

**PROPUESTA DE MEDIDAS DE PRODUCCIONES MÁS LIMPIAS  
PARA EL PROCESO DE TEÑIDO EN LA TEXTILERA  
"DESEMBARCO DEL GRANMA"**

**PROPOSAL OF CLEANER PRODUCTION MEASURES FOR THE DYEING  
PROCESS IN THE TEXTILE "DESEMBARCO DEL GRANMA"**

*Mercedes Arbona Cabrera<sup>1\*</sup>, Isabel Cabrera Estrada<sup>1</sup> y Elena R. Rosa Domínguez<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas; Carretera a Camajuaní km 5 ½. Santa Clara, Villa Clara. Cuba.

<sup>2</sup> Centro de Estudios de Química Aplicada (CEQA). Facultad de Química y Farmacia, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Carretera a Camajuaní, Km 5 ½. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Recibido: Octubre 23, 2017; Revisado: Enero 12, 2018; Aceptado: Febrero 14, 2018

## RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló en la sección de teñido de la Unidad Básica "Desembarco del Granma". Esta investigación persiguió proponer medidas de producciones más limpias en el teñido del tejido poliéster-algodón. Se aplicó la metodología del Análisis de Ciclo de Vida y el programa SimaPro V.8.0 que constituyeron una herramienta útil para la evaluación de indicadores ambientales relevante de rendimiento en el proceso textil. Se cuantificó el impacto sobre el medio ambiente de productos químicos y otros recursos empleados. Al aplicar el método ReCiPe se determinó que, en la categoría de daños, los recursos resultaron los más impactados, donde el consumo de combustible fósil y el agua tienen un papel primordial. Se realizaron los procesos de igualación de color con el empleo del equipo color matching. Las recetas obtenidas cuando se le añade carbonato de sodio a los colorantes dispersos resultaron igualadas más fácilmente que las que no tenían esta sustancia química presente en el momento de igualar el disperso. Al realizar el teñido a escala industrial con las recetas optimizadas se ahorraron \$ 0,17/ m de tela teñida; lo que equivale a dejar de gastar 9713,52 \$/año. Para disminuir del impacto ambiental de la quema de combustible fósil se propuso el empleo del aditivo ADI3TEK. Pudieran ahorrarse 117,51 \$/año si se reponen los aislamientos deteriorados. La ejecución del

Copyright © 2018. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

\* Autor para la correspondencia: Mercedes Arbona, Email: [marbona@uclv.cu](mailto:marbona@uclv.cu)

método ReCiPe permitió corroborar los beneficios obtenidos al aplicar las recetas optimizadas para el teñido del tejido poliéster- algodón en un baño.

**Palabras claves:** Análisis de ciclo de vida; producciones más limpias; teñido poliéster- algodón.

## **ABSTRACT**

The present work was developed in the dyeing section of the Basic Unit "Desembarco del Granma". The aim of this research was to propose actions of cleaner productions in the dyeing of polyester-cotton fabric. The Life Cycle Assessment methodology and the SimaPro V.8.0 software were applied. The impact on the environment of chemicals and other used resources was quantified. In applying the ReCiPe method, it was determined that, in the category of damages, the resources were the most impacted, where fossil fuel consumption and water have a primordial role. Color matching processes were performed using color matching equipment. The recipes obtained when sodium carbonate was added to the disperse dyes were more easily equated than those that did not have this chemical present at the time of equalizing the dispersion. Performing dyeing on an industrial scale with the optimized recipes saved \$ 224.85; which is equivalent to spending 9713.52 \$/year. To reduce the environmental impact of the burning of fossil fuel, the ADI3TEK additive was proposed. It could be saved 117.51 \$/year if deteriorated insulation is replaced. The implementation of the ReCiPe method allowed to corroborate the benefits obtained by applying the optimized recipes for the dyeing of polyester-cotton fabric in a bath.

**Key words:** Life cycle assessment; cleaner productions; polyester-cotton dyeing.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Una de las principales preocupaciones en materia medioambiental relacionada directamente con la industria textil es el elevado consumo de agua que se requiere para llevar a cabo los procesos de acabado y consecuentemente las grandes cantidades de agua residual que se generan con una alta carga contaminante derivada del uso de todo tipo de productos auxiliares, colorantes y aguas de lavado de las fibras textiles. Además son importantes otros parámetros como el consumo energético, las emisiones atmosféricas, los olores y los residuos sólidos propiamente dichos.

Los tejidos poliéster-algodón (PE/CO) crudo y algodón (CO) constituyen materias primas para la planta de acabado de la (UB) "Desembarco del Granma", a la cual ingresan procedente de la Planta de Tejeduría de la propia UB (alrededor un 5 %), o de Corea del Sur y de la República Popular China (el 95 % restante). En la actualidad es posible encontrar todas las construcciones básicas de telas con mezclas de fibras. No existe una fibra perfecta; todas tienen características buenas, regulares y deficientes. La mezcla permite al técnico textil combinar las fibras de manera que las buenas cualidades se enfatizen y las deficientes se minimicen según Alonso (2015).

El objetivo del teñido es la coloración uniforme de las fibras que constituyen el material textil, usualmente para coincidir con un color previamente especificado. Los tres

principales factores que intervienen en el proceso de tintura son: las fibras, los colorantes y el medio dentro del cual los dos se ponen en contacto. El teñido es un proceso físico-químico que consiste en la absorción de las partículas colorantes por el material fibroso y está compuesto por las siguientes fases: impregnación del tejido con la solución o dispersión del colorante, adsorción del colorante (difusión del colorante por toda la superficie de la fibra), difusión del colorante desde la superficie exterior de la fibra hacia el interior, fijación del colorante, eliminación del colorante no fijado mediante el lavado Texvi (2015). Es importante tener una elevada reproducibilidad de colores y en su igualación cuando se lleva a cabo un proceso de tintura. No solo es necesario el conocimiento, sino que también lo es el uso adecuado de la actual tecnología de tintura existente en el mercado. Debe tenerse en cuenta: la maquinaria de tintura, materias colorantes, productos auxiliares, procesos optimizados, capacitación del capital humano y colaboraciones con empresas del sector textil Solé (2015).

A diferencia de las impurezas, los compuestos químicos que se emplean en el proceso de acabado son susceptibles a reducción o sustitución. Estos compuestos también pueden aprovecharse mejor perfeccionando los métodos de operación, otra vía es reduciendo las pérdidas de insumos y caudales ocasionados por accidentes durante trabajos auxiliares no controlados, como el lavado de equipos, almacenamiento entre otros Chorro (2013). Para que un colorante sea útil, debe ser capaz de unirse fuertemente a la fibra y por lavado no debe perder su color. Debe ser estable químicamente y soportar bien la acción de la luz según Cortés (2009) y Maldonado (2005).

Se requiere cuantificar el impacto de los productos químicos sobre el medio ambiente y la toma de medidas que permitan obtener el tejido con la calidad requerida. Entre las actividades para minimizar el impacto sobre el entorno industrial están: optimización del proceso productivo y la sustitución de insumos altamente tóxicos por otros menos tóxicos.

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) permite identificar el impacto medioambiental del proceso de teñido del tejido poliéster-algodón y evaluar cómo las medidas que se proponen disminuyen la repercusión del proceso en diferentes categorías de impacto. La evaluación del ciclo de vida se ha adoptado cada vez más por las empresas de textiles y prendas de vestir, Natascha (2013); Sule (2012).

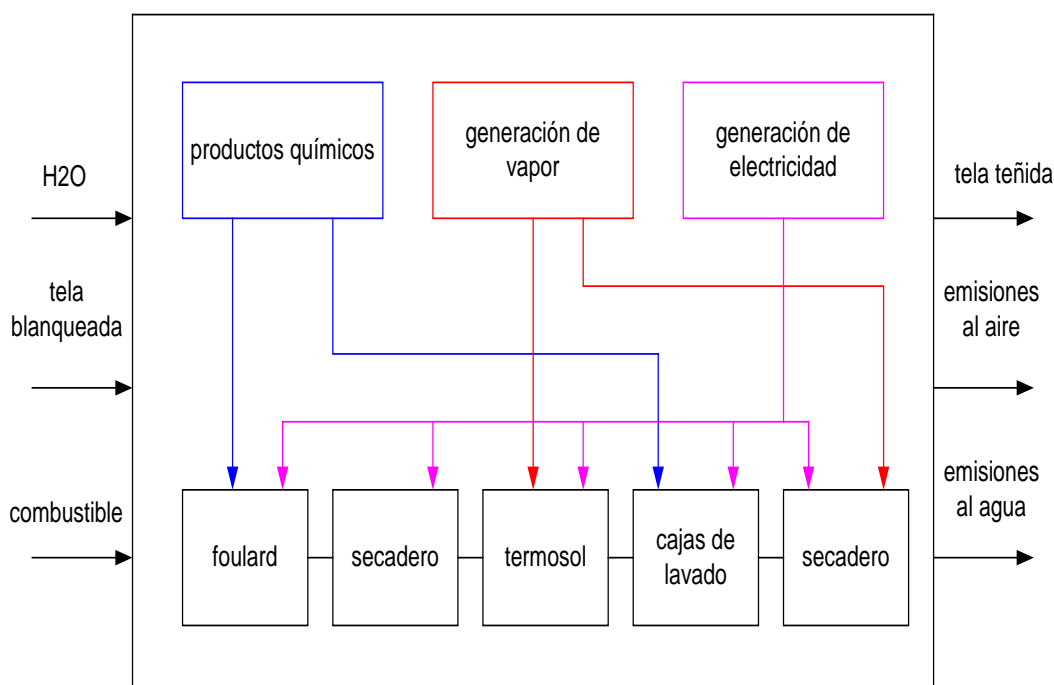
En la UB “Desembarco del Granma” el proceso de teñido involucra una gran cantidad de productos químicos y otros recursos cuyo impacto sobre el medio ambiente no ha sido totalmente identificado. Existe un consumo adicional de colorantes por no optimizarse las recetas de teñido para el proceso en un baño.

Es posible la identificación de las afectaciones que provocan productos químicos y otros recursos sobre el medio ambiente mediante la realización del ACV y proponer medidas de producciones más limpias, así como optimizar las recetas de teñido con el empleo del Color Matching, Pantoja (2017), para obtener un tejido con la calidad requerida a través de un proceso más factible desde el punto de vista ambiental.

El objetivo del presente trabajo es proponer medidas de producciones más limpias en el teñido del tejido poliéster/algodón.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso de teñido constituye una sección dentro de la planta de acabado, que es una de las plantas que componen a la UB “Desembarco del Granma”. El material empleado para teñir fue el sustrato poliéster-algodón que es bien acogido por los clientes por sus múltiples aplicaciones, dicho tejido procedió de la sección de blanqueo y se procesó para lograr un tejido con un color diferente. Un sistema auxiliar considerado es el de generación de vapor, por la importancia que el mismo tiene en el sistema objeto de estudio. Se tomó como unidad funcional un metro de tela teñida. Se aplicó la metodología del Análisis del Ciclo de Vida, con el empleo del método de evaluación de impactos ReCiPe y el software SimaPro V.8 para evaluar el impacto ambiental asociado al proceso de teñido en estudio. En la Figura 1 se muestran los límites del sistema en cuestión. Se conformó la relación de inventarios del proceso, donde se emplearon como herramientas los balances de masa y energía, reportes de las instalaciones, software del equipo color matching y datos de la literatura.



**Figura 1.** Límites considerados para la aplicación del ACV al proceso de teñido

El sustrato empleado fue el tejido poliéster-algodón (2023812), cuyas características se reflejan en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Características del sustrato empleado

<i>Lote</i>	<i>Colores</i>	<i>Ancho (cm)</i>	<i>Peso (g/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Densidad (hilos/10cm)</i>
0017	2-922-3 y 2-804-3	138,66	209,67	452 urdimbre (U)

El consumo de disoluciones de colorantes en el taller de teñido depende de la referencia que se vaya a procesar. Para 1 000 L de solución colorante, se muestran en la Tabla 2 las cantidades de metros lineales de tela que se pueden teñir. Se empleó la referencia 23, la que se corresponde con el tejido poliéster-algodón.

**Tabla 2.** Relación entre la cantidad de metros lineales de tela teñida y la referencia

<i>Referencia</i>	<i>Cantidad de metros lineales para 1000 L de solución</i>
23 (poliéster-algodón)	6 500
Poplín	10 000
52	4 300
Algodón/algodón estrecha	7 000
Algodón/algodón ancho y gordo	4 500
34	6 000
Mantel poliéster/viscosa	4 000

**Fuente:** Datos del taller de teñido de la UB “Desembarco del Granma”

Se realizaron experimentos, a escala de laboratorio, para la igualación del color, con el empleo del equipo color matching, para la optimización de las recetas. El sustrato se tiñó con las recetas optimizadas para lograr los colores 2-922-3 y 2-804-3. En esta notación el primer número (2) significa el tipo de tejido (poliéster-algodón); el número intermedio representa el color, en este caso 922 es gris y 804 es beige y el tercer número (3) significa teñido medio en un baño. El color 2-922-3 es de alta demanda para la fabricación de uniformes de guarda-bosques y el 2-804-3 tiene como destino la empresa Universal Habana.

Se tuvo en cuenta que es necesario igualar primero el disperso en la fibra de poliéster y luego el reactivo, para el algodón. Se desarrollaron dos alternativas: la primera consistió en igualar disperso añadiéndole carbonato de sodio y posteriormente igualar reactivo y la otra alternativa, igualar disperso sin añadirle carbonato de sodio y luego igualar reactivo con el carbonato de sodio incluido. Para cada color, se realizaron réplicas de las recetas obtenidas en el laboratorio antes de enviar la propuesta final para la línea de producción, donde se aplicaron los resultados para cinco lotes. Para decidir cuál de las variantes aprobadas en cada caso se debía seleccionar se tuvieron en cuenta criterios técnico-económicos. Para evaluar la calidad del teñido se utilizó el criterio de expertos, mediante la aplicación del método Delphy (Wilder y col., 2014). Los expertos fueron seleccionados dentro de un universo de especialistas que laboran en la rama de la colorimetría en la industria textil. Para seleccionar el número de expertos se aplicó la ecuación 1:

$$m = \frac{P*(1-P)*K}{i^2} \quad (1)$$

m- número de expertos.

i- nivel de precisión deseado.

P- Proporción estimada de errores de los expertos.

K- Constante cuyo valor está asociado al nivel de confianza seleccionado (1- $\alpha$ )

El grupo queda formado por cinco personas, para su cálculo se fijaron los valores siguientes:

i =0,1; P =0,01; K =5,05; 1- $\alpha$  =0,99

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

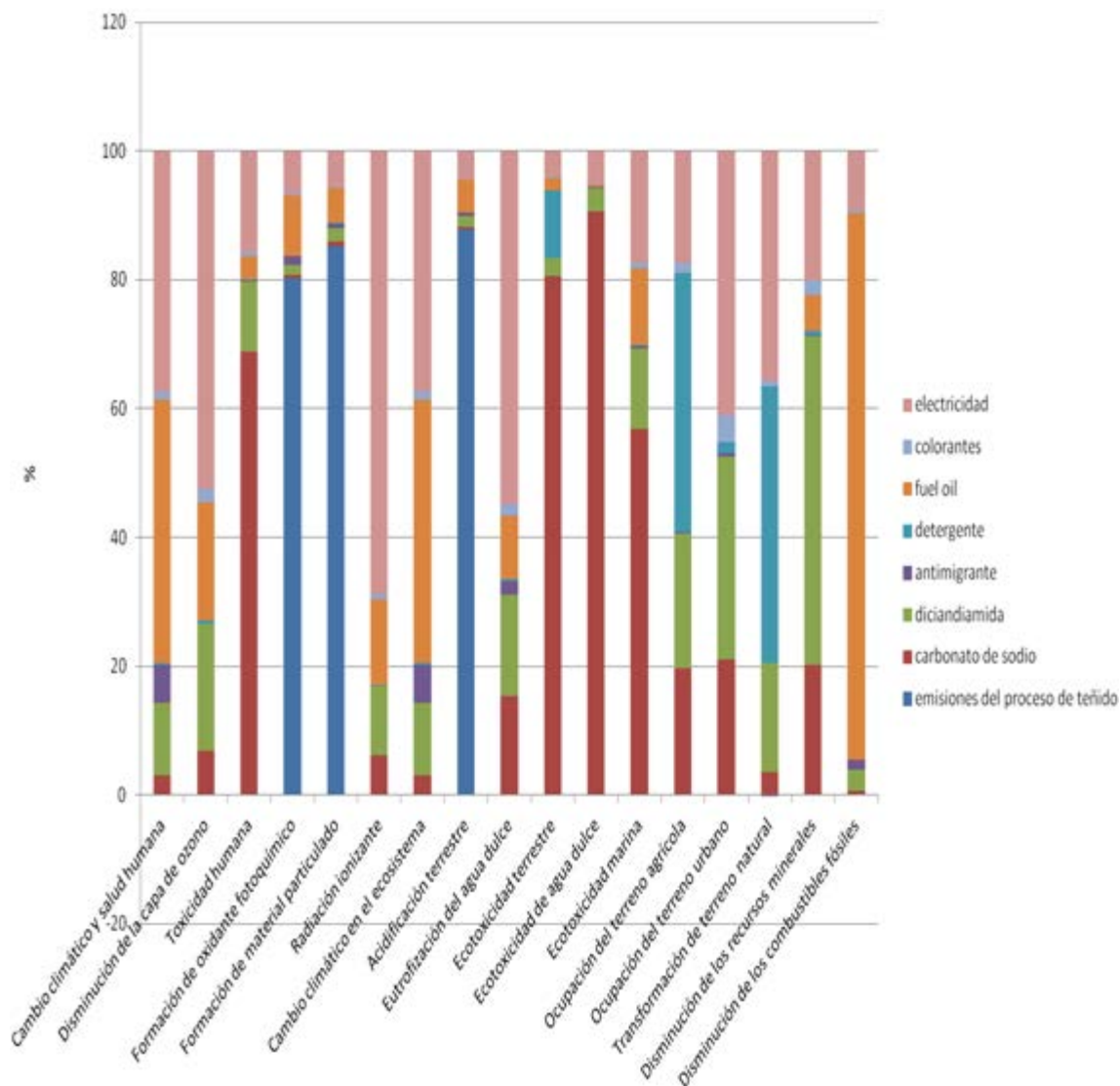
En la tabla 3 se presenta el Inventario de Ciclo de Vida (ICV) para el teñido en beige del tejido de poliéster-algodón.

**Tabla 3.** ICV para el teñido en beige del tejido de poliéster-algodón

<i>Entradas</i>		
<i>De la Naturaleza</i>		
Agua	0,025	m <sup>3</sup> / m de tela
<i>De la Tecnosfera</i>		
Tela blanqueada	1	m
Fuel oil	0,151	kg/m de tela
Electricidad	0,06	kWh/m de tela
Carbonato de sodio	2,24*10 <sup>-3</sup>	kg/m de tela
Diciandimida	4,48*10 <sup>-3</sup>	kg/m de tela
Antimigrante	1,12*10 <sup>-3</sup>	kg/m de tela
Detergente	0,11*10 <sup>-3</sup>	kg/m de tela
Colorantes	0,72*10 <sup>-3</sup>	kg/m de tela
<i>Salidas</i>		
<i>Producto</i>		
Tela teñida (de la Tecnosfera)	1	m
Emisiones de gases de la caldera al aire (a la Naturaleza)		
SO <sub>2</sub>	4,63*10 <sup>-3</sup>	kg/m de tela
SO <sub>3</sub>	0,17*10 <sup>-3</sup>	kg/m de tela
NO <sub>x</sub>	1,39*10 <sup>-3</sup>	kg/m de tela
Material particulado	0,27*10 <sup>-3</sup>	kg/m de tela
Emisiones al agua (a la Naturaleza) Agua residual=0,008 m <sup>3</sup> / m de tela		
DQO	37,2*10 <sup>-6</sup>	kg/m de tela
DBO <sub>5</sub>	22*10 <sup>-6</sup>	kg/m de tela

El ICV para el teñido en gris del tejido de poliéster-algodón es coincidente al presentado en la tabla 3, con excepción al consumo de colorante (1,85 g/m de tela) dado por el requerimiento del color. La coincidencia está dada por emplearse igual sustrato y referirse al proceso sin optimizar.

El perfil ambiental por categorías de impactos para el teñido en beige del tejido de poliéster-algodón se presenta en la Figura 2.



**Figura 2.** Perfil ambiental del teñido del tejido poliéster-algodón (Método: ReCiPe Punto final (H) V1.10 / Europe ReCiPe H/A / Caracterización)

La figura 2 ilustra la contribución de cada uno de flujos del ICV del teñido en beige del tejido de poliéster-algodón que intervienen en la producción de tejido teñido a cada una de las categorías de impacto evaluadas por el ReCiPe., donde sobresalen con por ciento de mayor afectación, las sustancias químicas (dicianidamida y carbonato de sodio) que forman parte de las recetas de teñido, el consumo de combustible y las emisiones gaseosas generadas. El consumo de electricidad es relativamente alto aunque no sobrepasa los valores previstos para este tipo de proceso.

En la representación se observa que las emisiones del propio proceso de producción relacionadas con la combustión del crudo contribuyen con un mayor por ciento a las categorías formación de oxidantes fotoquímicos, formación de material particulado y acidificación terrestre. Estos resultados se asocian con las salidas de los inventarios relacionados con el SO<sub>2</sub> el cual: influye en la acidificación y la eutrofización (se asocia a la composición del petróleo utilizado); el polvo que tiene una repercusión visual y directa sobre la imagen y salud del entorno, los habitantes y en la formación de material particulado.

El uso de crudo cubano contribuye con mayor por ciento a las categorías cambio climático y salud humana, cambio climático en el ecosistema, disminución de la capa de ozono y combustibles fósiles.

En cuanto a las recetas de teñido, poseen diversas sustancias químicas como los colorantes, diciandiamida y carbonato de sodio que ejercen una influencia desfavorable en las categorías toxicidad humana, ecotoxicidad terrestre, marina y de agua dulce, así como la disminución de los recursos minerales.

Se logró optimizar las recetas de los colores 2-922-3 y 2-804-3, con el empleo del color matching. Se tuvo en cuenta que el pH del baño es uno de los factores que influyen en la calidad del teñido. El carbonato de sodio es un aditivo que regula el pH en los valores básicos necesarios para el teñido del algodón.

Los resultados se muestran en las tablas 4 y 5, donde se evidencia en cada una la composición cuando se iguala el disperso para el teñido del poliéster añadiendo carbonato de sodio y cuando no se añade.

**Tabla 4.** Receta óptima obtenida para el color 2-922-3 con el empleo del color matching

<i>Clasificación del colorante</i>	<i>Nombre del colorante</i>	<i>Concentración g/L</i>	
		<i>Disperso igualado con carbonato</i>	<i>Disperso igualado sin carbonato</i>
Disperso	Bemacrón Rubí RS	0,07	0,09
	Synolon Yellow SE-4G	0,31	0,25
	Synolon Black SE- NF	2,72	3,38
Reactivo	Synocrón Brown PGR	0,93	0,65
	Synocrón Navy Blue P-2R	2,99	2,74
	Triactive yellow P-5 GN	2,73	3,42

**Tabla 5.** Receta óptima obtenida para el color 2-804-3 con el empleo del color matching

<i>Colorante</i>	<i>Concentración g/L</i>	
	Disperso con carbonato	Disperso sin carbonato
Bemacrón Rubí RS	0,23	0,23
Synolon Yellow SE-4G	0,9	0,84
Trisetile Navy blue B 280	0,26	0,25
Synocrón Gold yellow P2R	0,53	0,68
Synocrón Navy Blue P-2R	0,5	0,48
Synocrón Red PBN	0,14	0,13

Las recetas obtenidas cuando se le añade carbonato de sodio a los colorantes dispersos resultaron igualadas con más facilidad que las que no tenían el carbonato de sodio presente en el momento de igualar el disperso. En la tabla 6 se muestran los costos para cada una de las recetas



**Tabla 6.** Costo de los colorantes en cada receta para los colores 2-922-3 y 2-804-3

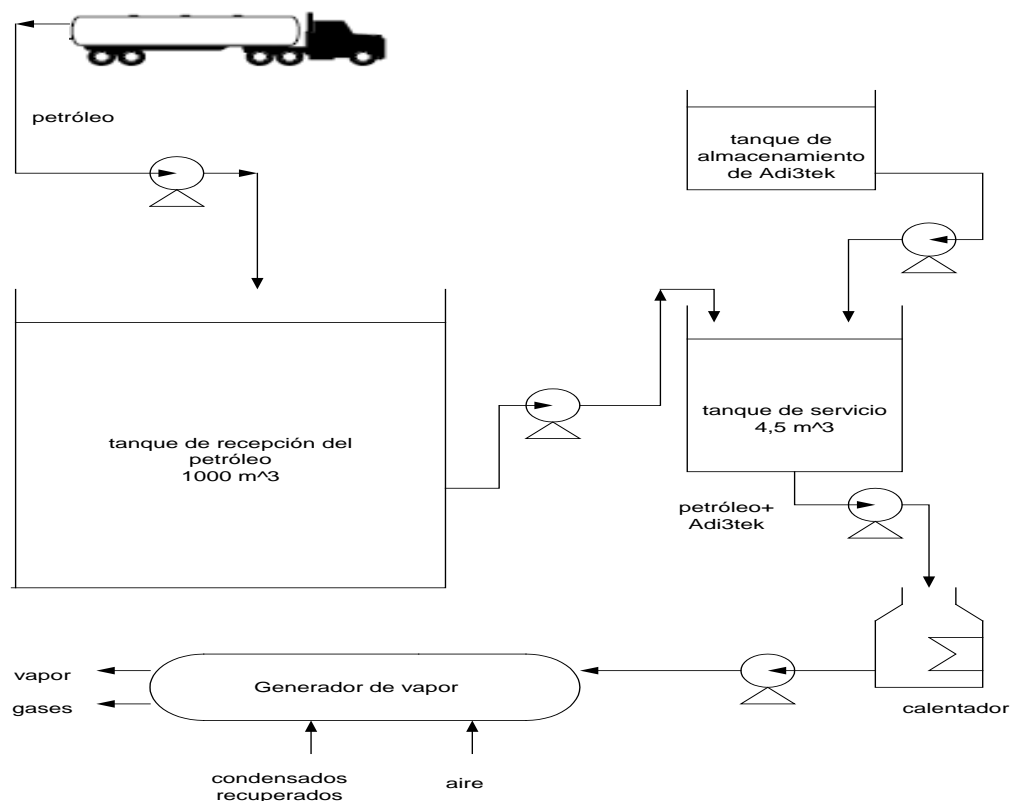
<i>Color</i>	<i>Costo de los colorantes (CUC)</i>	
	<i>Disperso igualado con carbonato</i>	<i>Disperso igualado sin carbonato</i>
2-922-3	168,82	176,17
2-804-3	17,16	17,3

Por tanto se decidió enviar las recetas cuyo disperso fue igualado con carbonato para que fuera teñido el sustrato a escala industrial, por poseer menor costo y haber logrado la igualación del color con menos correcciones. Cuando se realizan cambios en las recetas de teñido, debido a la necesidad de sustituir un colorante porque no esté disponible o por modificaciones que impliquen mejoras económicas, es necesario llevar a cabo pruebas preliminares a nivel industrial que permitan comparar si el color obtenido en esta escala mayor se corresponde con el deseado. Al aplicar este procedimiento a la receta obtenida para el color 2-922-3 fue necesario realizar una sola corrección a la receta original con el fin de obtener el color solicitado por el cliente. Cabe mencionar algunas fallas en el equipamiento las cuales pueden haber contribuido a que en la primera corrida no se lograra el color esperado. El color 2-804-3 no requirió ninguna corrección, pues del primer intento fue aprobado el color obtenido a nivel industrial, tanto por el equipo color matching (que reflejó un error de 0,95 el cual es inferior a 1,3 que es el máximo establecido para que un color sea aceptado), como por los expertos seleccionados, quienes recurrieron a la evaluación visual (que es lo que tradicionalmente se realiza) otorgando el máximo de puntuación en cuanto a la aceptación del tono, intensidad y luminosidad.

En ocasiones anteriores, al realizar estas pruebas preliminares, ha sido necesario llevar a cabo hasta tres correcciones. El costo de cada prueba es de \$44, 97 por lo que en este caso se ahorraron \$ 224,85 al evitarse cinco correcciones industriales.

Entre los recursos empleados en el teñido se encuentra vapor generado a expensas de la quema del fuel oil. Según el estudio realizado (Núñez, 2017) el petróleo empleado como combustible en la caldera y en los calentadores de aceite presenta contenidos de azufre superiores al 3 %, lo que ocasiona impactos negativos al provocar corrosión de las tuberías y el equipamiento, así como la probabilidad de originar lluvias ácidas por la formación de ácido sulfúrico. En estos momentos no es posible cambiar el combustible por otro de mejor calidad por lo que se recomienda el empleo del aditivo ADI3TEK. Entre los beneficios que proporciona el uso de ADI3TEK están la reducción del consumo de combustible y aire en exceso, así como las emisiones de CO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, material particulado y la formación de nieblas ácidas (Sánchez, 2015).

Pruebas de campo y laboratorio han demostrado que la dosificación óptima es de 1 L de ADI3TEK por tonelada métrica de combustible fósil sólido o 1 000 L de combustible líquido o alterno (Sánchez, 2015). En este caso se trata de un combustible líquido por lo que la dosis a emplear será 1 L de ADI3TEK por 1 000 L de combustible. En la figura 3 se muestra la inclusión del equipamiento requerido para poder añadir el aditivo al combustible en el sistema de abastecimiento al generador de vapor.

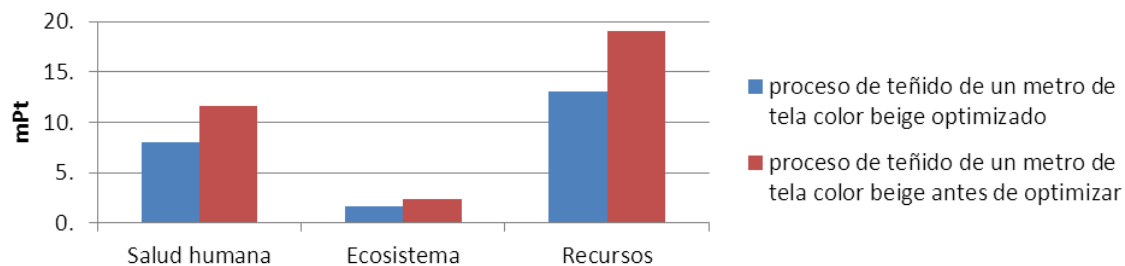


**Figura 3.** Esquema de alimentación del combustible al generador de vapor con la inclusión del aditivo ADI3TEK

Se realizó un estimado del costo de la inversión requerida para modificar el sistema de alimentación del combustible al generador de vapor. El nuevo equipamiento incluirá: tanque para el almacenamiento del aditivo, una bomba dosificadora, 15 m de tubería y dos codos de 90°. El costo de la inversión es \$ 27 302,51.

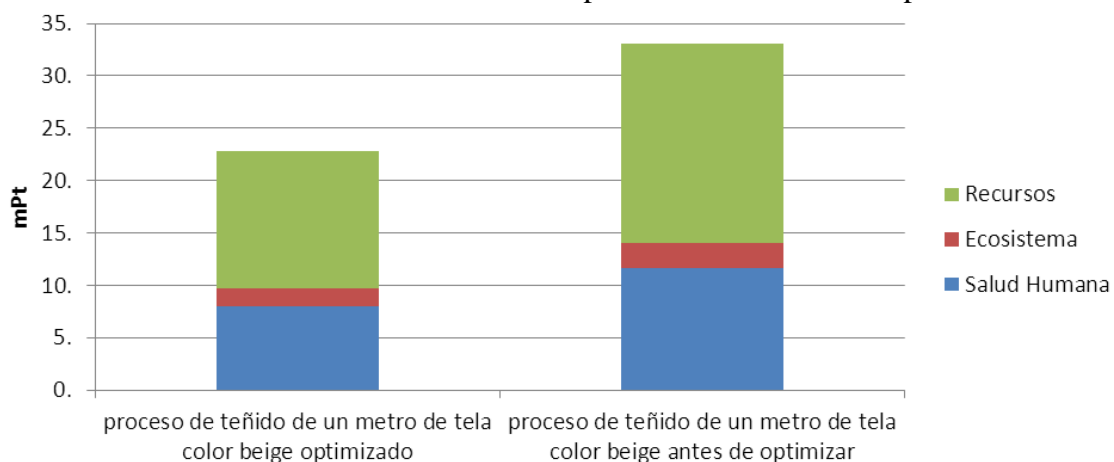
El costo del aditivo es de 24,70 \$/L. Se logra compensar el costo financiero del uso del aditivo, teniendo solamente en cuenta los ahorros por conceptos de aumento de eficiencia energética en el sistema de generación de vapor, Sánchez (2015). La inversión tendrá una repercusión positiva ya que permitirá minimizar las emisiones de COx, NOx, SOx lo que beneficiará la calidad del aire de la zona donde se encuentra ubicada la textilera y por lo tanto se disminuirán los daños a la salud humana.

Una vez optimizadas las recetas de teñido, se volvió a evaluar el impacto ambiental mediante el Análisis de Ciclo de Vida en la sección de teñido, con el uso del software SimaPro V.8.0 y el método ReCiPe. Si se comparan las tres categorías de daños, los recursos resultan los más afectados, lo que se aprecia en la figura 4. Se logra una mejora ambiental que repercute en una disminución de la afectación a esta categoría en un 31,12 %, lo que se corresponde con 5,9 mPt menos. En el caso de la salud humana el proceso sin optimizar presenta 3,63 mPt más que el proceso optimizado mientras que para la categoría ecosistema la diferencia es de 0,76 mPt.



**Figura 4.** Comparación en categorías de daños del proceso de teñido de un metro de tela beige antes y después de optimizar la receta (Método: ReCiPe Endpoint (H) V1.10 / Europe ReCiPe H/A / Ponderación)

En la figura 5 se representa la puntuación por categoría de daño de cada escenario analizado en los procesos de teñido de tejido poliéster-algodón con el color beige, antes y después de optimizar las recetas. De los daños ocasionados, el mayor impacto negativo se aprecia sobre los recursos. Se observa una disminución de 10,32 mPt, lo cual demuestra la factibilidad ambiental de la aplicación de las recetas optimizadas.



**Figura 5.** Comparación del proceso de teñido de un metro de tela beige antes y después de optimizar la receta (Método: ReCiPe Endpoint (H) V1.10 / Europe ReCiPe H/A / Puntuación única)

#### 4. CONCLUSIONES

1. La evaluación del Ciclo de Vida del tejido poliéster-algodón demostró que, en la categoría de daños, los recursos resultaron los más impactados por el proceso de teñido, donde el consumo de combustible fósil y el agua tienen un papel primordial.
2. Las recetas obtenidas cuando se le añade carbonato de sodio a los colorantes dispersos resultaron igualadas con más facilidad que las que no tenían esta sustancia química presente en el momento de igualar el disperso.
3. Al realizar el teñido a escala industrial con la receta optimizada se ahorraron \$ 0,17/ m de tela teñida al evitarse cinco correcciones industriales, lo que equivale a dejar de gastar 9713,52 \$/año.
4. La ejecución del método ReCiPe permitió corroborar los beneficios medioambientales obtenidos por concepto de disminución de las sustancias tóxicas empleadas al aplicar las recetas optimizadas para el teñido del tejido poliéster algodón en un baño.

5. Para disminuir del impacto ambiental de la quema de combustible fósil se propone el empleo del aditivo ADI3TEK, lo que requerirá una inversión de \$ 27 302,51 y posibilitará un ahorro de 25,2 \$/año por concepto de disminución de la corrosión en las tuberías del sistema de generación de vapor.

## **REFERENCIAS**

- Alonso, F., Manual control de calidad en productos textiles y afines., Madrid, 2015, pp. 20-25.
- Cortés, M., Elaboración de bases de datos para colorantes de alta solidez en el laboratorio de la tintorería de coats cadena Pereira S.A., Tesis en opción al grado de Tecnólogo Químico, Universidad tecnológica de Pereira, 2009, pp. 1-32.
- Chorro, E., Programa on-line de prácticas de colorimetría [Online]. España: Departamento de Óptica, Farmacología y Anatomía Universidad de Alicante, 2013, pp. 1-5. Disponible URL en: <http://telcotextil.com.mx/informacion/el-color/> [Accessed diciembre 2016].
- Maldonado, E., Optimización del proceso de teñido de telas., Tesis presentada en opción al grado Científico de Doctor en Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Quilmes, 2005, pp. 1-43.
- Natascha, M., LCA benchmarking study on textiles made of cotton, polyester, nylon, acryl, or elastane., Life cycle impact assessment (LCIA), Vol. 19, No. 4, 2013, pp. 331-356.
- Núñez, V., Caracterización y evaluación de la calidad del aire como resultado de las emisiones de la U.B. Textil "Desembarco del Granma", municipio de Santa Clara., Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara, 2017, pp. 1-13.
- Pantoja, G., Curso de superación técnica para profesionales y técnicos de la Empresa Textil "Desembarco del Granma"., Santa Clara, 2017, pp. 1-15.
- Sánchez, A., Evaluación del comportamiento de un sistema de generación de vapor que usa como combustible el crudo cubano PCNm1400., Tesis en opción al grado Científico de Máster en Seguridad Tecnológica y ambiental de los procesos químicos, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, 2015, pp. 30-51.
- Solé, A., Defectos producidos en tintura., Catalunya: Asociación del colegio de ingenieros industriales de Catalunya, 2015, pp. 35-87. [Accessed diciembre de 2016].
- Sule, A., Life Cycle Assesment of Clothing Process., Research Journal of Chemical Sciences, Vol. 2, No. 2, 2012, pp. 86-89.
- Texvi., Fichas tecnológicas para el teñido a la continua de tejidos de pe/vi, pe/co y co., Santa Clara, Cuba, 2015, pp. 1-4.
- Wilder, J., Montes, J., Toro, I., Villada, S., Delphi Method Proposal to calculate the number of experts in a Delphi study on biodegradable packaging to 2032., Espacios, Vol. 35, No. 13, 2014, pp. 10-16.