

TEÑIDO DE LANA POR AGOTAMIENTO CON NANOARCILLAS Y EXTRACTOS DE ACHIOTE (*BIXA ORELLANA*)

María Ángeles Bonet Aracil¹, Elmer Arturo Carvajal Endara^{1,2*}, Eva Bou Belda¹, Paola Alexandra Chávez Guerrero³

¹ Universitat Politècnica de València, Grupo de Investigación en la Industria Textil (GILTEX). Departamento de Ingeniería Textil y Papelera. Alcoy, Alicante, España.

² Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Ibarra, Escuela de Diseño, Ibarra-Ecuador

³ Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Ibarra, Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales, Ibarra-Ecuador

*Autor para correspondencia: eacarvajal@pucesi.edu.ec

Recibido: 2020/03/04

Aprobado: 2020/05/29

DOI: <https://doi.org/10.26621/XVI22.2020.06.A08.PUCESI.2550.6684>

RESUMEN

La nanotecnología se aplica para generar nuevas estructuras nanométricas; el objetivo de esta investigación fue desarrollar la formación de un nanopigmento utilizando los colorantes carotenoides del Achiote (*Bixa Orellana*) para optimizar la compactación molecular en el tejido de lana 100%. Para la formación del nanopigmento se utilizaron 10g de nanoarcillas: Trimetil estearil amonio o Montmorillonita, K10, Halloysita y Bentonita hidratadas por separado en 2L de agua desionizada. La concentración fue de 0,005 g/L; luego, con los extractos de achiote previamente separados con hidróxido de sodio y potasio, se hizo una disolución de 10g de pigmento sólido y 10g de colorante líquido por separado en 1L de agua desmineralizada: la concentración fue de 0,01 g/L. La mezcla para el intercambio catiónico entre la nanoarcilla y el pigmento se realiza a una relación $\frac{1}{4}$, es decir, 100ml de nanoarcilla en 400 ml de pigmento sólido. Lo mismo se hizo con el colorante líquido; con el nanopigmento formado se procedió a teñir 17 muestras de tejido de lana. El método utilizado es el experimental; el análisis utilizó medición del color con espectrofotómetro; se valora la solidez al lavado, carga y descarga al frote; se evalúa el factor de protección ultravioleta UPF del tejido. La solidez del color Cie94 Delta-E presenta cambios de color importantes. En lo referente al lavado y al frote, muestran diferencias en su mayoría en escala 5/4 (excelente/muy buena) y mínimas (entre mediana/baja) 3/2; además, los resultados de las mediciones por Espectrofotometría UV-visible del factor de protección solar UVA fueron bajas en la lana por lo que se concluyó que tiene mayor protección de rayos ultravioleta: esto podría representar un menor daño a la piel.

Palabras clave: nanopigmento, nanoarcillas; lana; achiote; solidez; Cie94 Delta-E; UVA.

ABSTRACT

Nanotechnology is used to generate new nanometric structures. The objective of this research was to develop the formation of a nanopigment using the carotenoid dyes from Achiote (*Bixa Orellana*) to optimize molecular compaction in 100% wool tissue. For the formation of the nanopigment, 10g of nanoclays were used: Trimethyl stearyl ammonium or Montmorillonite, K10, Halloysite and Bentonite hydrated separately in 2L of deionized water. The concentration was 0.005 g / L; then, with the achiote extracts previously separated with sodium and potassium hydroxide, a solution of 10g of solid pigment and 10g of liquid dye was made separately in 1L of demineralized water: the concentration was 0.01 g / L. The mixing for the cationic exchange between the nanoclay and the pigment is carried out at a ratio of $\frac{1}{4}$, that is, 100 ml of nanoclay in 400 ml of solid pigment. The same was done with the liquid dye; With the nanopigment formed, 17 wool tissue samples were dyed. The method used is the experimental one; the analysis used color measurement with a spectrophotometer; fastness to washing, loading and unloading to rubbing is assessed; the ultraviolet protection factor UPF of the tissue is evaluated. The Cie94 Delta-E color fastness shows significant color changes. Regarding washing and rubbing, they show differences mostly on a 5/4 scale (excellent / very good) and minimal (between medium / low) 3/2; In addition, the results of the UV-Visible Spectrophotometry measurements of the UVA sun protection factor were low in wool, therefore it was concluded that it has greater protection from ultraviolet rays: this could represent less damage to the skin.

Keywords: nanopigment; nanoclays; wool; achiote; solidity; Cie94 Delta-E; UVA



INTRODUCCIÓN

Las nanoarcillas tienen alta capacidad de intercambio catiónico y permiten la formación molecular de nanopigmento, producido por el enlace atómico con un compuesto orgánico; estos nanocompuestos son materiales mezclados por dos o más componentes. “El material en mayor porcentaje se denomina matriz y al de menor porcentaje carga, estos se combinan en tamaño nanométrico” (Hernández, Flores, Romero, & Palma, 2017, p. 17)

La montmorillonita es un silicato en capas de tipo esmectita que es un mineral valioso para aplicaciones industriales debido a sus altas capacidades de intercambio catiónico, área y reactividad superficial y propiedades de adsorción (Sinha Ray & Okamoto, 2003, p. 1539).

Para la formación de nanocompuestos se consideran materiales de matriz metálica, inorgánica (óxidos metálicos y no metálicos), orgánica (polímeros) entre otras, y cargas de estos mismos materiales. Esto permite obtener nanocompuestos de matriz-carga, metal-metal, metal-inorgánico o inorgánico-metal, orgánico-metal, orgánico-inorgánico, etc. (Hernández et al., 2017, p. 17).

Los investigadores Micó-Vicent, Martínez-Verdú, & Gilbert-Pérez (2010) realizaron la caracterización espectrofotométrica de nanopigmentos basados en arcillas y colorantes orgánicos; cuantifican y determinan el tipo de agregados moleculares de colorante formados sobre sustratos de arcilla; estas son sistemas inorgánicos adecuados para dar cabida a las moléculas orgánicas debido a su capacidad de intercambio catiónico (CEC) de hasta 4 cargas negativas por celda unidad y su relación área/peso (hasta 1000 m²/g) (p.404-408)

La patente realizada por Baena, E., Micó, B. y Martínez (2013) mencionan que: Los nanopigmentos obtenidos resultan de la inserción intracristalina de las moléculas orgánicas dentro de la estructura inorgánica y se refiere a procesos reversibles en los que se involucra un reordenamiento atómico debido a la influencia de las nuevas interacciones (p.6). Además, el método comprende (a) la dispersión de al menos un material inorgánico en agua, y (b) la adición posterior de, al menos, un colorante orgánico solubilizado en agua, en agitación (p.3).

Las interacciones entre el sólido y el colorante podrían resumirse en dos aspectos: en primer lugar, la molécula del colorante tendrá un cambio en su densidad de carga electrónica y en la estructura de conformación al pasar del estado catiónico cuando está en disolución, al estado neutro cuando se adsorbe sobre la partícula del sólido inorgánico (Baena, E., Micó, B., Martínez, 2013, p.7)

Entre las conclusiones más importantes de la investigación de Baena & et al. (2013) se desprenden las siguientes: Se obtiene un nanopigmento con las siguientes propiedades: control de la gama de color, incremento del poder colorante y reducción del impacto ambiental. Para el caso del incremento del poder colorante, la capacidad del material de incrementar la absorción de una superficie, se condiciona a:

- 1.- El coeficiente de absorción molar del nanopigmento es mayor que el del colorante en solución.
- 2.- La dispersión de luz provocada por las nanopartículas y el cubrimiento adicional de la superficie a colorear por el sólido genera mayor opacidad y
- 3.- Las características reológicas y fisicoquímicas del material no impiden obtener dispersiones homogéneas en las tintas, pinturas o matrices en las que se incorpore el pigmento (p. 13).

Otra investigación mejora la “síntesis de nanopigmentos de origen natural para biopolímeros”, consiguiendo que los colorantes orgánicos posean una estructura molecular más resistente y puedan ser aplicados en la industria (Micó-Vicent, 2015, p. 4).

Los estudios de Micó-Vicent, Jordán, Martínez-Verdú, & Balart (2017) utilizan 3 modificadores de superficie: un tensoactivo, agente de acoplamiento (silano) y una sal mordiente (alumbre), combinados con 3 colorantes naturales, mezclados con 2 nanoarcillas montmorillonita y la hidrotalcita; así, consiguen generar nanopigmentos híbridos naturales en una resina biodegradable denominado bionanocompuesto.

Los pigmentos del Achiote natural, según Devia & Saldarriaga (2003), contienen carotenoides en una proporción que varía entre 1.21 a 2.30g (p.10); estos confieren el color y pueden interactuar con las nanoarcillas para mejorar la estabilidad térmica, el rendimiento del color y la estabilidad a la exposición a la luz UV-VIS de tintes naturales y bioresinas. Los mejores materiales bionanocompuestos fueron encontrados en un ambiente ácido de pH [3, 4], pero modificando las nanoarcillas con mordiente y surfactante durante el proceso de síntesis de nanopigmentos. (Micó-Vicent et al., 2017)

En investigaciones realizadas por Montava-Seguí, Carvajal, & Bou-Belda (2019), se realizó el análisis de los tejidos mediante microscopía electrónica de barrido SEM, demostrando así la presencia de nanopigmentos sobre las fibras de algodón (p.193).

La relevancia de este estudio radica en determinar la posibilidad de tintar las fibras de lana con los extractos en forma líquida a) Amarillo (Y), b) Rojo (R) y Pigmento (P) sólido del achiote e incluidos en la matriz de la nanoarcilla; en trabajos anteriores, se utilizó el colorante en polvo previo filtración o procesos de secado con liofilizador, para con estos teñir las fibras. Sin embargo, en el presente estudio se propone teñir las fibras de lana de forma directa con los extractos líquido y sólido del achiote, para comprobar su compactación en la fibra de lana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para tal efecto, se siguió el modelo planteado por la patente de Baena, E., Micó, B., Martínez (2013), utilizando 4 nanoarcillas, 3 tipos de pigmento y el colorante orgánico extraído del achiote en estado sólido y líquido respectivamente, los cuales, al ser mezclados forman un nanocompuesto; luego se procesa mediante teñido por agotamiento normal colocando los auxiliares y cantidades de colorante al 4% por 60 min. para el análisis y evaluación se mide el color con espectrofotómetro, Cie94 Delta-E; se valora la solidez al lavado, carga y descarga al frote, mediante escala de grises y se evalúa el factor de protección ultravioleta UPF del tejido.

Materiales y reactivos

Las muestras de semillas de Achiote (*Bixa Orellana*) se obtuvieron en la provincia Manabí – Ecuador; las nanoarcillas se obtuvieron del proveedor Sigma Aldrich: 682608 Trimethyl Stearyl Ammonium o Montmorillonita, 281522 Montmorillonita K10, 285234 Bentonita y 685445 Halloysita; Agitador magnético MULTIMATIC 5S, Rotavapor BUCHI R114, centrífuga CENTURION SCIENTIFIC C2006, NaOH, KOH, auxiliares de blanqueo y teñido como detergente, carbonato de sodio, peróxido de hidrogeno y ácido acético de NOVACHEM.

Extracción del colorante

Se realizaron 11 extracciones cada una con 40g de semillas más 400ml de acetona en una relación (semillas/solvente) 1/10, en agitación magnética durante 26 horas; el líquido formado se filtró por gravedad con una malla metálica, separando las semillas; el fluido se trasladó de forma directa al balón del Rotavapor para la extracción a 45 °C por 35min. Una vez obtenido el extracto, este se combinó con una solución de NaOH y KOH al 50%-50% (Hidróxido y agua) y se mezcló (por cada ml extracto/5ml solución NaOH y 5ml KOH) durante 45 minutos en baño maría, a una temperatura de 40° a 45°C; la composición se centrifugó por 1 hora a 2200 rpm y se fraccionó en tres partes, que se separaron de forma manual con una pipeta; se consiguió: a) extracto líquido rojo (R), b) líquido amarillo (Y) y c) pigmento sólido (color ladrillo) (P).

En estudios similares obtuvieron el colorante con un álcali (Mosquera, 1989; Jaramillo, 1992), aceites vegetales (Córdoba, 1987; Jaramillo, 1992) y propilenglicol (Jaramillo, 1992) (citado en Devia & Saldarriaga 2003, p. 12) encontrando que el álcali (KOH) permitió obtener mayor rendimiento y calidad de colorante.

Esta investigación se centró en la combinación de nanoarcilla con los sobrenadantes R, Y o P por separado sin efectuar el filtrado. De este modo, estos nanocolorantes se utilizaron para el teñido en fibras de lana, con el fin de posteriormente estudiar su comportamiento; cabe señalar que dichos procesos no se han verificado por otros estudios.

Preparación de la nanoarcilla

Para 12 muestras se hidrató 10 gr de nanoarcillas en 2L de agua desionizada en agitación magnética durante 24 h. a 1200 rpm, con una concentración de 0,005 g/L. Por otra parte, se tomaron 10g de cada uno de los extractos (R), (Y) y (P) de las semillas del achiote y se mezcló en 1 L de agua; obteniendo una concentración de 0,01 g/L, posteriormente se mezcló en una relación 1:4 es decir 100ml de nanoarcilla y 400ml de colorante líquido y/o sólido respectivamente; se obtuvo una disolución de 500ml que se agitó magnéticamente a 1200 rpm por 12horas y luego 1 hora a 45°C en baño maría; lo mismo se efectuó con las demás fracciones obtenidas. A estas soluciones se las denominó nanocompuesto (NC). En función del extracto obtenido se tiene nanocompuesto colorante rojo (NCCR), nanocompuesto colorante amarillo (NCCY) y nanopigmento (NP).

Cabe indicar que las muestras 13 a 15 no contienen nanoarcilla sino solo colorante o pigmento (Sin Nanoarcilla + Y; Sin Nanoarcilla + R; Sin Nanoarcilla + P). En cambio, las muestras 16 y 17 contienen la mezcla de las 4 nanoarcillas y el colorante (Y), y (P) y se les codificó como (4 Nanoarcillas + Y; 4 Nanoarcillas + P). A estos se les comparó con las otras muestras, se verificó el cambio de color y solidez en el tejido después del lavado.

Proceso de tintura

Para la tintura se ha tratado en equipo abierto por agotamiento 17 muestras de tejido de lana 100% blanqueado químicamente y después teñido con 40 ml. de NCCR, NCCY y 0,4 g NP empleando una relación de baño 1/40 más auxiliares según receta y curva de teñido desde 35°C hasta 85° C manteniendo dicha temperatura durante 60 minutos.

Espectroscopia de reflexión

Para comparar mediciones de diferencia de color, se han obtenido los espectros de reflexión de las muestras tintadas usando un espectrofotó-

metro de reflexión MINOLTA CM-3600d. El CIE (2003) introdujo factores de ponderación en las diferencias de ligereza, croma y tonalidad, t^*L^* , t^*C^*ab y t^*H^*ab , de la fórmula CIELAB (CIE, 2004, p. 53), por lo que "CIE94 utilizó la constante $K2 = 0.015$ para aplicaciones textiles" (Lindbloom, 2012), por tanto el análisis se realizó con CIE76 y CIE94.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diferencias de color por espectroscopia

Una forma de medir la diferencia existente entre dos colores es la medida ΔE ; cuanto menor sea el valor ΔE tolerado, más difícil será alcanzar el estándar, pero más fiel será la reproducción. Los valores de ΔE considerados admisibles son muy bajos en cambio 2 y 3,5 son valores perceptibles como 'colores distintos' (Glosario gráfico, n.d.); en tanto que la desviación estándar (DE) muestra el grado de dispersión de los datos con respecto al valor promedio, es decir a menor DS menor dispersión de datos.

Tabla 1. Cálculo de diferencias de color CIELab de Lana Teñida con Nanopigmentos

Nanoarcillas + Colorante Líquido Amarillo Y; Rojo R + Pigmento P sólido	Muestra nº	Nombre	L*	a*	b*	Cie 76 Delta-ΔE	Cie94 Delta-ΔE	Desviación Estándar Promedio DE*ab
	0	Estándar Wo	86,321	0,889	13,546			
Trimethyl + Y	1	Wo_1	85,670	2,408	17,315	4,116	2,566**	0,714****
k10 +Y	2	Wo_2	82,845	6,880	21,463	10,519	6,734	2,022
Bentonita + Y	3	Wo_3	84,606	4,065	16,491	4,659	3,1678**	1,263
Halloysita + Y	4	Wo_4	85,711	3,503	15,790	3,499	2,4611**	0,182****
Trimethyl + R	5	Wo_5	85,498	2,839	16,914	3,980	2,5551**	0,892
k10 +R	6	Wo_6	82,166	10,153	31,152	20,324	12,600	0,560****
Bentonita +R	7	Wo_7	83,458	6,236	26,022	13,873	8,552	1,448
Halloysita +R	8	Wo_8	84,653	5,536	24,497	12,013	7,444	1,061
Trimethyl + P	9	Wo_9	65,681	29,997	51,499	52,093	31,666	3,591
k10 +P	10	Wo_10	64,793	28,802	48,799	49,853	30,219	0,200****
Bentonita + P	11	Wo_11	71,082	22,304	50,715	45,524	27,630	2,133
Halloysita + P	12	Wo_12	65,832	29,819	54,188	53,932	32,726	3,661****
Sin Nanoarcilla + Y	13	Wo_13	83,996	3,631	16,541	4,679	3,0269**	0,911
Sin Nanoarcilla + R	14	Wo_14	78,679	10,501	36,141	25,657	15,589	1,057
Sin Nanoarcilla + P	15	Wo_15	55,138	38,254	53,147	62,744	37,703	1,570
4 Nanoarcilla + Y	16	Wo_16	85,571	2,798	17,744	4,672	2,936**	0,357****
4 Nanoarcilla + P	17	Wo_17	70,224	24,617	50,808	47,018	28,608	3,271

Nota: *valores bajos ΔE considerados admisibles menor a 2; ** Valores ΔE perceptibles como 'colores distintos' 2 a 3.5; (sin*) Valores ΔE con cambio de color muy elevado; ****Desviación estándar óptima; *****Desviación estándar muy dispersa Fuente: (Carvajal, 2020) (Lindbloom, 2012)

En lo referente a la desviación estándar óptima las muestras (Halloysita + Y; k10 +P) seguido de (Trimethyl + Y; k10 +R; 4 Nanoarcillas + Y) indica un agrupamiento de datos homogéneos. en tanto que la peor desviación estándar donde los datos están muy dispersos lo tiene la muestra 12 (Halloysita + P).

Por otro lado, la columna Cie 94 contiene el análisis de datos con mayor precisión que Cie 76 por lo que la evaluación se hace con Cie 94.

Se observa que, si existen cambios de tonalidad en el color, comparando las muestras teñidas con el estándar de lana, se acercan bastante a las muestras teñidas con pigmento amarillo (Y), las que contienen (Trimethyl + Y, Halloysita + Y) pero están fuera de rango con cambios de tono ligeramente superior (k10 +Y Bentonita + Y) en tanto que con el colorante Rojo (R) el Trimethyl + R tiene una tonalidad cercana a 2 lo que resulta en cambio de color comparado con la (k10 +R, Bentonita +R y Halloysita +R) donde se observa un cambio elevado que sobre pasa el rango admisible lo que genera un cambio de color pronunciado.

En lo referente al tratamiento con el pigmento (P) el (Trimethyl + P, k10 +P, Bentonita + P, Halloysita + P), se observa rangos muy elevados de cambio de color en todas las muestras. En tanto que en las muestras sin nanoarcilla se tiene un valor perceptible de cambio de color tal como se presenta en la muestra 13 (Sin Nanoarcilla + Y); pero las muestras 14 y 15 (Sin Nanoarcilla + R, Sin Nanoarcilla + P) presentan valores muy elevados de cambio de color; Sorprende la muestra 16, que con mezcla

de las (4 nanoarcillas +Y) tiene un rango perceptible de cambio de color comparado con la muestra 17 (4 Nanoarcillas + P) que tiene un rango muy elevado de cambio de color. El color obtenido se puede evidenciar en las muestras presentadas en la Figura 1.

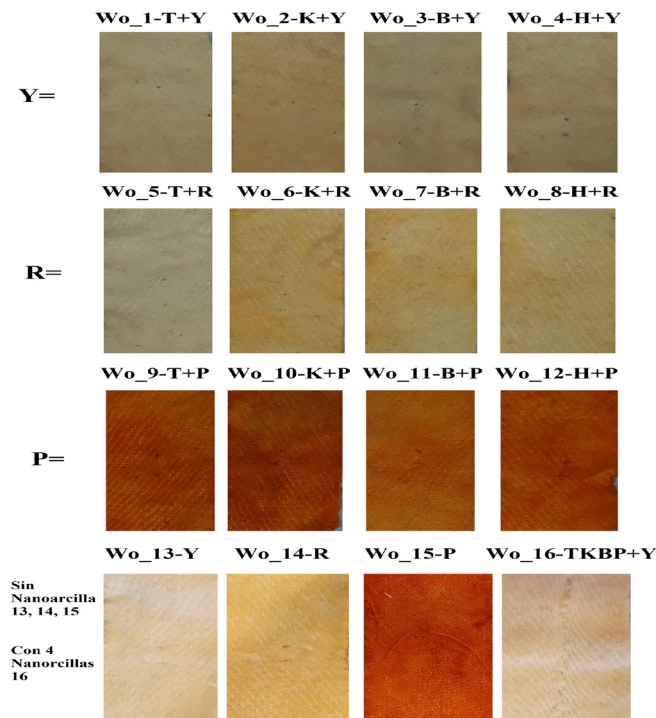


Figura 1. Muestras de lana teñidas con Nanocompuestos NCCY, NCCR y NP
Fuente: Carvajal (2020)

Prueba de factor de protección ultravioleta UPF de los tejidos

Como es bien sabido, existen tres tipos de rayos ultravioletas; su índice de radiación es: UVA, UVB y UVC; los dos primeros penetran la capa de ozono, la epidermis y dermis de la piel; los rayos UVB causan quemaduras y UVA causan bronceados (Nueva dermatología, 2018).

Las mediciones se realizaron en el equipo de medición de rayos ultravioleta UVA de 5 w/m²; se realizan 3 observaciones de 5 segundos cada una. El análisis estadístico se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados de las mediciones del factor de protección solar UVA de la lana

UNTREATED WO_UVA	
Media	Desviación Típica
0,002501587	0,000436811

En el resultado se observó que la lana tiene mayor protección de rayos UVA debido a una penetración baja en el tejido utilizado.

Pruebas de lavado y frote

Se utilizó la Norma UNE-EN ISO 105-C06 para los ensayos de solidez del color al lavado; es así que a las muestras de lana se añadió 10g de detergente en 2000 ml de agua desionizada; se coloca en los botes de lavado 150 ml, se introduce la tela seca y se lava a 40°C por 40 min.

Para las pruebas de frote se realizaron en el Crockmeter modelo CM 1 serie N° CM 8301 Chicago 60613 y la escala de grises producto: 3355 C de C: 0417 y la escala de cambio de color producto: 3305 C de C: 0530, se evaluó el cambio de color, la degradación y descarga en húmedo y en seco según las Normas ISO 105-A02, A03 respectivamente. Los resultados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados Escala de Grises de Lavado y Frote de Tejido de Lana

Nanoarcillas + Colorante Líquido Amarillo Y, Rojo R + Pigmento P sólido	LAVADO DE LANA			FROTE DE TEJIDO LANA en Crockmeter			
	MUESTRA	Testigo de algodón	Testigo de lana	CALIFICACION DESCARGA		CALIFICACION DEGRADACION	
				SECO	HUMEDO	SECO	HUMEDO
NANOCOMPIUESTO							
Trimethyl + Y	1	5	4/5	5	5	5	4/5
k10 +Y	2	5	4	3/4	4/5	5	4
Bentonita + Y	3	5	4	5	5	5	4
Halloysite + Y	4	5	4	5	4/5	5	4
Trimethyl + R	5	5	4/5	5	5	5	5
k10 +R	6	5	4/5	5	5	5	4/5
Bentonita +R	7	5	4/5	5	5	4/5	4/5
Halloysite +R	8	5	4	5	5	4/5	4/5
Trimethyl + P	9	4/5	3/4	4	3	4/5	4
k10 +P	10	4	3/4	4/5	3/4	4/5	4
Bentonita + P	11	4/5	3/4	3/4	2	4/5	3/4
Halloysite + P	12	5	4	4	2	4	3/4
Sin Nanoarcilla + Y	13	5	4	5	4/5	5	4/5
Sin Nanoarcilla + R	14	5	4	2/3	2	4	3/4
Sin Nanoarcilla + P	15	4	3/4	5	5	5	5
4 Nanoarcillas + Y	16	5	4	4/5	5	4/5	4/5
4 Nanoarcillas + P	17	4/5	4	4	3/4	4	4/5

Fuente: Carvajal (2020)

Los resultados obtenidos en lo referente al frote muestran diferencias en su mayoría en escala 5/4 (excelente/muy buena) y mínimas (entre mediana/baja) 2/3 como se observa la Tabla 3, lo que demuestra el cambio de tonalidad medido en la escala de grises la descarga al frote se evidencia con un valor de 2 para las muestras (Bentonita + P; Halloysita + P; Sin Nanoarcilla + R); esto indica que es bajo por lo que hay cambio de tonalidad.

El lavado se realizó una sola vez y se observó que las muestras (Trimethyl + P; k10 +P; Bentonita + P) presentaron un cambio de tono regular de ¾ en el testigo de lana que en el de algodón lo que induce a que se observe cierto sangrado de colorante.

Se observó que se forma el nanopigmento confirmando que tienen alta prestación de intercambio catiónico y que fue mencionado por Sinha Ray & Okamoto, (2003); también se confirma lo dicho por Baena, Viqueira, Gilabert, & Martínez (2010) quienes realizaron la caracterización espectrofotométrica de nanopigmentos, aspecto que se puede corroborar con los resultados obtenidos de CIELab 94 y que se encuentran en la Tabla 1.

En ese contexto, el método experimental se afianza en la propuesta de Baena, E., Micó, B., Martínez (2013) al mencionar que los “nanopigmentos” resultan de la inserción intracristalina de las moléculas orgánicas dentro de la estructura inorgánica, literales a) y b); esto se confirma con el proceso experimental donde se produce la formación cristalina del nanopigmento y que se visualiza en la Figura 2.

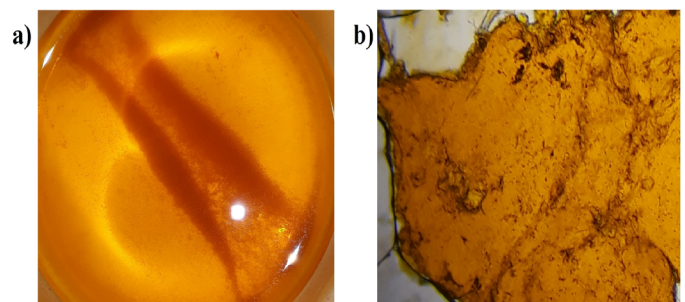


Figura 2. a) Formación de Nanocolorante de achiote; b) Vista al microscopio formación Nanoarcilla + colorante Rojo + achiote. Fuente: Archivo fotográfico Carvajal (2020)

CONCLUSIONES

Se obtuvo la formación de nanopigmentos y nanocolorantes con la mezcla catiónica de la nanoarcilla y los extractos del achiote, lo que posteriormente permitió teñir el tejido de lana 100%, al que luego de las pruebas de color Cie94 determinan que el Trimethyl + Y, Halloysita + Y, Trimethyl + R presentan valores bajos ΔE considerados admisibles; en tanto que la Bentonita + Y, Sin Nanoarcilla + Y, 4 Nanoarcillas + Y presentan Valores ΔE perceptibles como 'colores distintos' y comparado con los demás se encuentran fuera de rango y presentan Valores ΔE con cambio de color total, lo que demuestra presencia del colorante en el tejido.

El análisis estadístico de las mediciones del factor de protección solar UVA en la lana tiene una desviación típica de 0,000436811 y una media de 0,002501587 en todas las mediciones, por lo que se concluye que el tejido de lana tiene mayor protección de rayos ultravioleta.

Los cambios de color también demuestran que el Nanopigmento NP proveniente del pigmento sólido del extracto de achiote da un color mucho más uniforme al tejido, presentando una coloración tipo ladrillo, en tanto que el colorante rojo terminó con una coloración amarillenta, a diferencia del colorante amarillo, que fue el que menos se fijó en la fibra dando tono blanco amarillo; se concluye así que el pigmento tiene mejor grado de fijación en la lana incluso comparado con la muestra (15) que no contenía nanoarcilla, pero que mantiene el mismo color con cierto grado de diferencia.

La evaluación al frote con escala de grises permitió identificar en la descarga en húmedo que la Bentonita + P, Halloysita + P, Sin Nanoarcilla + R presentaron valores bajos por lo que hay cambio de tonalidad muy evidente; esto hace que el Pigmento sólido presente uniformidad en el color, pero produce descarga al testigo de la muestra, lo cual sugiere la posibilidad de que el colorante no esté firmemente fijado a la fibra, ocasionando por ende manchas en las prendas.

El lavado se realiza una sola vez y se observa que las muestras que se prepararon con Pigmento sólido (P) son comparables en color con la muestra 15 (Sin nano +P) por presentar un tono parecido y datos similares entre 4 y $\frac{3}{4}$; en definitiva, es el pigmento sólido el que tiene mejores resultados de tonalidad de color, por lo que se concluye que el pigmento -al contener Bixina- presenta un claro comportamiento: esta no se disuelve en el agua, por tanto una parte se queda en la fibra y lo demás se desprende en el lavado.

Las muestras 13 a 15 presentaron un tono bajo en relación a las muestras teñidas con nanopigmentos, debido a que no fueron sometidas a la acción catiónica con nanoarcillas, demostrando además que tienen una baja presencia de colorante en el tejido, lo que podría mejorar si se utiliza nanoarcillas, aunque la tonalidad de la muestra 15 sí presenta características de color similares a las muestras 9 a 12.

Para evitar un desprendimiento del colorante en la fibra y mejores resultados de fijación, resulta recomendable utilizar los elementos propuestos por Micó-Vicent, Jordán, Martínez-Verdú, & Balart (2017), que utilizaron 3 modificadores de superficie: un tensoactivo, agente de acoplamiento (silano) y una sal mordiente (alumbre) y que se puede combinar con el extracto de achiote y reforzar con dos 2 nanoarcillas montmorillonita y la hidrotalcita.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baena, E., Viqueira, V., Gilabert, E., & Martínez, F. (2010). Caracterización espectrofotométrica de nanopigmentos basados en arcillas y colorantes orgánicos.
- Baena, Micó, & Martínez. (2013). Patent No. WO 2013110841 A1. Retrieved from <https://patentimages.storage.googleapis.com/42/04/3e/53156911aebc5f/ES2421303A1.pdf>
- Carvajal, E. (2020). Archivo de Tablas, Fotografías, Gráficos, Ilustraciones, Ecuaciones, Tesis Doctoral UPV.
- CIE. (2004). CIE15 Technical Report Colorimetry. In COMMISSION INTERNATIONALE DE LECLAIRAGE, Colorimetry, 3rd Edition (Vol. 552). <https://doi.org/ISBN 3 901 906 33 9>
- Devia, J., & Saldarriaga, L. (2003). Planta piloto para obtener colorante de la semilla de achiote (Bixa orellana). *Revista Universidad EAFIT*, 39(131), 8–22.
- Diccionario Gráfico. (n.d.). Delta E, ΔE I Glosario gráfico. Retrieved March 4, 2020, from <http://adaptivethemes.com/> website: http://www.glosariografico.com/delta_e
- Hernández, J., Flores, S., Romero, F., & Palma, A. (2017). Modelación del comportamiento mecánico del nanocompuesto de Poliestireno-Montmorillonita, mediante la técnica de nanoindentación (Centro de Investigación en Materiales Avanzados CIMAV). Retrieved from <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/750>
- Lindbloom, B. J. (2012). Color Difference Calculator. Retrieved March 4, 2020, from Bruce Lindbloom.com website: http://brucelindbloom.com/index.html?Eqn_DeltaE_CIE94.html
- Micó-Vicent, B. (2015). Optimización de la síntesis de nanopigmentos de origen natural para biopolímeros mediante el uso del diseño de experimentos. Universidad Politécnica de Valencia.
- Micó-Vicent, B., Martínez-Verdú, F., & Gilabert-Pérez, E. (2010). Estudio preliminar sobre la incorporación y/o síntesis de nanopigmentos para la tinte en CO₂ supercrítico. In IX CONGRESO NACIONAL DEL COLOR ALICANTE 2010 (p. 425). Retrieved from <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/16497#vpreview>
- Micó-Vicent, Jordán, J., Martínez-Verdú, F., & Balart, R. (2017). A combination of three surface modifiers for the optimal generation and application of natural hybrid nanopigments in a biodegradable resin. *Springer*, 52, 889–898. <https://doi.org/10.1007/s10853-016-0384-8>
- Montava-Seguí, I., Carvajal, E., & Bou-Belda, E. (2019). Tintura de tejido de algodón con colorante de achiote en nanoarcillas de montmorillonita K10. In S. L. Compobell (Ed.), VII Congreso I+D+i Campus de Alcoi. Creando sinergias (pp. 191–194). Valencia. *Nuevadermatología*. (2018). Protección Solar. Retrieved June 16, 2019, from <http://www.nuevadermatologia.com.ar/proteccionsolar.html>
- Sinha Ray, S., & Okamoto, M. (2003). Polymer/layered silicate nanocomposites: A review from preparation to processing. *Progress in Polymer Science (Oxford)*, 28(11), 1539–1641. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2003.08.002>