Scientia Iter
ISSN:3072-9793

Volumen 2 Número: 1 Año: 2026

Evaluación del teñido de la fibra de palma (*Brahea dulcis*) con colorantes básicos y dispersos

Evaluation of palm fiber (brahea dulcis) dyeing with basic and disperse dyes

Autor(es)

Juan Gerardo Bautista Zafra[1*] https://orcid.org/0009-0009-3649-9476

[1] Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Tlaxiaco. México.

* Autor para correspondencia: gerardo_bz@tlaxiaco.tecnm.mx

RESUMEN

El presente estudio evalúa el teñido de la fibra de palma (*Brahea dulcis*), ampliamente utilizada en la región Mixteca de Oaxaca para la elaboración artesanal de sombreros y otros enseres, mediante la aplicación de colorantes básicos y dispersos. Se realizó una clasificación de la fibra con base en su coloración natural y se aplicaron tratamientos previos para mejorar la penetración del tinte. Posteriormente, se llevaron a cabo procesos de teñido y ensayos de solidez al frote, sudor y planchado bajo normas ISO. Los resultados mostraron que los colorantes dispersos proporcionaron tonos más intensos y mejor resistencia en comparación con los básicos, aunque en ambos casos la solidez a la luz resultó moderada. Se concluye que la incorporación de técnicas modernas de tintura en fibras tradicionales permite ampliar la gama cromática y mejorar la calidad de los productos artesanales, generando un potencial de valorización cultural y comercial.

Palabras clave: Fibra de palma, *Brahea dulcis*, colorantes básicos, colorantes dispersos, solidez

ABSTRACT

The present study evaluates the dyeing of palm fiber (Brahea dulcis), widely used in the Mixteca region of Oaxaca for the artisanal elaboration of hats and other utensils, through the application of basic and dispersed dyes. The fiber was classified based on its natural coloration and previous treatments were applied to improve the penetration of the dye. Subsequently, dyeing processes and tests of fastness to rubbing, sweating and ironing were carried out under ISO standards. The results showed that the dispersed dyes provided more intense tones and better resistance compared to the basic ones, although in both cases the lightfastness was moderate. It is concluded that the incorporation of modern dyeing techniques in traditional fibers allows to expand the chromatic range and improve the quality of artisanal products, generating a potential for cultural and commercial valorization.

Keywords: *Palm fiber, Brahea dulcis, basic dyes, disperse dyes, fastness*

Fecha de Recibido: 04/01/2026

Fecha de Aceptado: 14/01/2026

INTRODUCCIÓN

El estado de Oaxaca, ubicado en el sudeste de la república mexicana, se encuentra dividido geográficamente en ocho regiones: la Cañada, la Costa, el Istmo, la Sierra Norte, la Sierra Sur, el Papaloapan, los Valles Centrales y la región Mixteca. Particularmente, esta última se localiza en la zona noroccidental del estado, donde existen poblaciones en su mayoría indígenas, en las que prácticamente todos los habitantes se dedican al tejido manual de la fibra de palma como actividad principal o complementaria. La materia prima para estas actividades proviene de grandes extensiones de palmares de la especie *Brahea dulcis*, cultivados sobre suelos calcáreos con abundancia de carbonato de calcio, en climas semiáridos y en altitudes que van desde 800 hasta 2200 metros sobre el nivel del mar. De acuerdo con el criterio de Souissi, et al., (2024), la valorización de especies de palma para procesos tintóreos constituye una alternativa sustentable que puede integrarse en regiones rurales con fuerte tradición artesanal. En una línea semejante, Baaka, et al., (2023) destacan que la fibra de palma puede transformarse en un recurso textil competitivo cuando se emplean colorantes naturales bajo esquemas de teñido optimizados.

Las personas dedicadas a la elaboración de enseres de fibra de palma tiñen esta fibra con colorantes poco conocidos en sus características químicas, mediante métodos tradicionales y en una reducida gama de tonalidades. El teñido se realiza con la finalidad de proporcionar colorido y hacer más atractivos sus productos a los consumidores; no obstante, la calidad de los enseres elaborados no siempre resulta aceptada, por lo que existe la necesidad de implementar un proceso de teñido moderno que permita obtener artículos con mayor calidad en comparación con los teñidos tradicionales. Según lo documentado por Yanti, et al., (2021), la aplicación de pretratamientos como el uso de quitosano mejora notablemente la solidez del color, lo cual evidencia la importancia de introducir técnicas modernas en fibras naturales. Asimismo, Monisha y Parasakthibala (2021) subrayan que el empleo de colorantes tradicionales como la *Rubia cordifolia* puede ofrecer resultados satisfactorios en fibras animales, lo que abre la posibilidad de adaptar estos métodos a fibras vegetales como la palma. En esta misma lógica, Gong, et al., (2024) señalan que el diseño estructural de los colorantes dispersos permite alcanzar procesos más seguros y ambientalmente responsables en fibras de origen animal, un hallazgo extrapolable a fibras vegetales resistentes como la palma.

Para realizar esta evaluación, se establece una clasificación de la fibra de palma con base en su coloración natural, además de un tratamiento previo a la tintura. Asimismo, se describen los procesos de teñido con colorantes básicos y dispersos y se aplican ensayos de solidez al frote, al sudor y al planchado, con la

finalidad de cuantificar la calidad de las tinturas obtenidas y compararlas con los teñidos tradicionales. De acuerdo con Gan, et al., (2024), los desarrollos recientes en fibras naturales muestran que pueden incorporarse sensores y procesos duales de respuesta, lo cual refleja el potencial de materiales vegetales poco explorados. En consonancia, la investigación de autores anónimos (2023) sobre la aplicación de colorantes naftoquinónicos en poliéster sugiere la viabilidad de emplear estructuras químicas diversas que aporten estabilidad cromática.

La importancia de este estudio se comprende mejor al considerar la geografía y condiciones del estado de Oaxaca. El estado se sitúa entre los paralelos 15°38’00’’ y 18°48’30’’ de latitud norte y entre los meridianos 93°52’00’’ y 98°30’30’’ de longitud oeste de Greenwich; limita al norte con Puebla y Veracruz, al este con Chiapas, al sur con el Océano Pacífico y al oeste con Guerrero. Tiene una altitud media de 1545 metros sobre el nivel del mar, con una máxima de 3444 metros determinada por el cerro Yucuyacua. Además, cuenta con un litoral de 509 km y una plataforma continental de 41,049 km². Tal como afirma Thapa (2023), el aprovechamiento de los tintes naturales debe estar vinculado a contextos regionales donde la tradición artesanal se une a condiciones ambientales particulares. Del mismo modo, Datta, et al., (2022) sostienen que las fibras vegetales teñidas con recursos locales, como las flores de *Lantana camara*, tienen un impacto positivo en la economía artesanal al diversificar la oferta cromática. Oaxaca ocupa el quinto lugar nacional en extensión, con 95,364 km²; sin embargo, las características montañosas de su terreno han limitado de manera significativa las áreas destinadas a la agricultura, que constituye la principal actividad económica. Los sistemas montañosos más importantes son la Sierra Madre del Sur y la Sierra Madre de Oaxaca, además de la Sierra Atravesada, que, aunque de menor magnitud, influye en la configuración territorial. Estas condiciones han representado un obstáculo para el aprovechamiento de recursos mineros y forestales, lo que explica que solo algunas zonas diferenciadas geográficamente, como las planicies del centro y norte, así como la región ístmica, presenten un mayor desarrollo, aunque a un ritmo más lento que otras entidades del país. Según Koçak, et al., (2024), la estructura física de los tejidos condiciona directamente la absorción de los colorantes naturales, lo que resulta esencial en regiones montañosas donde la variación ambiental afecta la producción de fibras.

En este contexto, la región Mixteca cobra un papel especial. Su nombre deriva de la palabra náhuatl *Huaxyacac*, que significa “en la punta de los guajes”. Se divide en tres subregiones: Mixteca Alta, Mixteca Baja y Mixteca de la Costa, y está conformada por 155 municipios distribuidos en siete distritos. Esta región se caracteriza por la presencia de grandes extensiones de palmares de *Brahea dulcis*, que constituyen la base de una economía artesanal en la que prácticamente todos los habitantes participan en el tejido de palma. Akter, et al., (2024) sostienen que el aprovechamiento de hojas de palma para teñido, combinado con biomordientes, representa una alternativa sostenible para comunidades rurales. En una perspectiva similar, Wang, et al., (2024) exponen que los nuevos colorantes de base antraquinonoide,

preparados con reacciones simples, refuerzan la aplicabilidad de técnicas modernas incluso en fibras vegetales de carácter artesanal.

Los niños comienzan a aprender el oficio desde edades tempranas, alrededor de los cinco o seis años. El principal producto elaborado es el sombrero, aunque también se fabrican abanicos, escobas, bolsas, juguetes y petates. No obstante, el sombrero continúa siendo el artículo de mayor importancia por la demanda que alcanza tanto a nivel local como en mercados exteriores. Según Younas, et al., (2021), la relación entre tejidos, tintes y cultura demuestra que el color trasciende lo estético, constituyendo un signo de identidad y pertenencia. Por su parte, Gonçalves, et al., (2023) documentan que el uso de colorantes como la bixina en fibras sintéticas abre la posibilidad de adaptar pigmentos naturales a materiales artesanales.

La palma *Brahea dulcis* se distingue por su resistencia y su morfología particular. Cuando la planta es joven, se asemeja a un conjunto de abanicos verdes que emergen de las rocas; posteriormente desarrolla un tronco delgado de entre 2 y 7 metros de altura. Sus hojas alcanzan hasta 70 cm de longitud, presentan un color verde grisáceo y están formadas por costillas con grosor de 1 a 2 mm. El grosor medio de la hoja disminuye hacia los extremos, lo que la convierte en un material versátil para el tejido artesanal. Como indican Batool, et al., (2024), las hojas de especies vegetales poco explotadas, como la remolacha azucarera, tienen un gran potencial como fuentes de tintes aplicables en fibras textiles.

La obtención de la fibra de palma incluye procesos de corte, recolección, secado y deslomado. Los artesanos emplean técnicas diversas: corte con machete, corte con ganchillo o el denominado “descogollo”, que implica cortar el mechón completo de hojas. Una vez recolectadas, las hojas se agrupan en manojos de alrededor de 500 y se transportan mediante animales de carga o a hombro. Posteriormente se secan al sol, operación que varía según la época del año: hasta dos días en temporada de lluvias y entre 7 y 8 horas en temporada seca. El deslomado o rajado elimina la parte más gruesa y rígida de la hoja, dejando la fibra lista para el tejido o el teñido. Sobre absorción hídrica, este tipo de procesos influyen directamente en la capacidad de retención de agua y, por ende, en el comportamiento tintóreo de las fibras.

Desde el punto de vista químico, la fibra de palma contiene entre 40 y 45% de celulosa y entre 42 y 43% de lignina, además de ceras, grasas y gomas. La lignina es responsable de la rigidez de la fibra, pero también representa un obstáculo para su teñido, pues sella las fibras y limita la penetración de los colorantes. Por ello, los procesos de maceración o el uso de productos químicos como el sulfuro de sodio permiten un mejor aprovechamiento de la materia prima. Liang, et al., (2021) sostienen que los tratamientos pos-teñido con mercerización cáustica y amoníaco líquido mejoran la afinidad tintórea, un principio aplicable a fibras vegetales lignificadas.

Las características físicas de la fibra complementan su importancia. La longitud varía entre 25 y 60 cm, el diámetro oscila de acuerdo con su sección transversal y su resistencia a la rotura le permite soportar hasta 620 gramos de peso con una deformación mínima. No presenta torsión ni rizado, aunque su superficie resulta rugosa al tacto y su flexibilidad aumenta con la humedad. Estas propiedades la convierten en un material de gran potencial para aplicaciones textiles, especialmente cuando se combina con procesos modernos de teñido. Como explican Gabardo, et al., (2021), las modificaciones de superficie en poliéster con ozono logran mejorar la fijación de colorantes dispersos, lo que inspira técnicas de aplicación en fibras vegetales similares.

El estudio del color constituye otro aspecto fundamental. El color se percibe como resultado de la absorción y reflexión de la luz visible, que abarca de 400 a 700 nm. Los colorantes interactúan con la fibra absorbiendo ciertas longitudes de onda y reflejando otras, lo que genera la percepción cromática. Así, la calidad del teñido depende no solo del tipo de colorante, sino también de las propiedades físicas y químicas de la fibra. De acuerdo con Mousa, Mohamed, Abd El-Megied y Youssef (2024), el uso de fluidos supercríticos como el CO2 en fibras sintéticas ofrece un modelo alternativo para mejorar la penetración de los tintes y reducir el impacto ambiental, lo que puede orientar innovaciones en fibras naturales.

Actualmente, el mercado ofrece más de 25 mil marcas de colorantes correspondientes a 5 mil especies químicas, clasificadas según su solubilidad, su constitución química o sus propiedades tintóreas. Para la fibra de palma destacan los colorantes básicos y los dispersos. Los básicos, de carácter catiónico, poseen afinidad por los grupos ácidos de las fibras y se aplican en baños neutros o ligeramente ácidos; producen tonalidades vivas, aunque con limitada resistencia a agentes externos. Los dispersos, por su parte, son compuestos no iónicos, insolubles en agua, que se aplican en dispersión acuosa y son ampliamente utilizados en fibras sintéticas como el poliéster. Su mecanismo de teñido se basa en la distribución del colorante entre el substrato y el licor, lo que exige mantener una dispersión estable para evitar defectos. La aplicación de ambos tipos de colorantes en la fibra de palma representa un avance en la integración de conocimientos tradicionales con procesos industriales. Mientras los artesanos continúan empleando métodos heredados de generación en generación, el uso de técnicas modernas de tintura ofrece la posibilidad de ampliar la gama cromática, mejorar la resistencia de los productos y posicionarlos en mercados más competitivos.

Por todo lo anterior, el estudio del teñido de la palma *Brahea dulcis* con colorantes básicos y dispersos se justifica como una necesidad que combina la preservación cultural con la innovación tecnológica. En este trabajo se busca demostrar que la aplicación de procesos modernos puede elevar la calidad de los productos artesanales sin perder su esencia, ofreciendo nuevas oportunidades económicas y sociales a las comunidades mixtecas.

MÉTODO

Clasificación de la fibra

La clasificación de la fibra de palma se hizo con el objetivo de obtener un mejor producto a teñir y que permitiera un aprovechamiento más racional. De acuerdo con esta clasificación se designó el tono a teñir, ya que como fibra natural no tiene un color uniforme. Se establecieron tres grados:

1. Amarilla: fibras que durante el proceso de secado obtuvieron un color amarillento homogéneo; estas se destinaron para el teñido de tonos claros (amarillos, naranjas) o para elaborar tejidos en color natural.
2. Verde-amarillo: fibras que presentaron color verde amarillento en algunas partes de la sección longitudinal, con mayor acentuación en la planta; se usaron para teñidos de tonos medios (rojo, verde, azul).
3. Verde seco: fibras con color totalmente dominante en la sección longitudinal, debido a falta de tiempo de secado o al rehumedecimiento durante el proceso; se emplearon para teñidos en tonos oscuros (negro).

Pretratamiento de la fibra

Una vez seleccionadas las fibras de palma, se sometieron a un lavado previo a la tintura. Las fibras se lavaron durante 20 minutos en una relación de baño 1:40 (una parte en peso de fibra por 40 partes en volumen de agua), a una temperatura de 90 °C, adicionando 1 g/L de detergente-humectante (Sandoclean PC, Clariant S.A. de C.V.). Posteriormente se enjuagaron con agua limpia a 70 °C durante 5 minutos, se repitió el enjuague en frío y se escurrieron 15 minutos.

Teñido con colorantes básicos

El proceso aplicado para teñir la palma con colorantes básicos fue por agotamiento en tina abierta de acero inoxidable. Se utilizó una relación de baño de 1:40 con agua blanda (sin iones de Ca, Mg, Fe). El pH se ajustó entre 4.5 y 5.0 con ácido acético glacial. Se adicionaron 1 g/L de igualador de tintura (Ekalina E, Clariant S.A. de C.V.) y 1 g/L de acetato de sodio como buffer o tampón para mantener el pH.

La cantidad de colorante se determinó con la fórmula:

$$X = \frac{pm*c}{100} \qquad (1)$$

donde X es la cantidad de colorante a pesar, pm el peso de la fibra a teñir y c la concentración de tintura en %.

El colorante se empastó con su mismo peso de ácido acético al 30 %, se diluyó con agua blanda y se llevó a ebullición hasta disolver completamente.

La fibra de palma se introdujo en el baño a 50 °C durante 5 minutos, se añadió el colorante disuelto a través de un tamiz y se agitó con movimientos constantes. La temperatura se elevó gradualmente hasta 92 °C y se mantuvo durante 30 minutos con movimiento continuo de la fibra. Finalmente se bajó la temperatura hasta 75 °C, se enjuagó con agua fría durante 5 minutos y se dejó secar colgada a temperatura ambiente.

Teñido con colorantes dispersos

El teñido con colorantes dispersos también se realizó por agotamiento. La relación de baño fue 1:40 en agua blanda. El pH se ajustó a 5 con ácido acético glacial. Se adicionaron 1 g/L de acetato de sodio como tampón y 0.5 g/L de agente dispersante (Liocol RDN, Clariant S.A. de C.V.).

El colorante en polvo se diluyó empastándolo con 0.5 g de dispersante y 100 ml de agua caliente, agitando hasta formar una dispersión estable. La cantidad de colorante se calculó con base en el peso de la fibra de palma y la concentración de tintura. Por ejemplo, para 1 kg de fibra a una concentración de 2 %, se usaron 20 g de colorante disperso.

La fibra se introdujo en el baño a 50 °C durante 5 minutos, se agregó el colorante diluido y se elevó la temperatura gradualmente hasta ebullición, manteniéndose 30 minutos con movimiento constante. Al final se enfrió, se enjuagó con agua fría durante 5 minutos y se secó colgada a temperatura ambiente.

Ensayos de solidez

Para evaluar la resistencia de las tinturas se aplicaron pruebas de solidez al frote, al sudor y al planchado, conforme a normas ISO.

- Solidez al frote (ISO 105/X12): se realizaron pruebas en seco y en húmedo con un Crockmétro, aplicando 10 movimientos de vaivén en 10 segundos bajo una carga de 9 Newton. Los resultados se evaluaron con la escala de grises de sangrado.
- Solidez al sudor (ISO 105/E04): se prepararon muestras en forma de “emparedado” con tejidos de algodón y poliéster. Las pruebas se hicieron en soluciones de sudor artificial alcalino (pH 8 ajustado con sosa cáustica) y sudor ácido (pH 5.5). Las muestras se sometieron a presión de 12.5 Kpa a 37 °C durante 4 horas, se secaron a temperatura ambiente y se evaluaron con escala de grises.
- Solidez al planchado (ISO 105/X11): se prepararon muestras en seco y en húmedo, con tejidos de algodón y poliéster como acompañantes. Se sometieron a temperaturas de 110, 150 y 200 °C durante 15 segundos en el equipo Fixotest de Hanau, bajo una presión de 4 Kpa. Posteriormente se evaluaron con la escala de grises.

RESULTADOS

Resultados de teñido con colorantes básicos.

Resultados de la evaluación del teñido de la fibra de la especie *brahea dulcis* producida en la región Mixteca del estado de Oaxaca con los colorantes básicos (sandocryl Clariant s.a. de c.v.).

Los colorantes evaluados y que se lograron fijar en la fibra de palma para teñirla son los que a continuación se enuncian en la tabla 1.

Tabla 1: Características de la fibra de palma teñida con colorantes básicos.

Nombre comercial	Características de la fibra de palma teñida
Negro sandocryl BLM 200%	Tono oscuro, textura brillante, matiz azulado, aspecto cenizo.
Azul marino sandocryl BRLE 300%	Tono azul marino, con textura brillante de la fibra teñida.
Verde sandocryl M 150%	Tono medio, con textura brillante de la fibra teñida.
Rojo brillante sandocryl B4GM 300%	Tono medio, con textura brillante de la fibra teñida.
Azul sandocryl B3G 200%	Tono medio con matiz amarillento, textura brillante.
Rojo sandocryl B6B 100%	Tono medio, con matiz azulado y textura brillante.
Rojo brillante sandocryl B-FM 200%	Tono claro, con matiz azulado y textura brillante.
Amarillo oro sandocryl BRLE 200%	Tono claro con matiza azulado y textura brillante.

Nota de tabla. Tomando en cuenta que las tinturas se realizaron a un 2% de concentración de colorante con respecto al peso de la fibra teñida.

Resultados del teñido con colorantes dispersos.

A continuación, se presentan los resultados de las tinturas realizadas con colorantes dispersos evaluados en la fibra de palma de la especie *brahea dulcis* producida en la región Mixteca del estado de Oaxaca.

En la tabla 2 se presentan las características del resultado de la evaluación de los colorantes dispersos en el teñido de la fibra de palma.

Tabla 2: Características de la fibra de palma teñida con colorantes dispersos.

Nombre comercial	Características de la fibra de palma teñida
Amarillo Artisil 2GN 100%	Tono claro, matiz rojizo, textura poco brillante.
Rojo brillante Artisil 2BL 100%	Tono medio, textura brillante.
Azul Artisil BSQ 100%	Tono claro, textura brillante.
Azul Artisil BL 100%	Tono medio con textura brillante.
Amarillo Artisil 3GL 100%	Tono claro, textura poco brillante.
Naranja Artisil RL 100%	Tono claro, matiz rojizo y textura poco brillante.
Escarlata Artisil GFP 100%	Tono medio con textura brillante.

Nota de tabla. Tomando en cuenta que las tinturas se realizaron a una concentración del 2% con respecto al peso del material teñido.

Resultados de las pruebas de solidez.

En la tabla 2 se presentan los resultados de los ensayos de solidez al frote en seco y en húmedo a los que se sometieron las tinturas de palma de la especie *brahea dulcis*.

Tabla 3: Resultados de los ensayos de solidez al frote.

No.	**Colorante**	**Solidez al frote**
		Seco
01.	Amarillo Artisil 2GN 100%.	5
02.	Negro sandocryl B-LM 200%	4
03.	Azul sandocryl BRLE 300%	5
04.	Amarillo oro sandocryl BRLE 200%	4-5
05.	Verde sandocryl M 150%	4
06.	Rojo brillante sandocryl B4GM 300%	4-5
07.	Verde tradicional	1
08.	Azul sandocryl B3G 200%	4
09.	Rojo brillante Artisil 2BL 100%	4
10.	Amarillo tradicional	3-4
11.	Morado tradicional	2-3
12.	Rojo sandocryl B6B 100%	4
13.	Azul Artisil BSQ 100%	4-5
14.	Rojo brillante sandocryl BFM 200%	2
15.	Azul Artisil BL 100%	4
16.	Rosa tradicional	1-2
17.	Amarillo Artisil 3GL 100%	4-5
18.	Naranja Artisil RL 100%	4-5
19.	Escarlata Artisil GFP 100%	3

En la tabla 3 se presentan los resultados de los ensayos de solidez al sudor ácido y alcalino a los que se sometieron las tinturas de palma de la especie *brahea dulcis*.

Tabla 4: Resultados de los ensayos solidez al sudor.

No.	**Colorante**	**Solidez sudor**			
		Ácido		Alcalino	
		Algodón	Poliéster	Algodón	Poliéster
01.	Amarillo Artisil 2GN 100%.	3	4	3-4	4
02.	Negro sandocryl B-LM 200%	3	4	3	4

03.	Azul sandocryl BRLE 300%	2	3	2	3
04.	Amarillo oro sandocryl BRLE 200%	3-4	4	4	4
05.	Verde sandocryl M 150%	2-3	3	3	3
06.	Rojo brillante sandocryl B4GM 300%	1-2	3	2	2
07.	Verde tradicional	3-4	3-4	2-3	3
08.	Azul sandocryl B3G 200%	3	4	2-3	4
09.	Rojo brillante Artisil 2BL 100%	4-5	4-5	4-5	5
10.	Amarillo tradicional	3-4	4	3-4	4
11.	Morado tradicional	1-2	2	1-2	1-2
12.	Rojo sandocryl B6B 100%	2	2	2	2
13.	Azul Artisil BSQ 100%	4-5	4-5	4	4-5
14.	Rojo brillante sandocryl BFM 200%	2	3	2	2-3
15.	Azul Artisil BL 100%	4	4-5	4	4-5
16.	Rosa tradicional	3	3	3	3
17.	Amarillo Artisil 3GL 100%	4-5	4-4	4-5	4-5
18.	Naranja Artisil RL 100%	4	4-5	5	5
19.	Escarlata Artisil GFP 100%	3	3	3	3

Tabla 5: Resultados de los ensayos de solidez al planchado.

No.	**Colorante**	**Solidez planchado**	**Seco**	**Húmedo**
		110°C	150°C	200°C
01.	Amarillo Artisil 2GN 100%	5	4-5	4-5
02.	Negro sandocryl B-LM 200%	5	5	5
03.	Azul sandocryl BRLE 300%	5	5	5
04.	Amarillo oro sandocryl BRLE 200%	5	4-5	4-5
05.	Verde sandocryl M 150%	5	4-5	4-5
06.	Rojo brillante sandocryl B4GM 300%	5	5	5
07.	Verde tradicional	4-5	4	3-2-3
08.	Azul sandocryl B3G 200%	5	5	5
09.	Rojo brillante Artisil 2BL 100%	5	4-5	4-5
10.	Amarillo tradicional	5	5	5
11.	Morado tradicional	4-5	4-5	4-5
12.	Rojo sandocryl B6B 100%	5	5	5
13.	Azul Artisil BSQ 100%	5	5	4-5
14.	Rojo brillante sandocryl BFM 200%	5	5	5

15.	Azul Artisil BL 100%	5	5	5
16.	Rosa tradicional	4-5	4-5	4-5
17.	Amarillo Artisil 3GL 100%	5	5	5
18.	Naranja Artisil RL 100%	5	5	5
19.	Escarlata Artisil GFP 100%	5	4-5	4-5

Análisis de experimentos.

Se presentan los análisis de varianza de las pruebas de solidez al frote y al sudor. El efecto de cada color es comparado entre cada uno como se muestra en las tablas siguientes.

Tabla 6: Comparación de resultados de los ensayos de solidez al frote de los colorantes amarillos evaluados.

No.	Colorante	Medio Húmedo	Efecto Húmedo	Medio Seco	Efecto Seco
1.	Amarillo Artisil 2GN 100%	4.5	0.375	5	0.625
2.	Amarillo oro sandocryl BRLE 200%	4	-0.125	4.5	0.125
3.	Amarillo tradicional	3.5	-0.625	3.5	-0.875
4.	Amarillo Artisil 3GL 100%	4.5	0.375	4.5	0.125

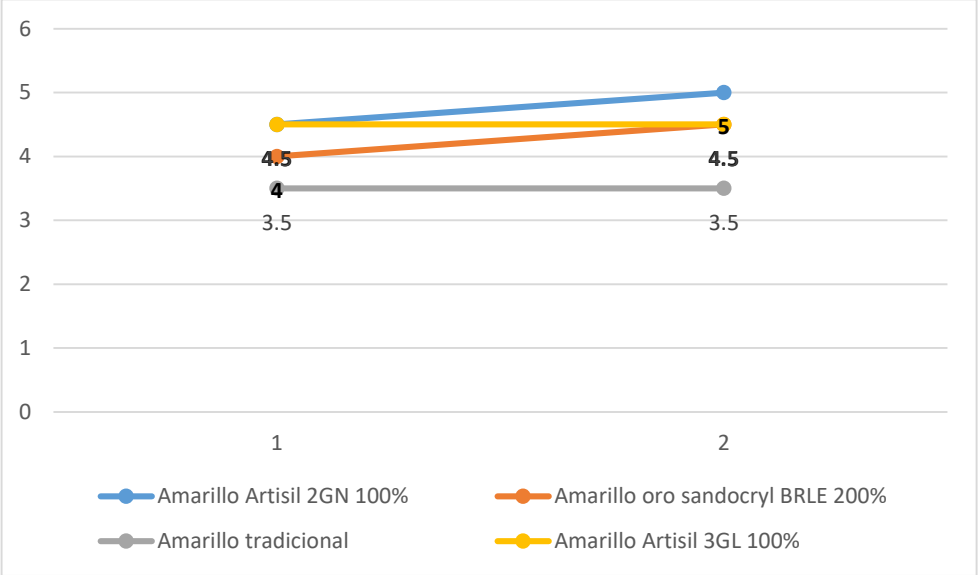


Figura 1: Análisis de los ensayos de solidez al frote de colorantes amarillos evaluados.

Fuente: Elaboración propia del autor

En la gráfica anterior observamos que el amarillo Artisil 2GN 100% es el que presenta un mejor comportamiento en la prueba de solidez al frote tanto en húmedo como en seco. Le sucede el amarillo Artisil 3GL 100%, superando estos dos colorantes al amarillo tradicional y al amarillo oro sandocryl BRLE 200%. El amarillo tradicional presenta la misma solidez al frote tanto en húmedo como en seco.

Tabla 7: Comparación de resultados de los ensayos de solidez al frote de los colorantes rojos evaluados.

No.	Colorante	Medio Húmedo	Efecto Húmedo	Media Seco	Efecto Seco
1	Escarlata Artisil GFP 100%	2.5	-0.5	3	-0.583
2	Rojo brillante Artisil 2BL 100%	4	1	4	0.416
3	Rojo brillante sandocryl B4GM 300%	5	2	4.5	0.916
4	Rojo sandocryl B6B 100%	2	-1	4	0.416
5	Rojo brillante sandocryl BFM 200%	3.5	0.5	4.5	0.916
6	Rosa tradicional	1	-2	1.5	-2.083

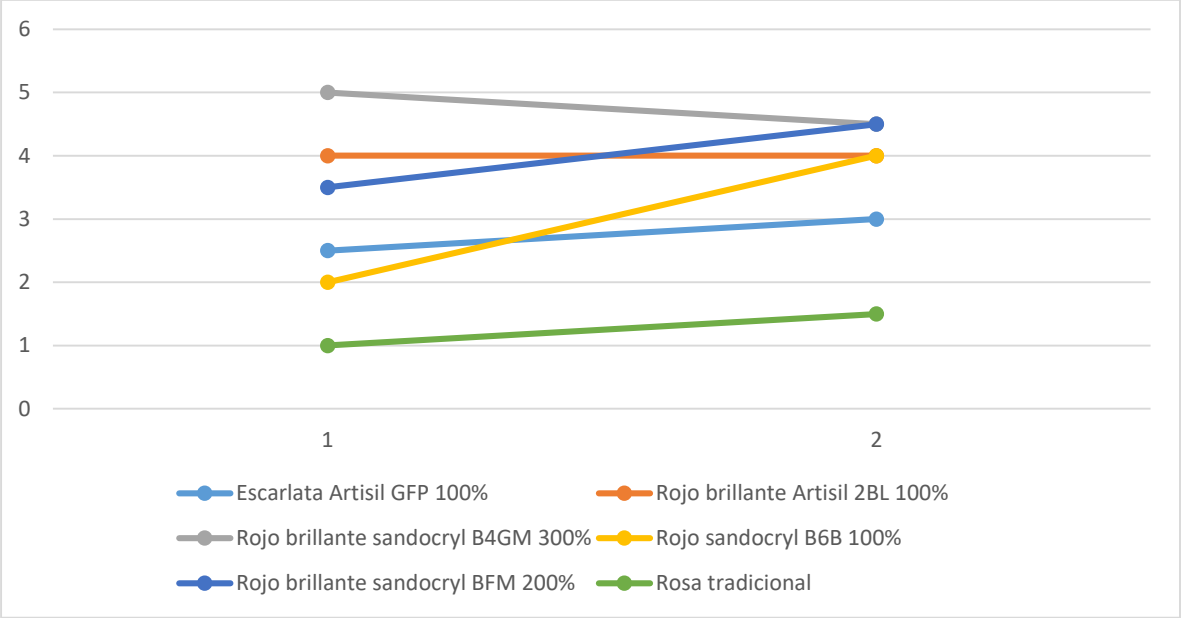


Figura 2: Análisis de los ensayos de solidez al frote de los colorantes rojos evaluados.
Fuente: Elaboración propia del autor

El rojo brillante sandocryl B4GM 100%, es el que presentó la mejor resistencia al frote, seguido del rojo brillante Artisil 2BL cuando la muestra está húmeda, la misma tendencia presenta el rojo brillante sandocryl BFM 100% cuando se realiza el frote en seco. El colorante rosa tradicional presenta la solidez más baja.

Tabla 8: Comparación de resultados de los ensayos de solidez al frote de los colorantes verdes evaluados.

No.	Colorante	Medio Húmedo	Efecto Húmedo	Media Seco	Efecto Seco
1.	Verde sandocryl M 150%	3,5	1,25	4,0	1,5
2.	Verde tradicional	1,0	-1,25	1,5	-1,5

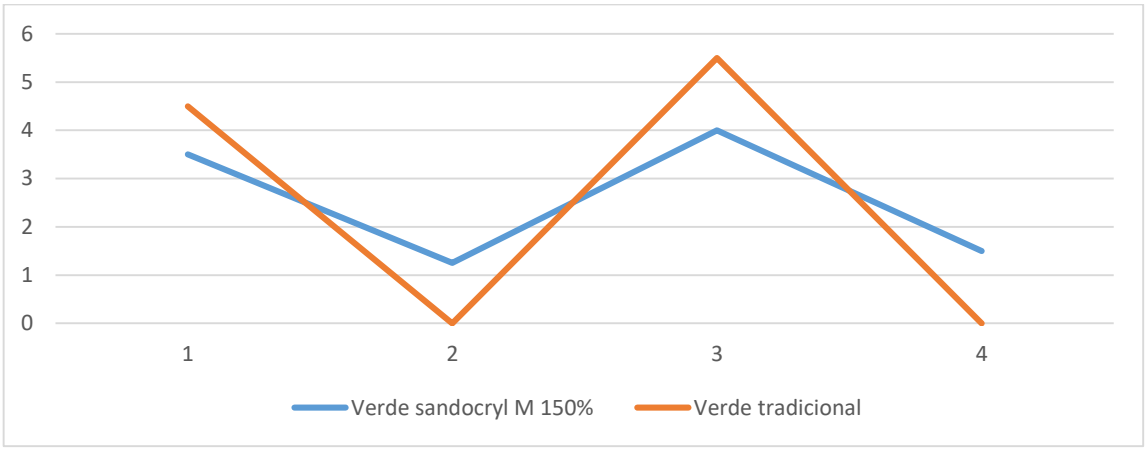


Figura 3: Comparación de resultados de los ensayos de solidez al frote de los colorantes verdes evaluados.
Fuente: Elaboración propia del autor

Se observa que el teñido con verde sandocryl M 150% tiene una mayor solidez al frote que el teñido con el verde tradicional, el mismo efecto se observa en la prueba de solidez al frote en húmedo.

Tabla 9: Comparación de resultados de los ensayos de solidez al frote de los colorantes azules evaluados.

No.	Colorante	Medio Húmedo	Efecto Húmedo	Media Seco	Efecto Seco
1.	Azul Artisil BSQ 100%	4	-0.5	4.5	0.125
2.	Azul Artisil BL 100%	4.5	0	4	-0.375
3.	Azul sandocryl B3G 200%	4.5	0	4	-0.375
4.	Azul sandocryl BRLE 300%	5	0.5	5	0.625

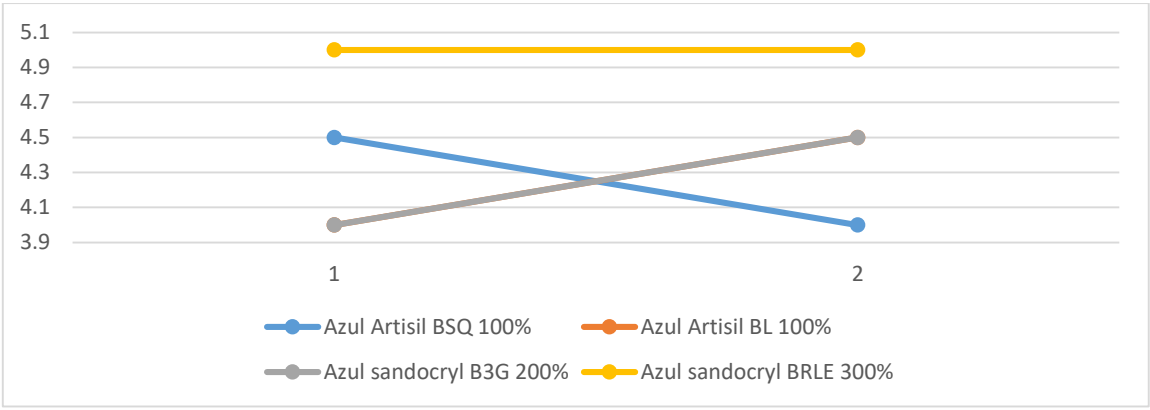


Figura 4: Análisis de los resultados de los ensayos de solidez al frote de los colorantes azules evaluados.
Fuente: Elaboración propia del autor

El teñido realizado con el azul sandocryl BRLE 300% es el que tiene mejor solidez al frote, tanto en húmedo como en seco, sin embargo, se recomienda como segunda opción al azul sandocryl B3G 200% y al azul Artisil BL 100%.

Tabla 10: Comparación de los resultados de los ensayos de solidez al sudor de los colorantes amarillos evaluados.

No.	Colorante	Media (sudor ácido) Pes	Media (sudor ácido) Co	Efecto (sudor ácido)	Media (sudor alcalino) Pes	Media (sudor alcalino) Co	Efecto (sudor alcalino)
1	Amarillo Artisil 2GN 100%	4	3	0 / -0,625	4	3,5	-0,125 / -0,375
2	Amarillo oro sandocryl BRLE 200%	4	3,5	0 / -0,125	4	4	-0,125 / 0,125
3	Amarillo tradicional	4	3,5	0 / -0,125	4	3,5	-0,125 / -0,375
4	Amarillo Artisil 3GL 100%	4	4,5	0 / 0,875	4,5	4,5	0,375 / 0,625

Pes: tejido de acompañamiento de poliéster. **Co**: tejido de acompañamiento de algodón.

En la tabla anterior se observa que el mejor colorante en la solidez al sudor ácido con tejido de acompañamiento de algodón, es el amarillo Artisil 3GL 100%. También posee la mejor solidez al sudor alcalino tanto en poliéster como en algodón.

Tabla 11: Comparación de resultados de los ensayos de solidez al sudor de los colorantes verdes evaluados.

No.	Colorante	Media (sudor ácido)	Efecto (sudor ácido)	Media (sudor alcalino)	Efecto (sudor alcalino)
		pes	co	Pes	co
1.	Verde sandocryl M 150%	3	2,5	-0,25	-0,5
2.	Verde tradicional	3,5	3,5	0,25	0,5

Pes: tejido de acompañamiento de poliéster. **Co:** tejido de acompañamiento de algodón.

Tabla 12: Comparación de resultados de los ensayos de solidez al sudor de los colorantes azules evaluados.

No.	Colorante	Media (sudor ácido)	Efecto (sudor ácido)	Media (sudor alcalino)	Efecto (sudor alcalino)
		pes	co	Pes	co
1.	Azul Artisil BSQ 100%	4,5	4,5	0,5	1,125
2.	Azul Artisil BL 100%	4,5	4	0,5	0,625
3.	Azul sandocryl B3G 200%	4	3	0	-0,375
4.	Azul sandocryl BRLE 300%	3	2	-1	-1,375

Pes: tejido de acompañamiento de poliéster. **Co:** tejido de acompañamiento de algodón.

El colorante azul Artisil BSQ 100% es el que mejor solidez al sudor ácido presentó, y en la solidez de sudor alcalino solo en tejido de acompañamiento de poliéster presentó buena solidez. Se recomienda utilizar también el azul Artisil BL 100%, ya que cuenta con buena solidez al sudor ácido y alcalino en los dos tejidos de acompañamiento.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el teñido de la fibra de *Brahea dulcis* con colorantes básicos y dispersos permiten establecer comparaciones relevantes con investigaciones recientes en el área textil. De acuerdo con Omar et al. (2024), la síntesis de colorantes dispersos tipo azo aplicados en poliéster mostró alta solidez al frote y al lavado, además de mayor intensidad cromática que los colorantes comerciales. Estos hallazgos resultan consistentes con lo observado en la fibra de palma, en la que los colorantes dispersos proporcionaron una fijación adecuada y un incremento en la viveza del tono, confirmando la eficacia de su aplicación en fibras vegetales poco estudiadas.

En relación con los mecanismos de fijación, Jeong et al. (2023) demostraron que los colorantes dispersos reactivos con grupos isocianato bloqueados alcanzaron mayor solidez en algodón, PET y nylon, con un valor de K/S de 2.1 en algodón a 210 °C. Aunque la fibra de palma no soporta temperaturas tan elevadas, los resultados aquí obtenidos indican que con procesos de dispersión controlada también se logra una solidez aceptable, lo que refuerza la idea de que la optimización de parámetros de aplicación puede compensar las diferencias estructurales entre fibras.

Por su parte, Riaz et al. (2024a) evaluaron la modificación química de celulosa con reticulantes bifuncionales, logrando buenos niveles de solidez en tejidos tratados. Este comportamiento se asemeja a lo observado en la palma, donde los pretratamientos resultaron decisivos para mejorar la penetración de los colorantes, aunque en el presente estudio no se requirió de reticulantes adicionales. En un segundo trabajo, Riaz et al. (2024b) señalaron que la modificación de mezclas poliéster/algodón con diisocianatos incrementó los valores de K/S, algo que coincide con la evidencia de que tratamientos previos mejoran la absorción de colorante en fibras de distinta naturaleza.

Un aspecto importante es el empleo de colorantes derivados de fuentes naturales. Según Mohamed et al. (2023), los derivados de curcumina aplicados en poliéster no necesitaron mordientes y lograron excelente solidez, especialmente en tonos amarillos. Este resultado contrasta con la fibra de palma, donde los mordientes sí fueron necesarios para obtener estabilidad en algunos tonos básicos, lo que sugiere que la composición lignocelulósica impone limitaciones adicionales.

Elapasery et al. (2021) compararon el teñido de poliéster a baja y alta temperatura con colorantes dispersos, observando mejor absorción a mayor temperatura, aunque la solidez a la luz se mantuvo moderada. Algo similar se evidenció en la palma: aunque la solidez al frote y sudor fue satisfactoria, la resistencia a la luz fue más baja, lo que confirma que este sigue siendo un reto común en tinturas con dispersos. En esa misma línea, Abdelmoteleb et al. (2023) reportaron que sus colorantes monoazo presentaron excelente solidez al lavado y frote, pero una resistencia moderada a la luz, tendencia que coincide plenamente con lo documentado en este trabajo.

En cuanto a la estructura del sustrato, Alam et al. (2023) observaron que las microfibras de poliéster requieren mayor cantidad de colorante para alcanzar el mismo tono que fibras convencionales, aunque con menor solidez al lavado. Este hallazgo resulta comparable con la fibra de palma, que demandó ajustes en la concentración de colorante para lograr uniformidad cromática, reflejando que la morfología del sustrato es determinante en el consumo de tinte.

Li et al. (2022) demostraron que los colorantes azo con grupos urea aplicados en nylon mejoran la solidez al lavado y sublimación respecto a controles. Aunque la palma no es un sustrato polimérico de alto desempeño, los resultados de este estudio muestran un paralelismo en cuanto a la mejora de la fijación cuando se optimizan las condiciones de aplicación.

Al-Etaibi y El-Apasery (2024) revisaron las propiedades de colorantes dispersos basados en enaminonas, destacando no solo su buena solidez sino también efectos antimicrobianos y protección UV con el uso de nanopartículas. Este aspecto contrasta con la experiencia en la palma, donde no se evaluaron tales propiedades adicionales, pero abre una línea interesante para investigaciones futuras al considerar la funcionalización de fibras vegetales.

En el ámbito cromático, Ibrahim y Rizk (2021) desarrollaron colorantes magenta con pirazolonas, que mostraron brillo y buena nivelación en poliéster. Tales resultados se asemejan a los de este trabajo, en el que los colorantes básicos proporcionaron tonos intensos y homogéneos, confirmando que las características químicas del colorante son tan relevantes como las del sustrato. A su vez, Bakan y Karcı (2022) lograron tonos amarillos, naranjas y rojos en PET, PLA y nylon con colorantes tipo pirazol, con solidez aceptable; estos hallazgos coinciden con la evidencia en palma, donde también se obtuvieron tonos cálidos de buena calidad.

Otro punto de interés es la técnica de aplicación. Zhao et al. (2023) evaluaron la compatibilidad de colorantes dispersos en dióxido de carbono supercrítico, logrando absorciones entre 70 y 90%. Aunque en el caso de la palma se emplearon métodos convencionales en baño acuoso, la comparación indica que el control de condiciones fisicoquímicas del medio es clave para optimizar la eficiencia del teñido.

Por su parte, Song et al. (2024) sintetizaron colorantes monoazo con grupos éster, obteniendo tonos azules intensos y excelente solidez, incluso a condiciones severas de pH y temperatura. Aunque en la

palma los tonos azules no fueron predominantes, la tendencia a presentar solidez elevada coincide con lo observado en colorantes dispersos aplicados en esta fibra.

Finalmente, Islam y Fatema (2021) compararon el teñido de poliéster con índigo y con dispersos, concluyendo que ambos alcanzan solidez similar, aunque el índigo ofrece ligera ventaja en algunos parámetros. Esta comparación resulta relevante para la fibra de palma, pues sugiere que los colorantes básicos empleados cumplen un papel equivalente al del índigo en cuanto a fijación y durabilidad, reforzando la validez de integrar prácticas tradicionales y procesos modernos.

CONCLUSIONES

La Mixteca, es una región del estado de Oaxaca donde se encuentran grandes extensiones de palmares de la especie brahea dulcis. Las hojas de esta planta son utilizadas como fibra textil para elaborar diferentes artículos como el sombrero petates, tenates, y otros. Las fibras de palma son tejidas o entrelazadas a mano por campesinos y familias completas en su mayoría indígenas, lo que significa para ellos una fuente de ingresos, con la necesidad de estos productores de artículos de palma de la especie *brahea dulcis*, elaborar sus enseres teñidos con nuevos métodos que superen la calidad de los artículos teñidos tradicionalmente para que su mercado sea más amplio, atractivo y competitivo, ya que el color es el primer aspecto que observan los consumidores al adquirir un artículo terminado.

La fibra de palma se adquiere de los cultivos de palmares por la técnica de corte y recolección, para posteriormente secarla durante 16 horas soleadas, y realizar el deslomado o rajado, después de esta operación la palma esta lista para tejerla o teñirla. Se logró clasificar la fibra de palma con la finalidad de realizar el teñido con colorantes básicos y dispersos, usados en la industria textil para el teñido de fibras acrílicas y poliéster respectivamente, estableciendo la clasificación de la fibra de la siguiente forma:

1.- Amarilla: esta clasificación se les da a las fibras que, durante el proceso de secado, obtuvieron un color amarillento homogéneo, estas fibras se destinarán para el teñido de tonos claros, (amarillos, naranjas) o para elaborar tejidos en color natural.

2.- Verde-amarillo: estas fibras se caracterizan por tener un color verde amarillento en algunas partes de la sección longitudinal de estas, con mayor acentuación en la planta las fibras con estas características se utilizan para teñir tonos medios (rojo, verde, azul.)

3.- Verde seco: el color de esta fibra es totalmente dominante en la sección longitudinal, debido a la falta de tiempo de secado o al humedecimiento de la fibra durante el proceso de secado. Esta fibra se utiliza para el teñido de tonos obscuros (negro).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdelmoteleb, K., El-Apasery, M. A., Wasfy, A., & Ahmed, S. M. (2023). Synthesis of new monoazo disperse dyes for dyeing polyester fabric using two different dyeing methods: Demonstration of their antibacterial and anticancer activities. *Polymers, 15*(14), 3052. https://doi.org/10.3390/polym15143052

Akter, S., Chowdhury, M., Akhter, T., Reza, M. A., & Rahman, S. (2024). Dyeing of cotton woven fabric using sustainable natural dye (date leaves) and bio-mordants. *European Journal of Theoretical and Applied Sciences, 2*(5). https://doi.org/10.59324/ejtas.2024.2(5).54

Alam, M. M., Muntasir, K. S., Saha, A., Afrin, F., & Salma, U. (2023). Comparative study on dyeing conventional polyester and microfibre polyester with disperse dye and evaluate different dyeing effects. *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology, 9*(3). https://doi.org/10.15406/jteft.2023.09.00350

Al-Etaibi, A. M., & El-Apasery, M. A. (2024). A holistic review of 3-dimethylamino-1-arylpropenones based disperse dyes for dyeing polyester fabrics: Synthesis, characterization, and antimicrobial activities. *Polymers, 16*(4), 453. https://doi.org/10.3390/polym16040453

Baaka, N., Khiari, R., & Haji, A. (2023). Ecofriendly dyeing of textile materials with natural colorants from date palm fiber fibrillium. *Sustainability, 15*(2), 1688. https://doi.org/10.3390/su15021688

Bakan, E., & Karcı, F. (2022). Application of some novel pyrazole disperse dyes to synthetic fabrics. *Usak University Journal of Engineering Sciences*. https://doi.org/10.47137/uujes.1095062

Batool, F., Iqbal, N., Adeel, S., Azeem, M., Hussaan, M., & Mia, R. (2024). Sugar beet (*Beta vulgaris* L.) leaves as natural colorant for cotton dyeing using an ecofriendly approach toward industrial progress. *Science Progress, 107*(2). https://doi.org/10.1177/00368504241271737

Datta, D., Das, D., Sarkar, B., & Majumdar, A. (2022). *Lantana camara* flowers as a natural dye source for cotton fabrics. *Journal of Natural Fibers, 20*(1). https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2159604

Elapasery, M., Yassin, F., & Abdellatif, M. E. (2021). Comparison between low and high temperature dyeing of polyester fabrics dyed with disperse dyes derived from enaminones. *Egyptian Journal of Chemistry*. https://doi.org/10.21608/ejchem.2021.91909.4357

Gabardo, R. S., de Carvalho Cotre, D. S., Lis Arias, M. L., Moisés, M., Ferreira, B. T. M., Samulewski, R. B., Hinestroza, J., & Bezerra, F. M. (2021). Surface modification of polyester fabrics by ozone

and its effect on coloration using disperse dyes. *Materials*, *14*(13). https://doi.org/10.3390/ma14133492

Gan, H., Jin, X., & Zhang, J. (2024). A facile approach to fabricate dual-responsive smart natural fibre sensors. *European Polymer Journal*. https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2023.112727

Gonçalves, M. J., Veiga de Oliveira, A. C., Prando, A. C., de Souza, C. K., Valle, R. C. S. C., Barcellos, I. O., & Tavares, L. B. B. (2023). Application of different concentrations of the natural dye potassium norbixinate (annatto) in polyamide 6.6 fabrics. *Natural Product Research*, 1–8. https://doi.org/10.1080/14786419.2023.2280178

Gong, D., Zheng, H., Lv, P., Gao, D., & Zheng, L. (2024). Towards environmental protection and safety coloration process in wool fibers: Role of disperse reactive dyes structure. *Process Safety and Environmental Protection*. https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.03.091

Ibrahim, S. A., & Rizk, H. F. (2021). New class of magenta dyestuffs based on azomethine pyrazolone disperse dyes: Synthesis, characterization, and dyeing performance on polyester fabrics with ultraviolet protection and pH-dependent properties. *Textile Research Journal*, *92*(23–24), 2849–2861. https://doi.org/10.1177/00405175211024636

Islam, M. R., & Fatema, U. (2021). A comparative analysis of polyester fabric properties between dyed with indigo and with disperse dyes. *Journal of Textile Science and Technology*, *7*(2), 77–90. https://doi.org/10.4236/JTST.2021.72007

Jeong, S., Kim, G., Bae, H., Kim, H., Seo, E., Choi, S., Jeong, J., Jung, H., Lee, S., Cheong, I., Kim, J., & Park, Y. (2023). Reactive disperse dyes bearing various blocked isocyanate groups for digital textile printing ink. *Molecules*, *28*(9), 3812. https://doi.org/10.3390/molecules28093812

Koçak, E. D., Ofluoğlu, T., & Tektaş Çelikkanat, Ö. (2024). The effect of knit structure on natural dyeing properties of cotton fabric. *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology*, *10*(3). https://doi.org/10.15406/jteft.2024.10.00374

Li, L., Song, X., Fang, S., Qian, L., & Qian, H. (2022). Urea-containing azo disperse dyes: Synthesis, application, and structure–property relationship for nylon fabrics. *Dyes and Pigments*. https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2022.110239

Liang, Y., Zhu, W., Zhang, C., Navik, R., Ding, X., Mia, M. S., Pervez, M. N., Mondal, M. I. H., Lin, L., & Cai, Y. (2021). Post-treatment of reactive dyed cotton fabrics by caustic mercerization and liquid ammonia treatment. *Cellulose*, *28*(11), 7435–7453. https://doi.org/10.1007/s10570-021-03984-7

Mohamed, F., Ali, N., & Abd El-magied, S. (2023). Dyeing of polyester fabrics with eco-friendly modified natural dyes using IR and ultrasonic methods without mordants or dispersion agents. *Egyptian Journal of Chemistry*. https://doi.org/10.21608/ejchem.2023.242655.8742

Monisha, A., & Parasakthibala, G. (2021). Inverstigation of *Rubia cordifolia* (Indian madder) dye on silk fabric. *Indian Journal of Applied Research*. https://doi.org/10.36106/ijar/7117613

Mousa, A. A., Mohamed, F. A., Abd El-Megied, S. A., & Youssef, Y. A. (2024). Dyeing of synthetic fiber-based wool blended fabrics in supercritical carbon dioxide. *Scientific Reports, 14*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-024-81417-8

Omar, A. Z., Mohamed, A. S., Hamed, E. A., El-Badry, S. M., & El-atawy, M. A. (2024). Synthesis of brilliance disperse dyes derived from antipyrine and their dyeing ability on polyester fabrics for enhanced fastness and color strength. *Fibers and Polymers*. https://doi.org/10.1007/s12221-024-00765-4

Riaz, S., Jabbar, A., Siddiqui, H., Salman, M., & Sarwar, A. (2024). A sustainable process for cotton and polyester/cotton blend dyeing with nucleophilic disperse dyes through chemical modification. *Cellulose*. https://doi.org/10.1007/s10570-024-05820-0

Riaz, S., Jabbar, A., Siddiqui, H., Sarwar, A., Bashir, I., & Choudhary, M. I. (2024). Chemical modification of cellulose and polyester/cellulose blended fabric to make it disperse dyeable: A sustainable approach to achieve dyeing of P/C blend with disperse dyes. *Fibers and Polymers*. https://doi.org/10.1007/s12221-024-00627-z

Song, X., Dai, C., Li, M., Li, M., Hu, L., Wang, Y., Hou, A., & Qian, H. (2024). Preparation of high-performance monoazo disperse dyes bearing ester groups based on benzisothiazole and their dyeing performance on polyester fabrics. *RSC Advances, 14*(1), 67–74. https://doi.org/10.1039/d3ra06452b

Souissi, M., Moussa, A., & Dhaouadi, H. (2024). Valorization of natural dye extracted from date palm pits (*Phoenix dactylifera*) for ecofriendly dyeing of bicomponent polyester filaments. *Fibers and Polymers*. https://doi.org/10.1007/s12221-024-00487-7

Thapa, D. (2023). Improving the efficiency of natural dyes on cotton fabric. *NeuroQuantology, 20*(5). https://doi.org/10.48047/nq.2022.20.5.nq22806

Wang, X.-Y., Fan, Y., & Long, J.-J. (2024). Synthesis of an anthraquinonoid blue dye based on one-pot amination reactions and its coloration in SCF-CO2. *Dyes and Pigments*. https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2024.112029

Yanti, F., Andevita, N. R., & Puspasari, I. (2021). Effect of chitosan pre-treatment on color fastness of cotton fabric with natural dyes from mango leaves extract. *Teknoin, 27*(1). https://doi.org/10.20885/teknoin.vol27.iss1.art2

Younas, T., Tayyaba, N., Ayub, A., & Ali, S. (2021). Textile fabrics and dyes. *Tekstilna industrija*. https://doi.org/10.5937/tekstind2103047y

Zhao, X.-Y., Jun, F., Wang, F., Cao, X., Du, Z.-Q., Wang, Y., & Long, J.-J. (2023). Investigation of the uptake and compatibility behaviors of special disperse dyes developed for sustainable color matching in supercritical carbon dioxide. *Journal of CO2 Utilization*, *72*, 102478. https://doi.org/10.1016/j.jcou.2023.102478