

## Reducción de Electrolitos durante la Tintura del Colorante Negro Reactivo 5 en Algodón 100% con Líquido Iónico

MTA Carlos Alberto López Gómez<sup>1</sup>, MC Josefina Graciela Contreras García<sup>2</sup>, Samantha Esmeralda Bravo Campos<sup>3</sup>

**Resumen:** En este artículo se presentan los resultados del análisis de la tintura realizada con colorante negro reactivo 5 y líquido iónico metil carbonato de tri hexil metil amonio (MCTXMA) para evaluar las interacciones químicas existentes al introducir un agente que modifica el equilibrio tintóreo de las fases presentes. El proceso de tintura del algodón requiere innovación que nos lleve a mejorar la eficiencia de los enlaces químicos formados, para disminuir el impacto ambiental reduciendo residuos, motivo por el cual es necesario implementar nuevas estrategias que nos permitan reducir el consumo de auxiliares dentro del proceso de tintura textil. Con la aplicación de líquidos iónicos se promueve la formación de enlaces químicos más fuertes, presentes en la tintura y con ello se mejora un 50 % el mecanismo de la aplicación del electrolito durante la tintura textil.

**Palabras clave:** Líquido iónico, negro reactivo 5, tintura, tejido algodón 100%.

### Introducción

De acuerdo a Moore (2004) la industria textil tiene el reto de satisfacer los requerimientos cada vez más exigentes de las legislaciones y controles impuestos por los gobiernos y las agencias reguladoras para asegurar el cumplimiento de los términos medio-ambientales. Durante todo el proceso se usan altos volúmenes de agua para los términos de tintura, enjuague y lavado posterior. Los efluentes producidos de la tintura del algodón son altamente contaminados principalmente con sales y colorantes reactivos y reportan altos niveles de Demanda Química de Oxígeno (DQO), por lo que es necesario reducir los niveles del consumo de los componentes del proceso (Castillo, 2019).

En las últimas décadas con el fin de desarrollar los procesos en industria de textil más compatibles con el medio ambiente, comúnmente llamado "textil verde", se observa una tendencia creciente para la aplicación de nuevos fluidos tecnológicos alternativos al agua, específicamente el DyeCoo Textile Systems (2010) tradicionalmente utilizado como un medio para la transformación de un textil. Este enfoque ofrece una serie de ventajas en comparación con los procesos actuales (Gao, 2015) que requieren un gran volumen de agua, más productos químicos y auxiliares, que necesitan etapas adicionales de secado y tratamiento de aguas residuales textiles (Welton, 1999). Durante inicios del año 2000, surgió una nueva clase de solventes verdes, denominados líquidos iónicos. Estos compuestos comenzaron a atraer la atención de los investigadores en todo el mundo, teniendo perspectivas ecológicas e industriales muy prometedoras (Fischer, 1999). Los líquidos iónicos actúan como muchos solventes orgánicos, disuelven especies polares y no-polares y a veces actúan mucho mejor que los solventes comunes (Cevasco, 2014).

A pesar de su potencial, el uso de líquidos iónicos en la industria textil sigue siendo extremadamente limitada (Wassercheid, 2008). Esto puede explicarse en primer lugar por el costo de los líquidos iónicos que limita aplicaciones a gran escala. La segunda razón está relacionada probablemente con la falta de información científica sobre la mayoría de estos solventes. Los estudios de la aplicación de líquidos iónicos en los procesos textiles se realizan con miras a mejorar las actividades de investigación y las aplicaciones industriales (Stasiewicz, 2008).

Cabe recalcar, que es crucial la elección de los cationes y aniones que forman el líquido iónico. En general, los líquidos iónicos están compuestos por un catión orgánico grande y un anión orgánico o inorgánico. El anión tiende a ser deslocalizado con el fin de reducir las interacciones interiónicas y puede ser pequeño o grande molecularmente (Liquiang, 2011). Algunos de los cationes más comunes son los siguientes: a base de Piridinio, Pirazol, Imidazol, Fosfonio, Sulfonio o aminas cuaternarias. De acuerdo con las consideraciones anteriores, se decidió experimentar con un líquido iónico, Metil Carbonato de Tri Hexil Metil Amonio (MCTXMA) en un proceso de tintura con el fin de evaluar el comportamiento en la absorción y fijación de los colorantes azo de tipo reactivo vinilsulfona para determinar la factibilidad de su aplicación a nivel industrial para coadyuvar en la eficiencia del 30 % de los colorantes en el

<sup>1</sup> Carlos Alberto López Gómez MTA es Profesor de Acabados Textiles en la Escuela Superior de Ingeniería Textil del Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México. [calopezgo@ipn.mx](mailto:calopezgo@ipn.mx) (autor corresponsal)

<sup>2</sup> Josefina Graciela Contreras García MC es Profesora de Fibras Químicas en la Escuela Superior de Ingeniería Textil del Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México. [jcontrerasg@ipn.mx](mailto:jcontrerasg@ipn.mx)

<sup>3</sup> Samantha Esmeralda Bravo Campos es estudiante de la licenciatura en Ingeniería Textil de la Escuela Superior de Ingeniería Textil del Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México.

proceso de tintura.

## Metodología

### Metodología experimental de tintura textil

#### Materiales

El sustrato textil es tela tejido plano 100% algodón de 180 g/cm, producido por Kaltex con engomante de almidón de maíz en los hilos de urdimbre. Las enzimas  $\alpha$ -amilasa bacteriana modificada, celulasa neutra, pectinasa y lacasa, proporcionadas por MyM Consultores Químicos, se complementaron con los reactivos químicos acetato de amonio y ácido acético de J.T Baker de grado analítico, el colorante NR-5 o Reactive Black 5 y los fijadores epiclorhidrina y melamina, ambos de Sigma-Aldrich de grado analítico. Además, se utilizaron líquidos iónicos sintetizados (MCTXMA) siguiendo el procedimiento (Valdez et al., 2014).

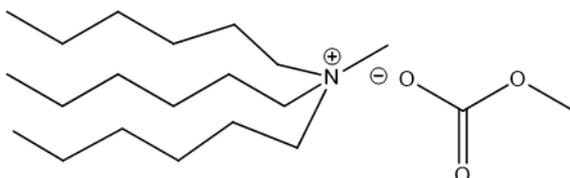


Figura 1. Líquido iónico metil carbonato de tri hexil metil amonio (MCTXMA)

#### Equipos utilizados

Un espectrofotómetro de UV Visible Perkin-Elmer Lambda Bio 20 (100-240 V, 50/60 Hz, 3.15 A) se utilizó para la caracterización de concentración (mg/L) de colorante en el baño residual. Se utilizó el colorímetro CR-410 d/0 Konica Minolta con la iluminación difusa/ángulo de visión  $0^\circ$ , incluyendo un componente especular y un detector fotoceldas de silicio. Como fuente de iluminación, se utilizó una lámpara de xenón pulsada para la caracterización de reflectancia en tela. Un launderómetro M228AA marca SDL-Atlas de 20 vasos metálicos de acero inoxidable se utilizó para aplicación de norma solidez al lavado. Finalmente, el LABOMAT Tipo BFA de la marca Mathis/Suiza con 24 vasos metálicos de acero inoxidable se utilizó para teñido.

#### Preparación del tejido

El sustrato textil fue desengomado, descruado y blanqueado por proceso de agotamiento en equipo Labomat de la marca Mathis/Suiza. El desengomado se realizó con enzima  $\alpha$ -amilasa en relación 0.5% spm con una relación de baño de 1:20, temperatura de  $60^\circ\text{C}$  y tiempo de 45 min. Una vez terminado el proceso se drenó el baño, se enjuagó. El descruado se realizó con enzimas celulasa neutra en relación 3% y pectinasa 6% con una relación de baño de 1:20, temperatura de  $60^\circ\text{C}$  y tiempo de 30 min, y terminado el proceso se drenó el baño, se enjuagó. En el blanqueo se utilizó la otra enzima (Lacase) y peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), basándose en la metodología de Liqiang Tian (2011). Se muestran los resultados en tabla 1.

Tabla 1. Resultados pre tratamiento enzimático

	Inicial	Final	Método
Desengomado	6 % solidos de almidón	0.1 % solidos de almidón	Escala Tegewa
Descruado	4 % de grasas	0.6 % de grasas	Extracción Soxhlet
Blanqueo	L=79.96,a=0.91,b=9.70	L=86.04,a=0.27,b=8.34	Espectrómetro de reflectancia

El pretratamiento enzimático no dañó la fibra, confirmado con las pruebas cualitativas de tintura diferencial. En la figura 1 se puede observar el teñido uniforme del tejido sin formación de los complejos de álcali-celulosa y oxixelulosa. Después de los procesos de preparación por medios biológicos se evaluó, la hidrofiliidad y humectación del sustrato textil, presentando resultados favorables. En la figura 2 se comparan las pruebas de humectación de los sustratos tratados y no tratados por diferentes aplicaciones de gota o vertical.

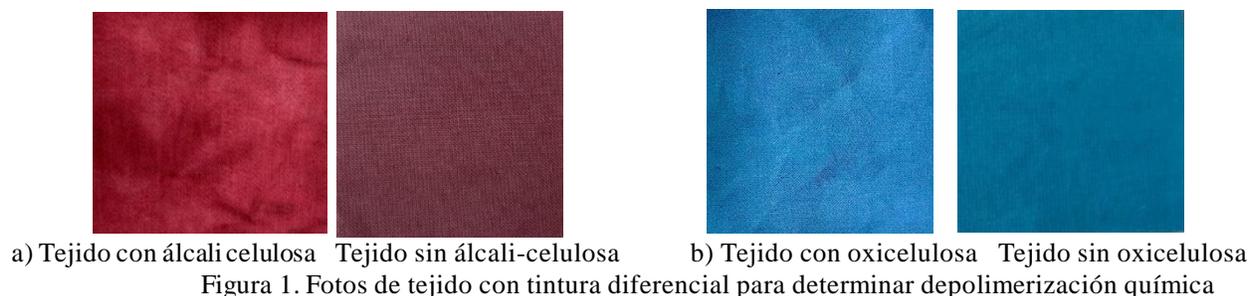


Figura 1. Fotos de tejido con tintura diferencial para determinar depolimerización química

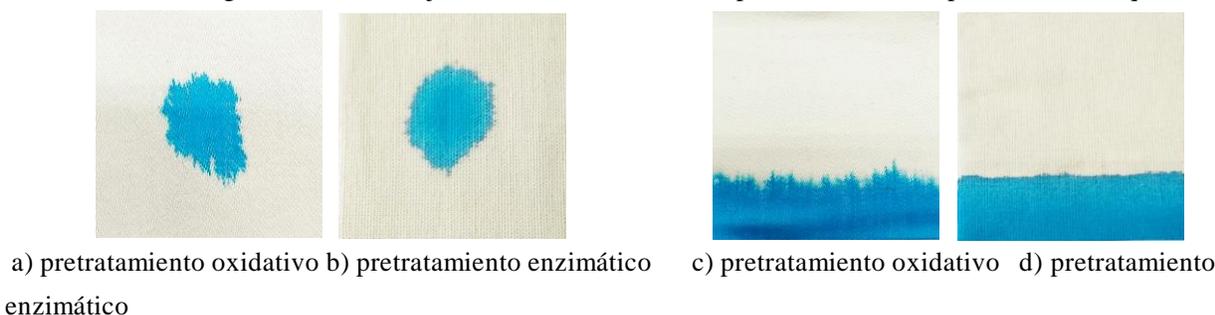


Figura 2. a) hidrofiliidad irregular del tejido no-tratado aplicación por gota; b) hidrofiliidad regular del tejido tratado, aplicación por gota; c) hidrofiliidad irregular del tejido no-tratado, aplicación vertical; d) hidrofiliidad regular del tejido tratado, aplicación vertical

Las moléculas de agua tienen influencia sobre la humectación de las fibras de algodón, en la solubilidad de los colorantes y reactivos, determinando la difusión de estos dentro de la fibra. En la tintura del algodón con colorantes reactivos, los grupos hidroxilos del agua y de la celulosa pueden actuar como componentes nucleofílicos para formar enlaces covalentes con los colorantes reactivos, sin embargo, sin las condiciones adecuadas este procedimiento puede lograr la hidrólisis del colorante reduciendo la fijación del mismo (Amit Madhu & Chakraborty, 2017)

### Tintura

Se calculó para el proceso de tintura concentraciones equimolares de colorante y líquido iónico correspondiente al 5% spm al momento de encontrarse en el medio acuoso con la fibra celulósica, obteniéndose los siguientes resultados: (Negro reactivo 5 = 991.82 g/mol y MCTXMA= 359.59 g/mol).

En una primera instancia se diseñó el proceso experimental con una concentración de 5% de colorante reactivo debido a que se busca comparar el uso de los líquidos iónicos en condiciones iguales a los procesos de tintura comerciales. Los primeros resultados mostraron tinturas no uniformes, lo cual no permitía evaluar la cantidad de color absorbido y fijado por el tejido. Debido a esto se procedió a disminuir la concentración del colorante hasta obtener un color uniforme. Esto se logró con una nueva experimentación que consistió en variar la concentración de colorante (0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0 y 4.5%) manteniendo como constantes la cantidad de agua de ionizada (100 ml), la cantidad de electrolito (60 g/L), el pH (10), el tiempo de tintura 45 min y la temperatura 60°C.

Posterior a la tintura se enjuagó y se secó a temperatura ambiente, y el material se evaluó visualmente con respecto a la uniformidad del colorante absorbido y también se midió la cantidad de colorante absorbido por el tejido por medio del espectrofotómetro de reflectancia de Colorimetría CR-410. De estas evaluaciones se determinó que a una concentración de 1.5 % la uniformidad del color fue mejor, así como la cantidad de color. El proceso de tintura se aplicó en 5 diferentes diseños experimentales A-1 al A-5, que se describen en la tabla 2, esto con el fin de evaluar diferentes variables de proceso de acuerdo a la afinidad del colorante por la fibra con auxiliar, sin auxiliar, con líquido iónico aplicado por impregnación y por proceso tradicional.

Tabla 2. Descripción de experimentos.

Experimento	Abreviatura	Descripción
1	A-1	Método tradicional de tintura con Negro Reactivo 5 (NR-5) con auxiliares (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )(NaOH) y con fijador (epiclorhidrina y/o melamina).
2	A-2	Método nuevo de tintura Negro Reactivo 5 (NR-5) con auxiliares (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )(NaOH) y con líquido iónico (MCTXMA) aplicado como fijador.

3	A-3	Método nuevo de tinte con Negro Reactivo 5 (NR-5) con auxiliares (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )(NaOH) y con líquido iónico (MCTXMA) antes de la tinte.
4	A-4	Método nuevo de tinte Negro Reactivo 5 (NR-5) con líquido iónico como fijador, sin auxiliares.
5	A-5	Método nuevo de tinte Negro Reactivo 5 (NR-5) al 1.5 % de concentración con 30 g/L de electrolito.



Figura 3. Vasos metálicos para tinte



Figura 4. Aplicación de fijadores

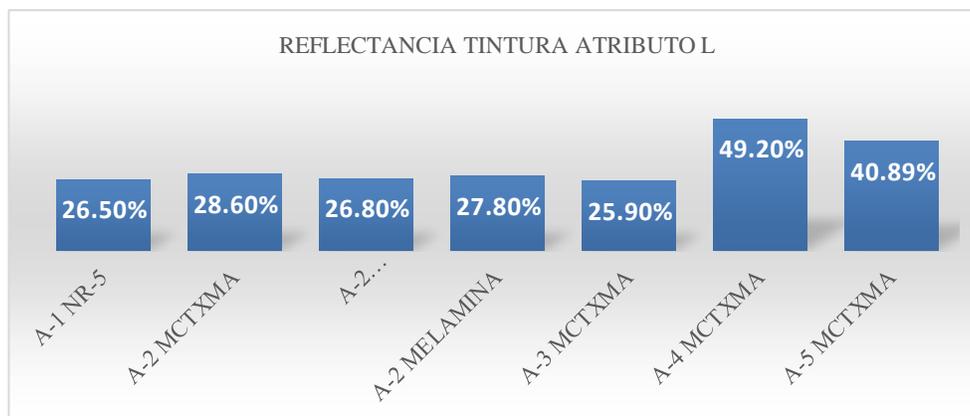
### Resultados y Análisis

#### Evaluación de cantidad de color fijado

En lo referente a la cantidad de color fijado por el tejido se realizaron mediciones con el colorímetro de reflectancia CR-400 de Konica Minolta. Se colocó el colorímetro sobre el tejido en el sentido del pie (hilos) realizando un disparo, se toma la lectura de medición, anotando los parámetros de L, a, b, así como de % reflectancia. Posteriormente se mueve el aparato ahora en el sentido de la trama (pasadas) y se repite la operación. Estas dos operaciones se repiten en ambos sentidos del tejido para posteriormente establecer un promedio de las lecturas obtenidas. Los resultados obtenidos se reportan en la tabla 3.

Tabla 3. Evaluación reflectancia procesos de tinte A-1, A-2, A-3, A-4 y A-5

Muestra	Tinte			Lavado			ΔE
	L	a	b	L	a	b	
A-1 NR-5	26.5%	-0.72	-11.36	34.770	1.410	-16.890	9.97
A-2 MCTXMA	28.6%	-1.1	-11.81	36.660	0.730	-16.990	9.61
A-2 EPICLORHIDRINA	26.8%	-0.66	-11.40	35.090	0.850	-16.350	9.68
A-2 MELAMINA	27.8%	-1.04	-11.24	36.230	0.510	-16.680	10.05
A-3 MCTXMA	25.9%	-0.58	-11.05	34.000	1.480	-16.670	9.89
A-4 MCTXMA	49.2%	-4.64	-9.50	64.620	-2.220	-10.390	15.67
A-5 MCTXMA	40.89 %	-1.42	-15.90	45.64	-1.60	-16.04	5.63



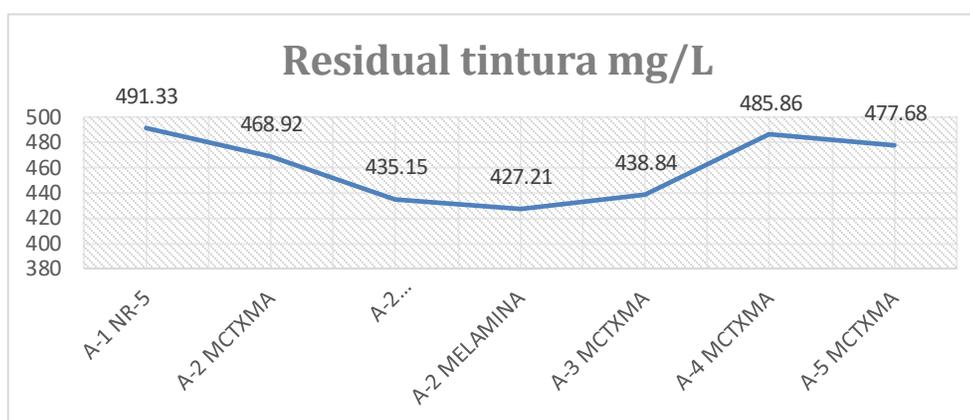
#### Evaluación de presencias de colorantes en soluciones acuosas.

Para determinar las partes ppm de colorantes en las diferentes etapas del proceso se realizaron mediciones con el Espectrofotómetro de UV Visible Perkin-Elmer Lambda Bio 20, de características 100-240 voltios, 50/60 Hz, 3.15 A.

En el caso de los residuales de tinte se llevaron a dilución solo una vez tomando 1 mL del residual y mezclándolo con 10 mL de agua de ionizada para su posterior medición. En el caso de los residuos del enjuague, así como los residuos del proceso de lavado para determinar la solidez, se midieron de forma directa, sin ninguna dilución. Para determinar la cantidad de colorante que absorbió y fijó cada proceso, se realizó por la medición de la concentración inicial de los mg/L. Posteriormente se restaron las concentraciones de la sumatoria del residual de tinte, el residual de enjuague y el residual de lavado, permitiendo obtener la concentración del colorante retenido por el tejido en cada variante aplicada. Los resultados obtenidos se encuentran en la tabla 4.

Tabla 4. Evaluación de colorante residual procesos A-1, A-2, A-3, A-4 y A-5

Experimento	Tintura mg/L	Residual tinte mg/L	Residual enjuague mg/L	Residual lavado mg/L	Fijado mg/L	No absorbido mg/L
A-1 NR-5	871.98	491.33	14.75	11.80	354.09	517.89
A-2 MCTXMA	779.75	468.92	27.27	13.56	269.99	509.77
A-2 EPICLORHIDRINA	856.32	435.15	40.56	14.52	366.08	490.24
A-2 MELAMINA	875.23	427.21	41.23	14.87	391.91	483.32
A-3 MCTXMA	780.75	438.84	26.27	14.56	301.07	479.68
A-4 MCTXMA	781.75	485.86	37.27	15.56	243.05	538.70
A-5 MCTXMA	819.94	477.68	46.22	11.31	284.73	535.21



#### Evaluación de solidez del color al lavado y frote

En el caso de la AATCC Test Method 61-2007 Colorfastness to Laundering: Accelerated, se aplicó para evaluar la solidez del color a los textiles que serán susceptibles de lavados constantes. En el caso de la AATCC Test Method 8-2007 Colorfastness to Crocking, se aplicó para evaluar la solidez del color a los textiles que serán susceptibles a la fricción en seco y húmedo. La pérdida de color en el tejido así, como la transferencia, a multifibras se evalúa mediante la escala de grises para manchado de color AATCC Evaluation Procedure 1-2007 para manchado y AATCC Evaluation Procedure 2-2007 para transferencia de color, según la escala de 1 a 5 donde escala 5 representa ningún color transferido al testigo y la 1 mayor cantidad de color transferido. Los resultados se observan en la tabla 5.

Tabla 5. Evaluación Solidez al lavado y al frote seco-húmedo

Muestra	SOLIDEZ AL LAVADO						SOLIDEZ AL FROTE	
	CA	CO	PA	PES	VI	PAN	SECO	HÚMEDO
A-1 NR-5	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4
A-1 NR-5 EPICLORHIDRINA	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
A-1 NR-5 MELAMINA	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
A-2 NR-5	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4
A-2 NR-5 MCTXMA	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
A-3 NR-5 MCTXMA	5	5	5	5	5	5	5	5
A-4 NR-5 MCTXMA	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4
A-5 NR-5 MCTXMA	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5

#### Análisis

Una parte importante para realizar los experimentos exitosamente es la preparación de sustratos, que se utilizaron durante la investigación. Por esa razón, se utilizaron procesos de desengomado, descruce y blanqueo biológico que

no generan de-polimerización. Los colorantes utilizados en esta investigación pertenecen al grupo de los colorantes reactivos. La estructura de este tipo de sustancias contiene los grupos auxocromos con el carácter hidrofílico, capaces de formar enlaces con los grupos funcionales del tejido de celulosa. En la figura 6 se observa la estructura de colorante Reactive Black 5 o NR5, donde los hidroxilos, aminas y sulfonil de sodio representan los grupos auxocromos y los grupos azo ( $N=N$ ) son los cromóforos de la molécula.

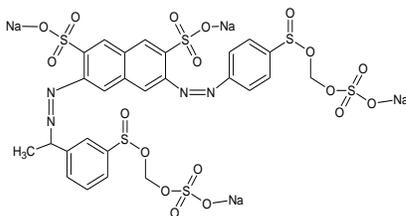


Figura 6. Estructura química de colorante Reactive Black 5 o NR5.

Por los valores obtenidos en la solidez al lavado y al frote, se demostró, que el líquido iónico hace la misma función de los fijadores convencionales, de acuerdo a los resultados obtenidos en los experimentos A-1 y A-2, donde la variación presentada entre el colorante NR-5 por el líquido iónico fue de 1.51 % de reflectancia. En el experimento (A-3) se aplicó el líquido iónico antes de la tintura, en este caso, según los resultados obtenidos por reflectancia la mejora fue del 10 %, la fijación y la solidez de los colorantes reactivos de tipo azo NR-5 se mejoró con un 10 %. En la parte experimental A-4 se procedió a medir la absorción de color en un proceso de tintura, donde solo estaba presente el líquido iónico, el colorante y la fibra textil. El colorante NR-5 demostró una pérdida de color del 50%, aproximadamente, sin el uso de los auxiliares de tintura. Los líquidos iónicos necesitan auxiliares convencionales para que ayuden a la migración del colorante.

### Conclusiones

La presente investigación se realizó con el fin de evaluar el líquido iónico MCTXMA durante la tintura del NR-5 en algodón 100% con el fin de conocer la interacción iónica en el proceso y su repercusión en el mismo. El proceso de teñir tejidos ofrece grandes retos, en busca de la mejora de sus procedimientos industriales, la aplicación del líquido iónico, permite que se realice de una forma, más amigable con el ambiente, al reducir de manera considerable los residuos de color y los auxiliares de teñido. Con ello podemos asegurar que la química aplicada en este procedimiento, resulta alentadora en el proceso industrial así como en el ambiente y la sociedad. Los resultados obtenidos nos demuestran, que, aunque el tono pierde intensidad con respecto a las otras muestras, es posible reducir la concentración de electrolitos no afectando la cantidad de colorante residual en la tintura.

### Limitaciones

Una limitación importante de la presente investigación es con respecto al sustrato en donde se realiza la tintura: al ser un material polimérico no controlado, debido al crecimiento no uniforme de la celulosa durante su cultivo, ello repercute directamente en los resultados que se puedan obtener al replicar la presente experimentación. Pero de alguna manera podemos entender que los resultados obtenidos son un reflejo de lo que se puede obtener en diferentes sustratos de forma que son replicables y hasta cierto nivel alcanzables.

Los investigadores interesados en continuar nuestra investigación podrían concentrarse en dos factores específicos, una matriz pura de celulosa y la selección de líquido iónico, para evaluar su influencia en la tintura textil. Podríamos sugerir que hay un abundante campo todavía por explorarse en lo que se refiere a la selección de líquidos iónicos para la tintura de acuerdo al comportamiento de los colorantes reactivos, ya que pueden formar enlaces débiles tipo puente de hidrógeno y/o ion-dipolo con el agua, por eso, en el baño de tintura el colorante hidrolizado deja interactuar con la superficie de la fibra. La estructura de los colorantes reactivos tiene carácter aniónico, por eso ellos solubilizan en el agua o en los solventes polares y/o proticos; y por esa razón, son repelidos por la superficie de la fibra de algodón, cargada negativamente. Los auxiliares tendrán que promover la migración de colorante hacia la fibra y ayudar a la penetración del colorante hacia el interior de la fibra. La cantidad del electrolito depende del tipo de estructura del colorante, tonalidad requerida y método de su aplicación.

### *Recomendaciones*

Esta línea de investigación abre un panorama importante, en la forma en cómo se realiza la tintura de fibras con líquidos iónicos. Los líquidos iónicos presentan una reacción similar al uso de electrolitos, pero con mayor eficiencia y menor impacto ambiental al ser biodegradables. El líquido iónico MCTXMA, presenta afinidad por la fibra y colorante en diferentes proporciones, sin la adición de auxiliar o el cambio de niveles de pH, y dependiendo del largo de las cadenas alifáticas hidrofóbicas, estas influyen en el grado de fijación del colorante, por sí solo, no tiene suficiente afinidad que lo hace no apto de forma unitaria. De acuerdo a esto concluimos:

1. Experimentar con otros líquidos iónicos, que aumenten la cantidad de líquido iónico absorbido por la fibra, ya que el MCTXMA con valores cercanos al 50%.
2. El MCTXMA presenta una mayor afinidad por el colorante, disminuyendo la formación de puentes de H del colorante y el agua, logrando con esto una mayor agregación del colorante hacia la fibra. El mejor método de aplicación de los LI para el proceso de tintura es por impregnación antes de realizar la tintura, de acuerdo a los resultados obtenidos por el método A-3 comprado contra el A-2. El experimento A-3 presentó una mejor absorción de colorante del 30% más, con respecto a la tintura convencional.
3. La aplicación de líquido iónico al final de la tintura presentó una menor pérdida de colorante con valores del 25%. Probablemente, el LI presentó una atracción tipo dipolo-dipolo con los grupos OH de la celulosa, modificándolos electrostáticamente para atraer colorante hacia la fibra.
4. Al modificar el pH de la solución por adición de álcali, los grupos NH<sub>2</sub> y COOH o OH pueden ser desprotonados, y entonces el colorante busca fijarse por enlace covalente a la celulosa debido a las interacciones de las cargas electrostáticas entre el catión del LI y los grupos sulfonato de los colorantes.
5. El uso de líquidos iónicos durante la tintura aumentó la absorción y fijación de colorantes en 10%, y mostró una tendencia a poder reducir el uso de electrolitos, ya que en el experimento A-4 presentó un cambio en la absorción-fijación del colorante, por lo que podemos suponer que se ve afectado por la presencia del electrolito

### Referencias

- AATCC (2007), *Test Method 61-2007 Colorfastness to Laundering: Accelerated*, American Association of Textile Chemists and Colorists, 86-90.
- AATCC (2007) *Test Method 8-2007 Colorfastness to Crocking*, American Association of Textile Chemists and Colorists, 17-19
- AATCC (2007) *Evaluation Procedure 1-2007*, American Association of Textile Chemists and Colorists, 377-378.
- AATCC (2007) *Evaluation Procedure 2-2007*, American Association of Textile Chemists and Colorists, 379-380.
- Amit Madhu, J.N. Chakraborty (2017), *Developments in application of enzymes for textile processing*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.013>, 117-122.
- Castillo, J. (2019), *Extraction of reactive dyes from aqueous solutions by halogen-free ionic liquids*, [https:// DOI: 10.1111/cote.12429](https://doi.org/10.1111/cote.12429), 417-418.
- Cevasco, G., Chiappe, C. (2014) Are ionic liquids a proper solution to current environmental challenges?, *Green Chem.* 2375-2385.
- DyeCoo Textile Systems B.V., (2010), *CO<sub>2</sub> Dyeing Gets Commercial Rollout*, Available from: <http://www.dyecoo.com/pdfs/DyeCoo-stroy.pdf> (accessed May 18).
- Fischer, T., Sethi, A., Welton, T., Woolf, J. (1999), *Diels-Alder reactions in roomtemperature ionic liquids*, *Tetrahedron Lett.* 40, 793-796.
- Gao, D.; Yang, D. Cui, H.; Huang, T. Lin J. (2015) *Supercritical carbon dioxide dyeing for PET and cotton fabric with synthesized dyes by a modified apparatus*, *ACS Sustainable Chem. Eng.*, 668-670.
- Liqiang, Tian, (2011) *Laccase-mediated system pretreatment to enhance the effect of hydrogen peroxide bleaching of cotton fabric*, [https:// doi: 10.1016/j.ijbiomac.2011.11.025](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2011.11.025), 782-783.
- Moore, S. B.; Ausley, L. W. (2004) *Systems thinking and green chemistry in the textile industry: concepts, technologies and benefits*, *J. Cleaner Prod.* .
- Stasiewicz, M., Mulkiewicz, E., Tomczak-Wandzel, R., Kumirska, J., Siedlecka, E.M., Gołębiowski, M., Gajdus, J., Czerwicka, M., Stepnowski, P. (2008), *Assessing toxicity and biodegradation of novel, environmentally benign ionic liquids (1-alkoxymethyl-3-hydroxypyridinium chlorides, saccharinates and acesulfamates on cellular and molecular level*, *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 71, 157e165, 587-591.
- Valdez Vergara, María Antonieta and et al. (2014), *The removal of heavy metal cations from an aqueous solution using ionic liquids*, *Canadian Journal of Chemical Engineering*, <https://doi.org/10.1002/cjce-22053>, 1875-1883.
- Wasserscheid, P.; Welton, T. (2008) *Ionic Liquids in Synthesis*, 2nd ed; Wiley-VCH: Weinheim, Germany, 336-339.
- Welton, T. (1999), *Room-temperature ionic liquids. Solvents for synthesis and catalysis*, *Chem. Rev.* 99, 2071e2084, 3510-3517.

### Notas Biográficas

El MTA. Carlos Alberto López Gómez es profesor en la Escuela Superior de Ingeniería Textil del Instituto Politécnico Nacional. Su maestría en Tecnología Avanzada por el Centro de Investigación e Innovación Tecnológica del IPN. Cuenta con una experiencia de 20 años en la industria textil desempeñando diversos puestos de ingeniería en acabados.

La M.C. Josefina Graciela Contreras García es profesora en la Escuela Superior de Ingeniería Textil del Instituto Politécnico Nacional. Su maestría en Ciencias en Ingeniería Textil en la misma institución. Ha estado trabajando en la industria textil por 20 años. Imparte seminarios de Lean y Control Total de la Calidad. Es experto técnico ante la EMA.

Samantha Esmeralda Bravo Campos es alumna de la Licenciatura en Ingeniería Textil por la Escuela Superior de Ingeniería Textil, participo en la investigación como tesista, así como en el proceso de redacción y desarrollo experimental.