



EL PROCESO DE SEDIMENTACIÓN COMO UNA APLICACIÓN SENCILLA PARA REDUCIR CONTAMINANTES EN EFLUENTES TEXTILES

THE SEDIMENTATION PROCESS A SIMPLE METHOD TO DIMINISH CONTAMINANTS IN TEXTILE EFFLUENTS

M. Solís^{1*}, J.L. Gil², A. Solís³, H.I. Pérez³, N. Manjarrez³ y M. Perdomo¹

¹Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional.

²Universidad Politécnica de Morelos.

³Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco.

Recibido 11 de Abril de 2013; Aceptado 21 de Septiembre de 2013

Resumen

La industria textil es de las más contaminantes, principalmente por la gama de compuestos químicos que se emplean para el acabado de las prendas y al uso indiscriminado de agua limpia. En este trabajo se analizan las micro y pequeñas lavanderías ubicadas en Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala, que se dedican al acabado de pantalón de mezclilla. Estas empresas llevan a cabo diferentes procesos los más frecuentes son el desengomado, descruce, blanqueo, stone y teñido. El análisis de las muestras de las aguas residuales demostró que en general, las descargas de todos los procesos no cumplen con los parámetros indicados en la NOM-002-ECOL-1996. Las que provienen del teñido presentan alta conductividad eléctrica debido al cloruro de sodio que se usa para este proceso. Se observó que excepto para el teñido, la sedimentación es una opción viable, como pre-tratamiento, para reducir el color y DQO hasta en 70% de manera sencilla y económica, lo que permitiría el reuso del agua en procesos que no requieran agua limpia. La prueba de fitotoxicidad mostró que las descargas del teñido son altamente fitotóxicas, las correspondientes al blanqueo y descruce lo son en menor grado, mientras que las correspondientes al desengomado y del stone no son fitotóxicas.

Palabras clave: sedimentación, efluente textil, colorante, mezclilla, acabado textil.

Abstract

The textile industry is considered one of the most polluting because it uses large amounts of chemical compounds and water. We analyzed the micro and small textile firms from Tepetitla of Lardizábal in Tlaxcala, engaged in the textile finishing of jeans. The most common processes are washing, softening, rinse, stone and dyeing. The analysis of the wastewaters from the different process did not match with the parameters established at the NOM-002-ECOL-1996. Those from dyeing had the higher values in electric conductivity because of the sodium chlorine used. We observed that, except for dyeing, the sedimentation as a pre-treatment is a viable and economic option to diminish the color and COD until 70% in a simple way, besides the pre-treated water can be recycled or reused in another process which could use not clean water. The phytotoxicity assay showed that the effluents from dye process were highly phytotoxic, those from rinse and softening process were phytotoxic, and those from washing and stone process were no phytotoxic.

Keywords: sedimentation, textile effluent, dye, denim, textile finishing.

1 Introducción

La industria textil está catalogada como una de las más contaminantes del medio ambiente, en particular por los procesos de acabado, como el desengomado, descruce, blanqueo, lavado, suavizado, enjuague y teñido. En estos procesos se utilizan

grandes cantidades de agua y energía, de acuerdo con Lu y col. (2010) en un proceso de teñido y terminado se consumen aproximadamente 150,000 litros de agua por tonelada de ropa procesada.

*Autora para la correspondencia. E-mail: myrobotlx@yahoo.com.mx
Tel. y, Fax 01-24-84-87-07-62

Los efluentes de dichos procesos se caracterizan por una variada y compleja mezcla de residuos y contaminantes químicos (Vergara-Sánchez y col., 2012), tienen una gran cantidad de sólidos suspendidos, sal y colorantes, así como un pH altamente fluctuante, entre 5 y 12; altos valores de temperatura, demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO); además la relación DBO/DQO es de 0.2 a 0.5, lo que indica una alta proporción de contaminantes no biodegradables (Yusuff y Sonibare, 2004, Savin y Butnaru, 2008; Solís y col., 2012; CAR/PL, 2002). Al igual que las descargas de agua municipal, éste tipo de aguas representan un riesgo para los cuerpos de agua superficiales, por el aporte de nutrientes que se derivan de la materia orgánica en descomposición o de compuestos químicos de origen antropogénico (Cervantes-Zepeda y col., 2011).

Se estima que mundialmente se descargan 280,000 toneladas de colorantes en los efluentes textiles (Jin y col., 2007), dichos colorantes tienen un efecto adverso en el ambiente. La coloración en el agua impide el paso de luz solar, inhibiendo el proceso de fotosíntesis, reduce el oxígeno disuelto por lo que daña severamente la vida acuática (Martín-González y col., 2012); además, se ha detectado que la descomposición anaeróbica de los colorantes tipo azo da origen a aminas cancerígenas (Fu y Viraraghavan, 2001). Además de los colorantes, en la industria textil se utiliza una amplia gama de sustancias químicas (Tabla 1), por lo que resulta evidente que los efluentes de ésta industria deben ser tratados antes de que lleguen a cuerpos de agua. La compleja mezcla de compuestos que se emplean para el acabado, hace que las aguas residuales de la industria textil sean difíciles de tratar por medio de sistemas biológicos o fisicoquímicos convencionales, por lo que se requiere del estudio de tecnologías innovadoras (Sathiya, 2007). En los últimos años la problemática de las descargas con altos índices de toxicidad se han tratado con Procesos de Oxidación Avanzados (AOPs, por sus siglas en inglés), incluyendo procesos fotocatalíticos y no fotocatalíticos (Vergara-Sánchez y col., 2012).

Se ha propuesto el uso de procesos fisicoquímicos para el tratamiento de las aguas residuales de la industria textil, sin embargo la implementación de estos procesos implican altos costos por la energía y las sustancias químicas necesarias, lo cual los hace poco atractivos para muchas empresas; adicionalmente presentan baja eficiencia en la remoción de compuestos recalcitrantes, como los colorantes y en algunos casos se ha reportado la

generación de lodos en cantidades significativas, lo cual representa un problema de contaminación secundaria (Robinson y col., 2001; Forgacs y col., 2004). En el tratamiento de las aguas residuales de la industria textil los sistemas de oxidación avanzada (Vergara-Sánchez y col., 2012; Pérez-Sicairos y col., 2011), microbianos (Martínez-Trujillo y col., 2012) así como la combinación de ambos, son mucho más eficientes que los fisicoquímicos. Sin embargo su aplicación es compleja, por ejemplo en el caso de la industria textil, la eficiencia de la electrocoagulación depende del pH, de la concentración del colorante, la densidad de corriente aplicada y del tiempo de residencia (Piña-Soberanis y col., 2011); además los costos de operación de los sistemas de oxidación avanzada son incluso más elevados que los de los procesos fisicoquímicos, y en muchas ocasiones se producen sustancias tóxicas. Por lo que hasta el momento no se tiene un sistema sencillo y económico que pueda ser aplicado al tratamiento de las descargas de las empresas que se dedican al acabado de textiles, en especial las provenientes del teñido; que permita reducir los problemas ambientales que ocasionan (Solís y col., 2012).

En Tlaxcala se ubican micro, pequeñas y medianas empresas (MiPyME) con actividades de lavanderías textiles industriales, que se dedican al acabado de pantalón de mezclilla. Los efluentes contaminados de dichas empresas son descargados de forma directa o indirecta en el río Zahuapan, éste río tiene sus fuentes en la sierra de Tlaxco, al norte del estado, forma parte de la cuenca alta del río Atoyac, en la región hidrológica del Balsas, atraviesa el estado de Tlaxcala de norte a sur, hacia el estado de Puebla, donde desemboca finalmente en el río Atoyac, por lo que el área de afectación es mayor.

El objetivo del presente trabajo es investigar bajo la perspectiva de la producción limpia, la operación de las micro y pequeñas lavanderías industriales ubicadas en Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala que se dedican al acabado del pantalón de mezclilla. Además partiendo del análisis de los efluentes generados en dichas lavanderías, hacer una propuesta de pre-tratamiento que tenga potencial aplicación en este tipo de empresas, con la finalidad de disminuir parámetros como DQO, los sólidos suspendidos y el color de los efluentes, con lo cual se habilita la posibilidad de reciclar y reutilizar el agua en la misma empresa, para aminorar las afectaciones ambientales ocasionadas por ésta industria.

2 Producción limpia en la industria textil

Para disminuir el impacto ambiental ocasionado por las empresas, se puede recurrir al tratamiento de los contaminantes al final del proceso, comúnmente denominado “al final del tubo” o “end-of-pipe”, o mediante la aplicación de los conceptos de la producción limpia. Los procesos al final del tubo tienen como desventajas que son poco eficientes para la depuración de los efluentes del proceso textil, ya que se requiere de la remoción de una gran cantidad de sustancias químicas tanto orgánicas como inorgánicas presentes en una extensa cantidad de agua, por lo que es necesaria la combinación de procesos de tratamiento multietapas, aumentan los costos fijos y de producción, no agregan valor ni eficiencia a los procesos, por lo que afectan la posición competitiva de la empresa (Frondel y col., 2007). Mientras que en la producción limpia se busca prevenir y reducir la contaminación en cada etapa del proceso productivo, así como la reducción de los insumos y la sustitución de los más tóxicos y contaminantes, con ello se ha logrado una reducción del consumo de los recursos naturales, energía y materias primas por unidad de producción, con lo cual se mejoran los procesos y disminuyen los costos de operación, así como la afectación ambiental (CGPML, 2008).

En las lavanderías textiles la cantidad y

composición del agua residual (Tabla 1), varía significativamente dependiendo de la tela, tipo de proceso, equipo usado y la filosofía de la gerencia de la empresa. Por lo que para la optimización del reciclado y reúso de agua, los efluentes de cada proceso se deben analizar por separado para determinar sus características fisicoquímicas e identificar sus contaminantes. De tal forma que se pueda determinar cuáles se pueden tratar de manera conjunta y cuáles de manera individual, para incrementar la eficiencia del tratamiento y las posibilidades de reutilizarla, por ejemplo mezclar efluentes ácidos con alcalinos evita el uso de reactivos extra para ajustar el pH (EWA, 2005; CAR/PL, 2002). Como se puede observar en la Tabla 1, la variación en consumo de agua, uso de sustancias químicas, valores de pH de las descargas, de DQO, de DBO y cantidad de sólidos suspendidos totales (SST) es bastante amplia y difiere significativamente para cada proceso de acabado (Lu y col., 2010, Frey y col., 2000, Savin y Butnaru, 2008; Ayaz, 2009).

En diversos estudios se plantea la aplicación de la “producción limpia” para el tratamiento de los efluentes textiles, para ello se ha evaluado el grado de recuperación de agua, energía y sustancias químicas que provienen de cada etapa del proceso. Por medio de los sistemas de tratamiento avanzados se ha logrado la recuperación del agua en más de un 80%, y su reúso de manera eficiente en otras etapas del proceso de acabado textil (Ranaganathan y col., 2007; Lu y col., 2010).

Tabla 1. Características de los efluentes generados en los procesos de acabado de prendas de algodón, de la industria textil.

	Desengomado	Descrude	Blanqueo	Teñido	Stone
Sustancias químicas empleadas	Jabón, sal, secuestrantes	NaOH, Detergentes Hidrosulfito de sodio, Quelantes, auxiliares: antiqbraduras, estabilizadores y secuestrantes	H ₂ O ₂ , NaClO ₄ Blanqueador óptico Surfactantes, NaOH, agentes humectantes	Colorantes, NaCl, secuestrantes, productos de fijado	Piedra pómez, permanganato de potasio
Consumo de agua (L/ton de ropa)	5,000-20,000	2,500-43,000	2,500-25,000	10,000-300,000	
DBO (mg/L)	1,000-6,000	10-2,900	100-1,700	70-300	
DQO (mg/L)			960-6,200	250-3,800	
pH	6-7	10-12	8-12	6.3-11	
SST (mL/L)	6,000-20,000	2,200-17,400	288-15,000	70-960	

Así mismo se han recuperado algunos de los reactivos como el hidróxido de sodio y los detergentes, permitiendo su reciclado (Erdumlu y col., 2012; Schoeberl y col., 2004).

3 Metodología

3.1 Análisis de las lavanderías textiles de Tepetitla de Lardizábal

Debido a que no se contaba con datos confiables sobre el número de establecimientos, se realizó un recorrido por el municipio de Tepetitla de Lardizábal, en Tlaxcala, para identificar las lavanderías que se dedican al acabado de pantalón de mezclilla. Posteriormente se aplicó un cuestionario en cada una de las lavanderías detectadas y se realizaron entrevistas con propietarios y autoridades locales, con la finalidad de determinar sus características organizacionales y tecnológicas de operación, así como la problemática que enfrentan para la implementación de sistemas de tratamiento de sus aguas residuales.

3.2 Análisis de los efluentes textiles

Para el análisis de los efluentes, se hizo un muestreo durante tres meses de las aguas residuales de una lavandería del municipio de Tepetitla. Las muestras se clasificaron de acuerdo con el tipo de proceso del cual se originaron. A cada muestra se le midieron los siguientes parámetros:

- El pH con un potenciómetro Conductronic pH 120;
- La conductividad eléctrica, medida con un Conductímetro Sension156;
- La coloración se determinó de forma cualitativa;
- La demanda Química de Oxígeno se evaluó usando el método de reflujó cerrado (Solís-Oba, 2008), con un digestor DRB200 de Hach.

3.3 Evaluación de la eficiencia de la sedimentación

Las muestras de agua residual se dejaron sedimentar durante 24 horas en el cono Imhoff, después de este tiempo se hicieron las siguientes evaluaciones:

- La remoción de color se evaluó de manera cualitativa;

- Los sólidos sedimentables se midieron en conos Imhoff;
- La disminución de la demanda química de oxígeno (DQO);
- La fitotoxicidad del sobrenadante, según Zucconi y col., (1985).

4 Resultados y discusión

4.1 Análisis de las lavanderías textiles de Tepetitla de Lardizábal

A partir de los resultados del recorrido realizado en el municipio de Tepetitla de Lardizábal y de las entrevistas con propietarios y autoridades locales, se logró ubicar 24 micro y pequeñas lavanderías textiles. Dichas lavanderías se caracterizaron mediante un cuestionario y visitas a algunas de ellas. Se estableció que la mayoría son micro empresas, ya que cuentan con menos de 10 empleados y, el resto son pequeñas empresas, que se dedican al acabado de pantalón de mezclilla. Los propietarios se han capacitado en otras lavanderías, por experiencia en sus propias lavanderías (aprender haciendo) y a partir de la capacitación que reciben de los proveedores de materia prima, principalmente proveedores de colorantes. Los procesos que se llevan a cabo con más frecuencia son el blanqueo, stone, desengomado, teñido y descruce. No llevan a cabo mejoras a los procesos productivos, es decir que no estudian el proceso, ni analizan si las cantidades de reactivos, de agua y de energía, son los óptimos para sus procesos.

Los efluentes contaminados generados se envían directamente al drenaje y éste confluye en el río; en algunas de las empresas se tienen fosas de sedimentación de baja capacidad y bajo tiempo de residencia, pero ninguna de las lavanderías industriales cuenta con un sistema de tratamiento de agua. Entre las principales razones por la que no implementan sistemas de tratamiento se encuentran el costo, la falta del conocimiento técnico y de personal capacitado, ya que las MiPyME se caracterizan por sus bajos recursos financieros, tecnológicos y de innovación. El punto de venta principal de estas lavanderías es el mercado ubicado en San Martín Texmelucan, donde la mayoría de los clientes hace sus compras basadas en precio, no en la calidad de los productos. A dicho mercado concurren compradores al menudeo y al mayoreo, a los cuales no les interesa si las lavanderías industriales tienen implementados

sistemas de tratamiento de sus desechos, para disminuir el impacto de sus procesos productivos sobre el ambiente. De lo anteriormente expuesto se puede explicar, en parte, porqué las lavanderías textiles de la región no se encuentren motivadas ni obligadas para implementar sistemas de tratamiento, para evitar la descarga de contaminantes al medio ambiente.

4.2 Análisis de los efluentes de las lavanderías textiles

Debido a la creciente escasez y demanda de agua limpia, se ha vuelto imperante contar con metodologías que permitan reciclar y reusar el agua residual de los procesos industriales y, en caso de que no sea posible reciclarla o reusarla, descargarla dentro de los parámetros que indica la normatividad. Para considerar una posible recuperación y reutilización del agua, es necesario conocer las características fisicoquímicas del agua residual generada en cada uno de los procesos de acabado, que llevan a cabo las lavanderías industriales. Por lo que durante 3 meses se llevó a cabo un muestreo de las aguas residuales de una lavandería textil industrial, ubicada en Tepetitla de Lardizábal en Tlaxcala.

Las muestras de los efluentes se clasificaron de acuerdo al proceso que se estaba llevando a cabo en el momento de la recolección, a partir de esta información se logró determinar el tipo y la frecuencia con la que se llevan a cabo los diferentes procesos de acabado en la lavandería seleccionada (Tabla 2). El proceso identificado con mayor frecuencia fue el de teñido, el cual genera el agua residual más contaminada y la más difícil de tratar por la presencia de colorantes, que por lo general son recalcitrantes.

A las muestras de agua se les determinó el pH, conductividad eléctrica y DQO. En la Tabla 3 se muestran los intervalos de las mediciones para cada parámetro, en la última fila se indican los valores que

Tabla 2. Frecuencia con la que se llevan a cabo los diferentes procesos de acabado

Proceso	Frecuencia (%)
Teñido	50.0
Desengomado	21.4
Descrude	16.7
Blanqueado	7.1
Stone	4.8

marca la norma NOM-002-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles para descargas a los sistemas de alcantarillado urbano y municipal.

A partir de los datos de la Tabla 3 se observa que las aguas residuales del desengomado, teñido y stone se descargaron a un pH más ácido que el indicado en la norma. Los valores más altos de conductividad eléctrica se detectaron en las muestras del proceso de teñido ya que el cloruro de sodio se utiliza como mordiente. Es de resaltar que en la legislación actual este parámetro no está normado, a pesar de que la medición de la conductividad eléctrica es importante, ya que está relacionada con la cantidad de sales y una alta concentración de éstas es perjudicial para las propiedades del suelo, afecta la adsorción del agua y de nutrientes en las plantas (Bhoopaner y col., 2003). En la norma CE-CCA-001/89 (1989), que entró en vigor en 1989 y actualmente no está vigente, se estableció 1.0 mS/cm como máximo permisible; a partir de los datos de la Tabla 3 se observa que todos los valores de conductividad superan ese valor, lo cual indica que contienen cantidades apreciables de sales. Todas las muestras tuvieron color perceptible a simple vista, sobre todo las que provienen del proceso de teñido, éste parámetro tampoco está normado en la legislación actual, a pesar de que se ha reportado que la coloración en el agua afecta la vida acuática (Solís y col., 2012).

Tabla 3. Características fisicoquímicas de las muestras de los efluentes de los procesos de acabado textil.

Proceso	Color	pH	Conductividad eléctrica (mS/cm)	DQO mg O ₂ /L
Desengomado	Positivo	4 - 7	0 - 3.5	7 - 623
Descrude	Positivo	5.8 - 9	0.5 - 2.3	99 - 1800
Blanqueado	Positivo	7 - 8	2 - 6	300 - 500
Teñido	Positivo	4.5 - 8	8 - 31	ND
Stone	Positivo	5 - 7	2.5 - 3.5	406 - 800
NOM-002-ECOL-1996	NI	5.5 - 10	NI	DBO 30-200

ND: No se pudo determinar; NI: no está indicado en la norma

Tabla 4. Características fisicoquímicas y fitotoxicidad de las muestras de los efluentes de los procesos de acabado textil después de aplicar la sedimentación por 24 h como pre-tratamiento

Proceso	Decoloración	Sólidos sedimentables (mL/L)	Remoción de DQO (%)	Índice de germinación (%)
Desengomado	Parcial	4 - 7.5	35 - 67	70 - 100
Descrude	Parcial	0 - 20	25 - 70	20 - 50
Blanqueado	Parcial	12 - 26	35 - 65	40 - 70
Teñido	No se observa	ND	ND	0 - 5
Stone	Parcial	13 - 26	39 - 60	85-90

ND: No se pudo determinar

En todos los procesos que llevan a cabo en la lavandería textil se detectaron muestras con valores de DQO mayores a 150 mg/L, debido a la presencia de los compuestos químicos que se usan para cada proceso. No se pudo cuantificar DQO en las muestras del teñido ya que la presencia de cloruro de sodio altera la medición.

En resumen las descargas de las lavanderías textiles de la zona de estudio están fuera de la normatividad, siendo el proceso de teñido el que genera los efluentes con mayor cantidad de contaminantes y los más fitotóxicos (ver tabla 4). Es importante resaltar que el 73% de las lavanderías de Tepetitla llevan a cabo procesos de teñido, con una frecuencia aproximada del 50%, de acuerdo con los datos obtenidos. Lo cual representa una carga de contaminación muy elevada a los cuerpos de agua donde se descargan estos efluentes.

4.3 Propuesta del uso de la sedimentación como pre-tratamiento

Las muestras recolectadas se dejaron sedimentar durante 24 horas en los conos Imhoff, posteriormente se determinaron los sólidos sedimentables, si hubo o no decoloración, la remoción de DQO, así como la fitotoxicidad (Tabla 4). Con respecto a los sólidos sedimentables en todos los procesos hubo muestras que rebasaron el límite máximo permisible por la NOM-001-ECOL-1996, que es de 2 mg/L; esto es debido a que durante el procesamiento de la ropa se desprenden fibras que son insolubles y por la presencia de algunos compuestos químicos que se emplean para el acabado, que no se solubilizaron completamente. En el caso de las muestras procedentes del teñido con colores azul y negro, que son las más frecuentes, no se pudo medir éste parámetro ya que el color intenso impidió determinarlo de manera precisa.

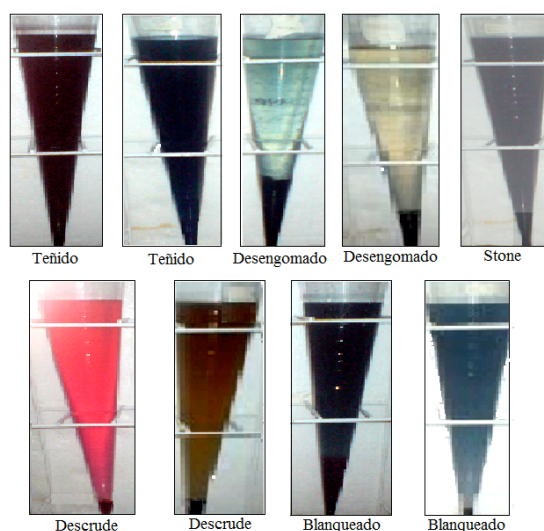


Fig. 1. Fotografías de las muestras de los efluentes de la lavandería textil, después de aplicado el pre-tratamiento de sedimentación por 24 h.

Resulta interesante observar los cambios en las muestras después de dejarlas sedimentar. En el caso del color, en la Fig. 1 se puede apreciar que el sedimento de todas las muestras tiene una intensa coloración oscura y que el color del sobrenadante ha disminuido de manera substancial, desafortunadamente en el caso de las muestras que provienen del teñido no se logra un descenso apreciable en la coloración. De manera similar la DQO se redujo apreciablemente en todos los casos, excepto para el teñido, que como ya se indicó la presencia de sales en estas muestras altera la medición de dicho parámetro; en los demás casos la disminución llegó hasta un 70% (Tabla 4). En el caso de la fitotoxicidad, si la muestra presenta un índice de germinación superior al 80% se considera como no fitotóxica (Zucconi y col., 1985); por lo que se puede decir que los efluentes de teñido son altamente fitotóxicos,

cabe resaltar que el agua residual del teñido contiene, además del colorante y otras sustancias químicas, una gran cantidad de NaCl la cual por si sola inhibe la germinación. Los efluentes correspondientes a los procesos de descruce y blanqueado, después de la sedimentación, resultaron ser fitotóxicos, mientras que los provenientes del desengomado y del stone no lo son. Esto implicaría que estos últimos efluentes podrían utilizarse para riego, previo estudios más específicos, como lo indican Gufran y *col.* (2011), quienes reportaron que las descargas de las empresas textiles pueden ser usadas para riego después de diluirse a la concentración adecuada, lo cual permitirá resolver parcialmente el problema de su disposición.

A partir de los resultados obtenidos se puede decir que las partículas de fibra que provienen de la tela que se está procesando, al sedimentar arrastran consigo tanto una parte de colorante, así como de otros compuestos químicos, por lo que el pre-tratamiento de sedimentación permite la remoción de éstas sustancias, de tal forma que el agua sobrenadante contiene una menor cantidad de contaminantes, lo cual se ve reflejado en una menor coloración (Fig. 1) y una disminución en DQO (Tabla 4).

Se han reportado diversos estudios en los cuales se ha determinado que es posible reciclar el agua en el proceso de origen o reusarla en otros procesos, ya sea con o sin un tratamiento mínimo, esto es dependiendo de las características fisicoquímicas del efluente, así como del proceso de origen y del proceso en el cual se pretende reutilizar (Erdumlu, 2012; Shaid y *col.* 2013). En cada uno de los procesos de acabado se encuentran involucradas varios pasos, en el primero las prendas se ponen en contacto con el agua que contiene las sustancias químicas necesarias para el acabado, por lo que el agua residual resultante contiene una alta carga de contaminantes, por lo general éstas descargas no se puede reusar ni reciclar sin un tratamiento. Posteriormente siguen etapas de enjuague, el agua que proviene de los pasos de enjuague de los procesos de descruce, desengomado, blanqueado y suavizado ha sido reciclada de manera eficiente en varias lavanderías (Gómez, 2008; Frey y *col.*, 2000; Savin y Butnaru, 2008).

Con base en los resultados obtenidos, se propone como pre-tratamiento de las aguas residuales a la sedimentación, la cual se puede aplicar a los efluentes provenientes de todos los procesos, ya que se eliminan los sólidos suspendidos, parte de colorante y otras sustancias químicas no disueltas, con lo cual se reduce la DQO, todo ello sin necesidad de inversión en equipo ni capacitación especial. Resulta interesante analizar

los resultados que se obtuvieron de las muestras que se originan del desengomado, ya que es el efluente menos contaminado antes de la sedimentación, después de la sedimentación el color ha disminuido apreciablemente y se tiene un agua casi transparente, así mismo la remoción de DQO fue del 35 al 67% y no resultó ser fitotóxica, es decir que se obtuvo un agua residual con características que la hacen atractiva para ser reciclada o reutilizada en otros procesos sin un mayor tratamiento. Asimismo, se puede evaluar la posibilidad de reusar o reciclar el agua que proviene de la sedimentación del agua residual de los procesos de blanqueado y stone, lo cual puede traer consigo además de las ventajas ambientales, ventajas económicas por la reducción en el costo del agua, como lo evaluó Gómez (2008).

En la zona de Tepetitla de Lardizábal, así como en otras zonas del país, las lavanderías textiles son micro y pequeñas empresas, por lo cual es complicado que éstas inviertan en sistemas de tratamiento de agua, ya que sus costos se incrementarán y su competitividad disminuirá. En este tipo de empresas se deben proponer sistemas sencillos y que no les impliquen altos costos de instalación y operación, tal es el caso de la sedimentación aplicada como pre-tratamiento, que es económico, simple de emplear, no se requiere capacitación para su implementación y no cambiaría el procesamiento del pantalón. En las lavanderías de la zona de estudio se opera solo un turno, por lo que es viable que se almacenen los efluentes contaminados, se dejen en reposo durante la noche y posteriormente al día siguiente, el agua clarificada será susceptible de reusarse dentro de la misma empresa, en alguna etapa de los procesos de acabado en donde no requiera agua limpia o para el lavado de los equipos e instalaciones (Erdumlu y *col.*, 2012). Incluso si se dificulta su reúso el agua pre-tratada puede ser enviada al drenaje, como es el procedimiento actual. Este pre-tratamiento aun cuando no es tan eficiente para el caso del teñido, ayudará a la disminución de la contaminación en los cauces de río, y no incrementará sustancialmente el costo de producción, ayudando de esta forma a disminuir el nivel de contaminación al medio ambiente. Es de resaltar que los beneficios que se obtendrían al aplicar la sedimentación serían, por un lado que las descargas a los cuerpos de agua contengan menores niveles de contaminantes y, por otro la posibilidad de disminuir el consumo de agua limpia, ya que todos los procesos se llevan a cabo usando agua limpia y ésta es cada vez más escasa. Aplicando este pre-tratamiento el impacto ambiental de la industria textil será menor.

Entre otras acciones que se pueden llevar a cabo en las lavanderías textiles, que favorecerían la gestión ambiental sin implicar un alto costo, se encuentran: rediseño de los procesos para el ahorro de agua o energéticos; en el teñido programar secuencias de producción que inicie con el teñido de tonos claros hasta llegar a los tonos oscuros, usando la misma carga de agua, ello permitirá ahorrar agua y reducir el consumo de sal, reducción de las cantidades de las sustancias químicas, del tiempo de procesamiento y del número de etapas. También se puede hacer la sustitución de materias primas por otras menos contaminantes; mejora de las formulaciones para el teñido; uso de maquinaria automatizada y de nuevas tecnologías para la disminución en el consumo de energía y de materias primas; implementación de sistemas de tratamiento, recuperación y reutilización del agua y de sustancias químicas. De acuerdo con las características fisicoquímicas del agua recuperada, reciclarla o usarla para el lavado de los equipos (Restrepo y col., 2005; Lu y col., 2010). Todo esto traerá consigo además un aumento en la productividad.

En la actualidad, en varios países existe la tendencia por implementar sistemas que permitan reutilizar el agua así como algunas sustancias químicas, de tal forma que no se tengan que purificar por completo, lo cual es muy costoso, pero sí al grado que tenga la calidad suficiente para poderse reutilizar en alguno de los procesos. Por ejemplo, en Suiza la empresa Benninger AG ha implementado sistemas de ultrafiltración en cada uno de sus procesos, logrando reutilizar el agua en porcentajes superiores al 75%, además del reúso de sosa en 75-80% (Ströhle, 2008). Capricornio Textil, empresa de Brasil, hizo inversión en desarrollo tecnológico logrando que el efluente sea tratado y reciclado en el procesamiento de los pantalones de mezclilla, disminuyendo el consumo de agua hasta en 98% (Bordignon, 2008).

Conclusiones

Para que la empresa inicie con una gestión ambiental debe conocer a fondo sus procesos, registrar el consumo de agua y de productos químicos por cada proceso, en términos del desempeño productivo y ambiental, para posteriormente definir qué procesos se pueden optimizar y reducir el consumo de agua, reactivos y energía. Investigar acerca de la naturaleza de las sustancias químicas que emplean, buscar asesoría para cambiar aquellas que sean tóxicas y definir las cantidades mínimas que necesitan de cada

sustancia. De esta forma se generarían menos residuos y se disminuyen los costos para las empresas. La sedimentación es un proceso físico que no implica grandes inversiones ni personal con capacitación especial, pero que ayuda a la disminución sustancial de los contaminantes químicos en el agua residual, la cual puede ser reciclada y reutilizada, especialmente la que proviene del desengomado, descruce, blanqueo y stone.

En cuanto a la parte de gobierno, es importante que las leyes y reglamentos para controlar la contaminación, no solo se enfoquen al control, sino también a la prevención de la contaminación. Buscar incentivos para las empresas que operen bajo tecnología limpias, así como fomentar en la sociedad el consumo de los productos de este tipo de empresas. Registrar el consumo de agua y efectuar el cobro por dicho consumo, de tal forma que las empresas se vean obligadas a desarrollar técnicas para reusar el agua en los procesos que lo permitan. Fomentar los fondos para la investigación en tecnologías más limpias. Buscar apoyos financieros y tecnológicos, que faciliten la implementación de las tecnologías limpias en la industria textil.

Referencias

- Ayaz, S.M. (2009). Water conservation in textile industry. *Pakistan Textile Journal November*, 48-51.
- Bhoopner, G., Kapoor, R. y Mukerji, K.G. (2003). Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and salinity on growth, biomass, and mineral nutrition of *Acacia auriculiformis*. *Biology and Fertility of Soils* 38, 170-175.
- Bordignon, F. (2008). Capricórnio Têxtil investe em nova unidade no Rio Grande do Norte. http://www.guiatextil.com/site/noticias/destaque/capricornio_textil_investe_em_nova_unidade_no_rio_grande_do_norte (18 de marzo de 2013).
- CAR/PL. (2002). Prevención de la contaminación en la industria textil en los países del Mediterráneo. Plan de Acción para el Mediterráneo. Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia (CARPL). Barcelona, España.
- CE-CCA-001/89. (1989). Criterios ecológicos de calidad del agua. Centro De Calidad Ambiental. México.

- Cervantes-Zepeda, A.I., Cruz-Colín, M.R., Aguilar-Corona, R., Castilla-Hernández, P. y Meraz-Rodríguez, M. (2011). Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua tratada en un reactor UASB escala piloto. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 10, 67-77.
- CGPML. (2008). Guía de buenas prácticas ambientales para el sector textil en Guatemala. Centro Guatemalteco de Producción más Limpia (CGPML). Guatemala.
- Erdumlu, N., Ozipek, B., Yilmaz, G. y Topatan, Z. (2012). Reuse of effluent water obtained in different textile finishing processes. *AUTEX Research Journal* 12, 23-28.
- EWA. (2005). Efficient use of water in the textile finishing industry. E-Water. http://www.ewaonline.de/journal/2005_08.pdf.
- Forgacs, E., Cserhati, T. y Oros, G. (2004). Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review. *Environment International* 30, 953-971.
- Frey, M.G., Zunino, C., Fernández, G. y Marino, P. (2000). Uso racional del agua en tintorerías industriales. Estudio de caso en una tintorería seleccionada de Buenos Aires, Argentina. www.bvsde.ops-oms.org/eswww/repamar/gtzproye/tinto/tinto.html (18 de marzo de 2013).
- Frondel, M., Horbach, J. y Rennings, K. (2007). End-of-pipe or cleaner production? An empirical comparison of environmental innovation decisions across OECD countries. *Business Strategy and the Environment* 16, 571-584.
- Fu, F. y Viraraghavan, T. (2001). Fungal decolorization of dye wastewaters: a review. *Bioresource Technology* 79, 251-262.
- Gómez, G.M.E. (2008). Reutilización de las aguas de la planta de tintorería de hilazas en la industria Calcetines Crystal S.A. *Producción + Limpia* 3, 48-60.
- Gufran, K.M., Daniel, G., Konjit, M., Thomas, A., Eyasu, S.S. y Awoke, G. (2011). Impact of textile waste water on seed germination and some physiological parameters in pea (*Pisum sativum* L.), lentil (*Lens esculentum* L.) and gram (*Cicer arietinum* L.). *Asian Journal of Plant Sciences* 10, 269-273.
- Jin, X.C., Liu, G.Q., Xu, Z.H. y Tao, W.Y. (2007). Decolorization of a dye industry effluent by *Aspergillus fumigatus* XC6. *Applied Microbiology and Biotechnology* 74, 239-243.
- Lu, X., Liu, L., Liu, R. y Chen, J. (2010). Textile wastewater reuse as an alternative water source for dyeing and finishing processes: A case study. *Desalination* 258, 229-232.
- Martín-González, M.A., Susial, P., Pérez-Peña, J. y Doña-Rodríguez, J.M. (2013). Preparation of activated carbons from banana leaves by chemical activation with phosphoric acid, adsorption of methylene blue. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 12, en prensa.
- Martínez-Trujillo, M.A. y García-Rivero M. (2012). Revisión: Aplicaciones ambientales de microorganismos inmovilizados. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 11, 55-73.
- Pérez-Sicairos, S., Morales-Cuevas, J., Félix-Navarro B.R.M. y Hernández-Calderón, O.M. (2011). Evaluación del proceso de electrocoagulación para la remoción de turbidez de agua de río, agua residual y agua de estanque. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 10, 79-91.
- Piña-Soberanis, M., Martín-Domínguez, A., González-Ramírez, C.A., Prieto-García, F., Guevara-Lara, A. y García-Espinoza, J.E. (2011). Revisión de variables de diseño y condiciones de operación en la electrocoagulación. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 10, 257-271.
- Ranaganathan, K., Karunagaran, K. y Sharma, D.C. (2007). Recycling of wastewaters of textiles dyeing industries using advanced treatment technologies and cost analysis - Case studies. *Resources Conservation and Recycling* 50, 306-318.
- Restrepo, M., Gómez, R., Ríos, A., Jiménez, R., Jaramillo, Z., Gutiérrez, M., Agudelo, A. y Rodríguez, N. (2005). *Evaluación técnica y económica de tecnologías para reúso de aguas de proceso en industrias de los sectores alimentos, textil, curtiembres y galvanoplastia*. Impregon, 1ª ed, Columbia, Pp. 54-60.

- Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R. y Nigam, P. (2001). Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Bioresource Technology* 77, 247-255.
- Sathiya, M.P., Periyar, S.S., Sasikalaveni, A., Murugesan, K. y Kalaichelvan, P.T. (2007). Decolorization of textile dyes and their effluents using white rot fungi. *African Journal of Biotechnology* 6, 424-429.
- Savin, I.I. y Butnaru, R. (2008). Wastewater characteristics in textile finishing mills. *Environmental Engineering and Management Journal* 7, 859-864.
- Schoeberl, P., Brik, M., Braun, R. y Fuchs, W. (2004). Treatment and recycling of textile wastewater case study and development of a recycling concept. *Desalination* 171, 173-183.
- Shaid, A., Osman, S., Hannan, A. y Bhuiyan, R. (2013). Direct Reusing of Textile Wastewater in Scouring-Bleaching of Cotton Goods Devoid of Any Treatment. *International Journal of Engineering Research and Development* 5, 45-54.
- Solís-Oba, M., Eloy-Juárez, M., Teutli, M., Nava, J.L. y González, I. (2008). Comparación de técnicas avanzadas para el tratamiento de una solución modelo de índigo: electro incineración, coagulación química y enzimático. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 8, 275-282.
- Solís, M., Solís, A., Pérez, H.I., Manjarrez, N. y Flores, M. (2012). Microbial decolouration of azo dyes: A review. *Process Biochemistry* 47, 1723-1748.
- Ströhle, J. (2008). Protecting the environment through waste water recycling and heat recovery in textile finishing. http://www.benninger.ch/uploads/media/Resource_Management_English_21_04_08.pdf. (20 de diciembre de 2012).
- Vergara-Sanchez, J., Pérez-Orozco, J.P., Suarez-Parra, R., Hernandez-Pérez, I. (2012). Degradation of reactive red 120 azo dye in aqueous solution using homogeneous/heterogeneous iron systems. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 11, 121-131.
- Yusuff, R.O. y Sonibare, J.A. (2004). Characterization of textile industries' effluents in Kaduna Nigeria and pollution implications. *Global Nest: the International Journal* 6, 212-221.
- Zucconi, F., Monaco, A., Forte, M. y De Bertoli M. (1985). Phytotoxins during the stabilization of organic matter. JKR Grasser, (Ed.), *Composting of Agricultural and Other Wastes*. Elsevier, London, U.K, Pp. 73-80.