganandham et al., Periyasamy et al., Yilmaz et al. y Zhao et al.	Proceso de blanqueo con el objetivo de eliminar las manchas existentes y permitir un mejor teñido.
S. Islam et al.	Proceso de neutralizado con ácido acético.
Periyasamy et al.	Proceso de desgrasado previo al teñido para eliminar las grasas y ceras naturales de la fibra.

F. RQ2: ¿En qué proceso de la industria textil se ha investigado?

Los artículos demuestran que el proceso de tintorería se ha desarrollado mediante el método experimental a nivel

laboratorio, se realiza a este nivel con la finalidad de garantizar el proceso de teñido de la fibra a una escala mínima para posteriormente esta pueda ser aplicada a nivel industrial.

Cabe resaltar que se evidencia tres tipos de método de teñido; por ejemplo, los autores [8] emplean el método por rayos microondas que consiste en calentar y teñir de manera rápida y uniforme las fibras de algodón, por el contrario, a los autores [9-17],[20-23] que realizan el teñido mediante el método por agotamiento, que trata principalmente en la absorción del colorante desde una solución líquida, por lo que se considera una relación de baño.

Por último, los estudios [18-19] reflejan la aplicación del método ultrasónico para un teñido más uniforme sin alterar el color del tinte original.

G. RQ3: ¿Qué alternativas sustentables se han aplicado para mejorar el proceso de teñido?

Del análisis de los artículos, se evidencia diferentes tipos de fuentes naturales de extracción de tinte, los cuales cinco de ellas resultan de la madera [8],[10],[13],[16],[20], una de bacteria [9], cuatro fueron extraídas de alguna fruta [11-12],[14],[19], tres de flores [11],[18],[22], cuatro de plantas [11],[17],[21],[23] y finalmente dos fueron extraídas de semillas [15],[22].

Por otro lado, en la TABLA VII se observa la materia prima extraída de las fuentes naturales que se utilizan para dar paso a los colorantes que serán aplicadas en el proceso del algodón; adicional a ello, en la Fig. 6 se muestra las tonalidades que se obtuvieron, siendo en mayor porcentaje las tonalidades de marrón y amarillo.

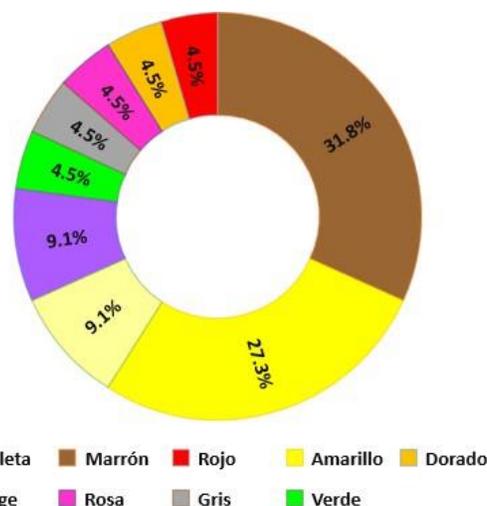


Fig. 6 Tonalidades obtenidas.

Por otro lado, en el proceso convencional de teñido se suelen utilizar mordientes o fijadores metálicos como el sulfato de cobre y dicromato de potasio, que a lo largo del tiempo resultan perjudiciales tanto para el ser humano como para el medio ambiente. En ese sentido, según el análisis realizado a los artículos, la extracción obtenida de las frutas, cortezas y residuos naturales no solo pueden ser aplicados como colorantes sino también como fijadores, conocidos como biomordientes (Fig. 7) entre ellas tenemos la granada y rubia tinctorum L [8], la corteza de la planta de mango [15], la proteína de la soya en polvo [19] y el quitosano de las conchas de camarones y de los cangrejos [23], todas ellas contribuyen al propósito de desarrollar un proceso eco amigable y sostenible con el medio ambiente.

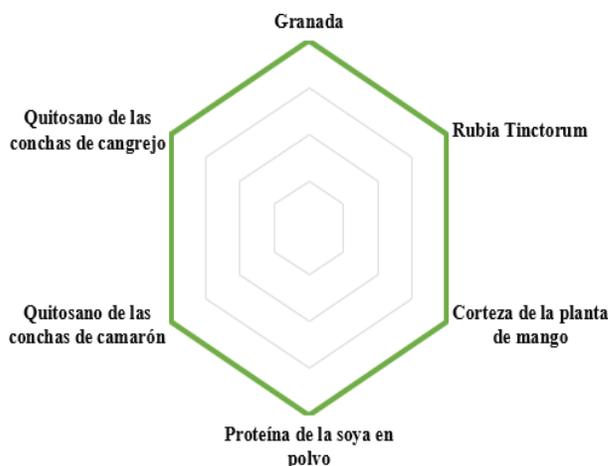


Fig. 7 Biomordientes incluidos en el proceso de teñido del algodón.

Por último, el análisis de las diversas propiedades que los textiles deben pasar luego de ser teñidas, como se muestra en la TABLA VIII, se basan en normas internacionales como la norma ISO (Organización

TABLA VII
COLORANTES EXTRAÍDOS DE FUENTES NATURALES

Colorantes Naturales	Tonalidad Obtenida
Polvo de capullos rosados de clavo (Syzygium aromaticum L.)	Marrón rojizo
Bacteria PDF23 (chromobacterium violaceum)	Violeta
Aserrín de caoba	Marrones
Fresa, remolacha, la rosa y la rosa china	Rojo
Cáscara de fruta de la nuez de betel (Adonidia Merillii)	Marrón
Corteza vegetal (Phellodendrom amurense Rupr)	Amarillos desde los más claros hasta los más oscuros
Cáscara de naranjas	Amarillo claro y dorado
Café molido	Marrón
Residuos de madera de caoba	Marrón
Rubia tinctorum L. y Calendula	Amarillos
Pétalos de la flor de cassia alata	Amarillas
Cáscara de la fruta Syzygium cumini	Violeta
Subproductos de la industria del corcho	Gris pardo
Planta de soldadura (Reseda luteola) y la Rubia (rubia tinctorum)	Amarillas
Flores y semillas de la planta de equinácea	Flores - Crema, beige y rosa Semillas - café, marrón claro y rosa
Clorofilina de cobre y sodio	Verdes

Internacional de Normalización), la norma ASTCC (Asociación Americana de Químicos y Coloristas Textiles). Asimismo, los estudios plantean que para determinar la intensidad del color se debe usar el espectrofotómetro colorímetro [8-10], [13-14], [16-23] además de la escala de grises mediante el método CIE Lab [10],[13],[22]. A diferencia del resto, el artículo [12] para el análisis y el método de control de calidad de los teñidos se basa en la Norma Malasia M5692: 2007.

TABLA VIII
NORMAS INTERNACIONALES APLICADAS EN LOS ENSAYOS DE SOLIDEZ DEL COLOR

Propiedades	Norma	Autores
Solidez al lavado	ISO 105-C10: 2006	Ji et al. y Yilmaz et al.
	ISO 105-C06: 2010	T. Islam et al., Melaku et al., Mijas et al. y Zhao et al.
	ISO 105-C06: 2013	Periyasamy et al.
	ISO 105-C03: 2013	Mia et al.
	ASTM D435-42	S. Islam et al.
Solidez al frote	ISO 105-X12: 1993	Yilmaz et al.
	ISO 105-X12: 2001	Ji et al.
	ISO 105-X12: 2016	T. Islam et al., Melaku et al., Mia et al., Mijas et al., Periyasamy et al. y Zhao et al.
	AATCC TM8	S. Islam et al.
Solidez a la luz	ISO 105-B02: 1994/Amd 2:2000	Ji et al.
	ISO 105-B02: 2013	T. Islam et al., Mia et al., Muruganandham et al., Periyasamy et al. y Zhao et al.
	ISO 105-B06: 2020	Melaku et al.
Solidez a la transpiración	ISO 105-E04: 1994	Mia et al.
	ISO 105-E01: 2013	T. Islam et al.
	AATCC TM15	S. Islam et al.
Solidez a la saliva	ISO 20701: 2017	T. Islam et al.

H. RQ4: ¿Qué tan eficiente resulta la aplicación de alternativas sustentables en comparación a las alternativas sintéticas?

Lo eficiente que resulta la aplicación de las alternativas sustentables en el teñido de la fibra del algodón se da principalmente en el impacto ambiental que esta puede generar; es decir, su inclusión en el proceso de teñido ayuda a reducir la huella de carbono que genera la industria textil.

Debido a que son productos naturales, estas resultan fáciles de tratar luego de ser usadas. Además, las ventajas que brindan al medio ambiente son gracias a su biodegradabilidad [8-13],[15],[21], a ser sostenibles [8-9],[11],[17], [19-20], respetuosos con el medio ambiente [8],[10],[15], [19-22], ecológicos [11], no tóxicos [8],[21] incluso que son una innovadora propuesta

de teñido [16],[18],[20] en comparación con las alternativas sintéticas que en su mayoría contienen compuestos metálicos pesados y tóxicos tanto para el medio ambiente como para el ser humano, ya que, al estar en constante contacto con los colorantes sintéticos a largo plazo generan enfermedades irreparables.

Así mismo, la aplicación de tintes naturales obtenidas de halophilic chromobacterium violaceum [9] y el de la flor de cassia [18] ofrecen a los tejidos propiedades antimicrobianas, antialérgicas, ideales para tejidos destinados para la fabricación de artículos y vestimenta médica incluso para personas con determinados tratamientos médicos. Además, las fibras de algodón teñidas con Syzygium cumini [19] también ofrece a los tejidos una mejor protección UV. Del mismo modo, los autores [9-10],[13],[18],[20] resaltan las ventajas médicas para el consumidor las cuales son las que se muestra en la Fig. 8.

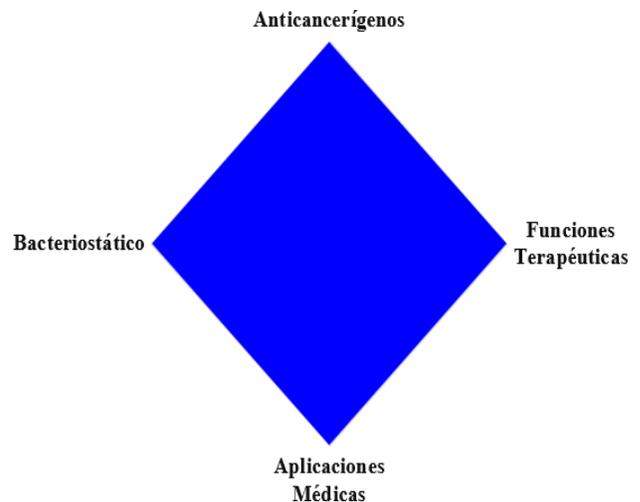


Fig. 8 Ventajas Médicas.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La revisión sistemática de la literatura realizada ha identificado la importancia del desarrollo de los colorantes obtenidos de las plantas, insectos y minerales que han demostrado ser una alternativa prometedora en el proceso de teñido del algodón destacando una de sus ventajas referentes a es su baja toxicidad [8-23], y a sus propiedades antibacterianas y antioxidantes como lo señala el artículo [9] donde los colorantes generados a partir de microorganismos producen un pigmento violeta que pueden ser aplicados en una amplia gama biomédica y que con la ayuda de la tecnología se podría dar paso al desarrollo de tejidos médicos con valor agregado. A diferencia de tejidos teñidos con colorantes sintéticos que por su contenido químico estas se quedan impregnados en los textiles perjudicando la salud del ser humano [13].

Asimismo, se destaca las diferencias en los métodos de ensayo para evaluar la solidez del color al frotamiento, donde los autores [10] adoptan la norma ISO 105-x12:2016 a comparación

de los autores [22] que evalúan los textiles en base a las normas ISO 105-X12:1993. Si bien esta última norma proporciona una evaluación estándar a la solidez del color al frotamiento, no refleja completamente las prácticas de ensayo más recientes que permitan mejorar la precisión y relevancia de los resultados como lo establece la norma ISO 105-X12:2016 que introduce mejoras y ajustes en los métodos de ensayo además de prácticas modernas.

Por otro lado, al comparar las diferentes alternativas naturales encontradas y analizadas, es evidente que cada uno de ellos contribuye a mejorar el proceso de teñido de la fibra celulósica, además de su aporte a la reducción del impacto ambiental que conlleva realizar el proceso de teñido. Sin embargo, presenta desafíos en cuanto a la aplicación sustentable de fijadores del color ya que, el 75% de los artículos analizados emplean aún mordientes de sales metálicas como el Cu, Cr, Co, Ni entre otros. A diferencia de los cuatro artículos [8],[15],[19],[23] que proponen el uso de biomordientes como alternativa sostenible frente a los metales tóxicos mencionados anteriormente, las cuales también presentan su propio impacto ambiental.

Por tanto, la adopción de la aplicación de alternativas sustentables en la tintorería promete importantes avances que requieren desarrollar futuras investigaciones incluyendo las innovaciones tecnológicas con la finalidad de lograr un proceso aún más sostenible dentro de la industria textil. Asimismo, se recomienda la adopción de las normas actuales con la finalidad de mejorar y estandarizar los diferentes métodos de ensayo de solidez del color para una evaluación más precisa de los textiles. En tal sentido, se respondió las cinco interrogantes planteadas por la metodología PICOC en base a los 16 artículos seleccionados. En relación con la primera pregunta sobre que procesos se definen para el teñido de algodón en la industria textil, se identificó los procesos de teñido de fibra de algodón por medio de parámetros críticos y de los procesos previos de teñido, para obtener mejores resultados en la absorción adecuada del tinte natural a la tela, perdurable a mayor tiempo y mejor uniformidad en el tejido.

Respecto a la segunda pregunta sobre las investigaciones en que proceso de la industria textil que se han realizado, se encontró que en todos los estudios se llevaron a cabo a través del método experimental, debido a que se necesitó realizar los experimentos a nivel laboratorio, es decir, a pequeña escala, para obtener resultados factibles para luego ser replicados a nivel industrial. Asimismo, respecto a la tercera pregunta sobre las aplicaciones para el mejoramiento del proceso de teñido con las alternativas sustentables, se analizó las distintas fuentes ecológicas de extracción del tinte natural, teniendo en cuenta que para que el teñido resulte ser más compacto se necesitará el empleo de los biomordientes, estos mordientes naturales actuarán como un puente entre el tejido y el tinte, permitiendo mejores resultados de solides y tonalidad, sin perjudicar el medio ambiente.

En relación con la cuarta pregunta sobre la comparación y eficiencia que resultan ser las alternativas sintéticas y las sustentables, se identificó la notable eficiencia de esta última; asimismo, los tintes naturales ofrecen ventajas para el medio ambiente y para el ser humano puesto que, su aplicación también se podría dar en el ámbito médico, debido a que estas aportan características adicionales que no generan daño a la salud sino todo lo contrario, ofrecen propiedades como ser productos textiles antibacterianos, antialérgicos y con mejor protección UV, caso que no ocurre con los tejidos teñidos con colorantes sintéticos.

Finalmente, para que el proceso resulte aún más sostenible, es necesario reemplazar los mordientes por el de los biomordientes, ya que estos también son extraídos de manera natural haciendo el proceso aún más respetuosos con el ambiente. Para estudios futuros se recomienda proseguir con las investigaciones necesarias con la finalidad de ampliar el conocimiento sobre el teñido ecológico, el desarrollo de nuevos colorantes y su mejora constante.

REFERENCES

- [1] L. Mabuza, N. Sonnenberg y N. Marx-Pienaar, "Tintes naturales versus tintes sintéticos: la comprensión de los consumidores sobre la coloración de la ropa y su voluntad de adoptar alternativas sustentables," *Resources-Conservation-and-Recycling-Advances*, 18, 10.1016, 2023. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2023.200146>
- [2] R. Atakan, I. Martínez-González, P. Díaz-García y M. Bonet-Aracil, "Sustainable Dyeing and Functional Finishing of Cotton Fabric by Rosa canina Extracts," *Sustainability* 16(1), 2024. doi: <https://doi.org/10.3390/su16010227>
- [3] H. Nasreen, S. Adeel, M. Yameen, N. Amin, M. Ozomay y M. Qayyum, "Aplicación ecológica de ondas ultrasónicas para Extracción de colorante amarillo de Haar Singhar y su comportamiento colorante en el teñido de algodón," *Revisión de textiles y cuero*, 6, 18-36, 2023. doi: <https://doi.org/10.31881/TLR.2022.67>
- [4] W. Taguegne, A. Haile, Y. Zeleke, Y. Temesgen, H. Bantie y S. Biyable, "Teñido natural y acabado antibacteriano de telas de algodón con extractos de extracto de hoja de Justicia Schimperana: un paso hacia el teñido y acabado sostenible," *Revista Internacional de Ingeniería Sostenible*, 17:1, 1-10, 2024. doi: <https://doi.org/10.1080/19397038.2023.2301702>
- [5] S. Manyim, A. K. Kiprop, J. I. Mwasiagi y A. C. Mecha, "Producción más limpia de tela de algodón bioactivo y coloreado utilizando extracto de colorante de Euclea Divinorum con biomordientes," *Tekstilec*, 66(1), 38-46, 2023. doi: <https://doi.org/10.14502/tekstilec.65.2022072>
- [6] M. Yameen, F. Asghar, S. Adeel, M. Haider, M. Ozomay, M. Aftab y R. Mía, "Mejora del teñido de lana con tinte natural a base de clavo (*Syzygium aromaticum*) mediante tratamiento con microondas utilizando un diseño compuesto central," *Progreso de la ciencia*, 106(4), 1-22, 2023. doi: 10.1177/00368504231215593
- [7] P. Aznar-Crespo. "Revisión Sistemática de Literatura: introducción y reflexiones", Recursos Audiovisuales Docencia, Facultad de Sociología, Univ. de Alicante, España, 2021. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10045/118059>
- [8] M. Aftab, T. Ahmad, S. Adeel y M. Javed, "Ecofriendly process optimization of natural dye extraction from clove (*Syzygium aromaticum* L.) using response surface methodology and artificial neural network modeling," *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 37, 2024. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101401>
- [9] A. M. P. Anahas, S. Kumaran, M. Kandeel, G. Muralitharan, J. Silviya, G. L. Adhimoalam, M. Panagal, S. R. Pugazhvendan, G. Suresh, A. Wilson Aruni, S. Rethinam, y N. Prasannabalaji, "Applications of Natural Violet Pigments from Halophilic Chromobacterium violaceum PDF23 for Textile Dyeing with Antimicrobial and Antioxidant Potentials," *Journal of Nanomaterials*, 2022. doi: <https://doi.org/10.1155/2022/3885396>
- [10] T. Islam, A. M. Khan, M. R. Karim, S. Hossain, y M. A. Jalil, "Assessing the dyeing efficacy and environmental impact of cotton fabric dyed with

- sawmill bio-waste extracts and metal salts,” *SPE Polymers*. doi: <https://doi.org/10.1002/pls2.10136> Manuscript Templates for Conference Proceedings, IEEE. http://www.ieee.org/conferences_events/conferences/publishing/templates.html
- [11] S. Islam y S. M. Mominul Alam, “Attaining optimum values of colourfastness properties of sustainable dyes on cotton fabrics,” *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 28(6), 110–117, 2020. doi: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.3806>
- [12] N. S. M. Hussin, A. R. Ismail, S. W. Hasbullah y N. A. Kadir, “Properties of textiles dyed with young adonidia merillii (Betel nut) fruit husk,” *International Journal of Scientific and Technology Research*, 9(3), 1817–1822, 2020. CorpusID:216508065
- [13] X. Ji, Z. Zhao, Y. Ren, F. Xu y J. Liu, “Dyeing Properties, Color Gamut, and Color Evaluation of Cotton Fabrics Dyed with Phellodendron amurense Rupr. (Amur Cork Tree Bark),” *Molecules*, 28(5), 2023. doi: <https://doi.org/10.3390/molecules28052220> M. King, B. Zhu, and S. Tang, “Optimal path planning,” *Mobile Robots*, vol. 8, no. 2, pp. 520-531, March 2001.
- [14] N. Kusumawati, A. B. Santoso, A. Wijastuti y S. Muslim, “Extraction, optimization, and dyeing standardization using fresh orange citrus peel on cotton fabrics,” *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 10(3), 1278–1283, 2020. doi: <https://doi.org/10.18517/ijaseit.10.3.3430>
- [15] A. Melaku, G. Demeke, M. Aschale, F. Alemayehu y G. Semegn, “Extraction and Characterization of Natural Dye Stuff from Spent Coffee Ground and Bio-Mordant from Mango Bark,” *Journal of Natural Fibers*, 20(2), 2023. doi: <https://doi.org/10.1080/15440478.2023.2276725> H. Simpson, *Dumb Robots*, 3rd ed., Springfield: UOS Press, 2004, pp.6-9.
- [16] R. Mia, M. A. Bakar, M. R. Islam y T. Ahmed, “Eco-friendly coloration from mahogany wood waste for sustainable dyeing of organic nonwoven cotton fabric,” *Results in Engineering*, 17, 2023. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101032>
- [17] G. Mijas, M. Josa, D. Cayuela y M. Riba-Moliner, “Study of Dyeing Process of Hemp/Cotton Fabrics by Using Natural Dyes Obtained from Rubia tinctorum L. and Calendula officinalis,” *Polymers*, 14(21), 2022. doi: <https://doi.org/10.3390/polym14214508>
- [18] M. Muruganandham, K. Sivasubramanian, P. Velmurugan, S. Suresh Kumar, N. Arumugam, A. I. Almansour, R. Suresh Kumar, S. Manickam, C. H. Pang y S. Sivakumar, “An eco-friendly ultrasound approach to extracting yellow dye from Cassia alata flower petals: Characterization, dyeing, and antibacterial properties,” *Ultrasonics Sonochemistry*, 98, 2023. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106519> M. King and B. Zhu, “Gaming strategies,” in Path Planning to the West, vol. II, S. Tang and M. King, Eds. Xian: Jiaoda Press, 1998, pp. 158-176.
- [19] A. P. Periyasamy, “Natural dyeing of cellulose fibers using syzygium cumini fruit extracts and a bio-mordant: A step toward sustainable dyeing,” *Sustainable Materials and Technologies*, 33, 2022. doi: <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2022.e00472> B. Simpson, et al, “Title of paper goes here if known,” unpublished.
- [20] M. N. C. Pinheiro, L. Symochko y L. M. Castro, “Valorization of Cork Industry By-Products as Sustainable Natural Dyes for Textiles,” *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 11(28), 10555-10565, 2023. doi: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.3c02576>
- [21] M. Vadood y A. Haji, “Application of ANN Weighted by Optimization Algorithms to Predict the Color Coordinates of Cellulosic Fabric in Dyeing with Binary Mix of Natural Dyes,” *Coatings*, 12(10), 2022. doi: <https://doi.org/10.3390/coatings12101519>
- [22] F. Yilmaz, G. Gültepe y M. Uygur, “INVESTIGATION OF COLORABILITY OF COTTON FABRICS USING NANO MORDANTS WITH ECHINACEA AND PATIENCE SEED IN TODAY’S HOME TEXTILE PRODUCTS COLORING APPLICATIONS | EV TEKSTİL ÜRÜNLERİ ÖZELİNDE EKİNEZYA VE EVELİK TOHUMU İLE PAMUKLU KUMAŞLARIN NANO MORDANLAR KULL,” *Tekstil ve Muhendis*, 30(129), 18–23, 2023. doi: <https://doi.org/10.7216/teksmuh.1272246>
- [23] Z. Zhao, C. Hurren, M. Zhang, L. Zhou, J. Wu y L. Sun, “In situ synthesis of a double-layer chitosan coating on cotton fabric to improve the color

fastness of sodium copper chlorophyllin,” *Materials*, 13(23), 1–16, 2020. doi: <https://doi.org/10.3390/ma132353>