

Uso de biopolímero en el tratamiento de aguas residuales de lavandería: optimización y automatización

Daniel Miranda Cruz, Judith Cardoso Cardoso*

Universidad Autónoma Metropolitana- Unidad Iztapalapa. Av. San Rafael Atlixco No. 186. Col. Vicentina, Alcaldía Iztapalapa
C.P. 09340, Ciudad de México. Correo electrónico: jcam@xanum.uam.mx.

Resumen: Empleando un biopolímero se trató el agua residual de lavandería hasta en tres ocasiones con un proceso fisicoquímico llamado coagulación-floculación-sedimentación acompañado de un tratamiento de desinfección con un filtro de zeolita, carbón activado y rayos UV. Se utilizó una lavadora comercial donde se lavó en 16 ocasiones diferentes tipos de ropa. Para el lavado inicial se utilizó agua potable y los siguientes lavados fueron con agua tratada. Se realizaron tres tratamientos a un mismo volumen de agua y se obtuvo en promedio un 95% de remoción de sólidos suspendidos logrando una recuperación del 85% de agua de manera directa. Las pruebas de jarras muestran que en 12 minutos se clarifican 820 litros de agua floculada. Los parámetros que se analizaron durante cada etapa de tratamiento fueron el pH y Sólidos Disueltos Totales (TDS), Turbidez y Demanda Química de Oxígeno (DQO). Para disminuir las exigencias de contar con personal calificado al momento de operar la planta de tratamiento, se instaló un Controlador Lógico Programable (PLC) y una pantalla HMI (Interfaz Humano Máquina) para el control y monitoreo en tiempo real de cada etapa del proceso. Con la instrumentación de dispositivos pulsadores, sensores de nivel y contactores se configuró un programa automático para el encendido y apagado una bombas y emisión de alertas. El control se puede hacer de forma manual con una botonera o la pantalla HMI incluso se puede ampliar la capacidad para ser operado mediante una computadora, celular o Tablet con acceso a internet.

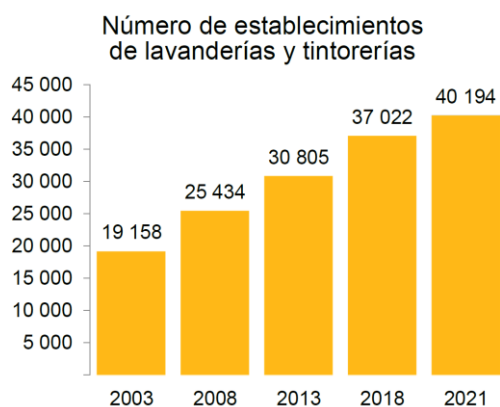
Introducción

Los problemas actuales por la disponibilidad de agua no se limitan únicamente a un tema de cantidad de agua, sino ya es un tema de calidad de agua que cada vez es más crítico debido a las actividades antropogénicas. El incremento en la población es el principal estresante del ciclo hidrológico afectando directamente a la cantidad disponible de agua dulce en los cuerpos de agua y muy alarmantemente a los cuerpos subterráneos. Las industrias son conscientes de las afectaciones y el impacto que producen sus desechos en el agua sin hacer algo al respecto, a pesar de la normatividad mexicana y la falta de vigilancia de éstas.

Uno de los puntos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuesto por la ONU, en París en 2015 que es considerado importante para la todos, es el número 6 que indica que la población tiene derecho a agua

limpia y el saneamiento del agua. Estos objetivos fueron adoptados por la asamblea general y signada por muchos países, incluyendo a México, y que se espera que se cubrieran en su totalidad en 2030. Poco se ha logrado después de 9 años y la búsqueda de soluciones para el saneamiento del agua en nuestro país es prioritaria. Una de las posibles soluciones para evitar el estrés hídrico en las principales ciudades de México, es el reuso de agua en los negocios que utilizan grandes cantidades de agua, como es el caso de autolavados, lavanderías, restaurantes, centros comerciales, etc., y que debido al aumento poblacional y sus necesidades en estas ciudades, se ha incrementado la demanda del recurso hídrico en gran medida. La industria de las lavanderías ha aumentado más del 100% en los últimos 18 años, al pasar de 19,158 establecimientos en 2003 a 40,194 en 2021. Esto equivale a un ritmo de incremento de 4.2% cada año en promedio

(ver Figura 1), este incremento significativo también representa un aumento considerable en la demanda de agua requerida para las actividades de lavado. El INEGI en 2022 ofrece un panorama económico que permite dimensionar la importancia de la industria de lavanderías en la economía mexicana.



Fuentes: INEGI. Censos Económicos 2004, 2009, 2014 y 2019. Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), 2021.

Figura 1 Evolución de lavanderías y tintorerías

En el presente proyecto se plantea ofrecer una alternativa de reúso de agua residual producto de las actividades de lavandería empleando un biopolímero en un proceso fisicoquímico llamado coagulación-floculación-sedimentación (CFS), acompañado de un tratamiento de desinfección a través de un conjunto de filtros y utilizando luz UV para dejar el agua tratada en calidad aceptable para poder reutilizarla. Adicionalmente, se buscará hacer el proceso más sostenible y evitar el uso de materia prima de importación, economizando el proceso y buscando obtener resultados satisfactorios para el reúso del agua.

Parte experimental.

Materiales.

Se utilizó como coagulante al cloruro férrico (Aldrich) y el biopolímero fue adquirido en. Los reactivos de Hanna se adquirieron directamente del proveedor

Instrumentación. Para determinar los parámetros *in situ* se siguió la metodología establecida en la Norma Oficial Mexicana

NOM-230-SSA1-2002, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua, como son: el pH, sólidos disueltos totales (TDS), y conductividad eléctrica (CE) empleando un multiparámetro marca Hanna.

Para determinar los parámetros en laboratorio se siguió la metodología establecida en la Norma Mexicana NMX-AA-038-SCFI-2001, la cual establece la determinación de la turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, el DQO de las muestras recolectadas, de acuerdo con la metodología de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) de la compañía Hanna® Instruments. Se tomó como referencia la norma NMX-AA-030/2-SCFI-2011, que establece la determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Resultados y discusión.

Se empleó un prototipo de planta de tratamiento de aguas grises ubicado en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa (UAMI). Los componentes con los que cuenta la planta de tratamiento son: una lavadora de ropa comercial con capacidad de 19 kg. un contenedor del agua (Tanque 1) que sirve como sedimentador primario y estabilizador de aguas grises, cumpliendo la función de pretratamiento en el sistema; una tolva con capacidad de 1,000 L (Tanque 2) que sirve como cámara de coagulación y floculación, y sedimentador. Posteriormente el agua pasa al Tanque 3 con capacidad de 500 L, que cumple la función de clarificador terminando así el tratamiento primario. El proceso terciario o de desinfección consiste en: dos filtros, uno de carbón activado y otro de zeolita natural, también se tiene una lampara de rayos UV que ayudan a eliminar patógenos y así llegar a valores de calidad aceptables para el reúso del agua. El Tanque 4 cuenta con capacidad de 500 L y tiene el objetivo de servir como reservorio y almacenar el agua a disposición para cuando sea requerida para su reúso. En la Figura 3 se muestra un esquema de la planta.

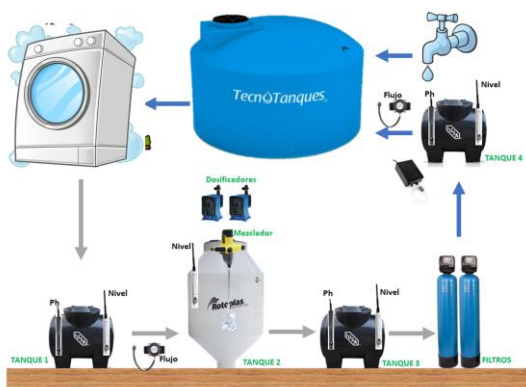


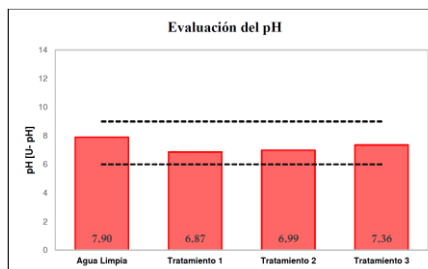
Figura 2 Esquema General Planta de Tratamiento

Se emplearon diferentes tipos de ropa: sábanas, toallas, ropa de calle y ropa blanca. Para el lavado inicial se utilizó agua potable y se empleó detergente líquido y suavizante para dar a la ropa buen olor y disminuir la cantidad de espuma que se genera durante el proceso de lavado. No se adicionó cloro para evitar tener más variables. El agua tratada fue utilizada para emplearla nuevamente en el proceso de lavado y reutilizada por tres ocasiones, bajo las mismas condiciones.

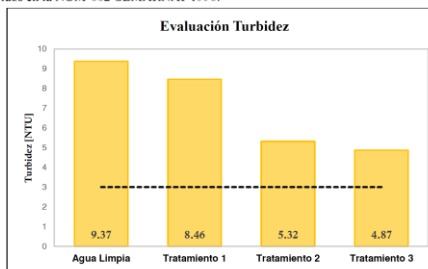
Para el reúso de agua la norma vigente es la NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. Pero los límites para estos parámetros están referidos en la NOM-002-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado. Se determinaron el pH (Fig. 4A), la turbidez (Fig. 4B), los sólidos disueltos totales (TDS, Fig. 4C) en cada ocasión que se reusó el agua. Adicionalmente, se muestra en la Figura 4D, la comparación entre la turbiedad y los sólidos totales disueltos en cada etapa del reúso.

Como puede apreciarse en la Figura 4A, después de tres tratamientos o recirculaciones de agua gris, los valores de pH se mantienen dentro del intervalo de valores vigentes, considerado como uno de los principales indicadores de calidad e indicando que se tiene un tratamiento adecuado. Los valores de pH prácticamente no cambian asociado principalmente al uso de

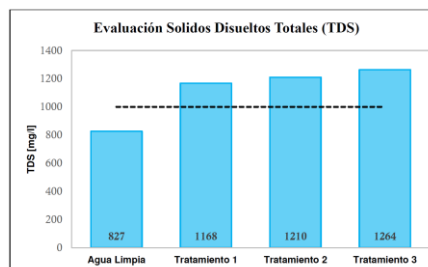
detergentes líquidos, que, debido a su formulación, utilizan enzimas y con una base fuerte, para solubilizar las grasas.



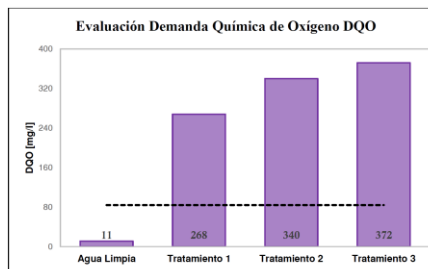
Nota: La línea negra punteada representa el valor máximo y mínimo permisible (9 y 6 U-pH) establecidos en la NOM-002-SEMARNAT-1996.



Nota: La línea negra representa el valor máximo permisible (3 NTU) establecidos en la NOM-127-SSA1-2021.



Nota: La línea negra punteada representa el valor máximo permisible (1,000 mg/l) establecidos en la NOM-127-SSA1-2021.



Nota: La línea negra punteada representa el valor máximo instantáneo (84 mg/l) establecido por la NOM-001-SEMARNAT-2021 cuando se descarga al suelo con fines para riego de áreas verdes.

Figura 3 Evaluación de parámetros de calidad del agua. La línea negra en cada caso representa el valor máximo y mínimo permisible establecidos en la normativa vigente.

Cuando en una muestra de agua existen presencia de material suspendidos la muestra presenta un valor alto de la turbidez. En la

NOM-003-SEMARNAT-1997 no se establece específicamente el valor de turbidez, pero con el apoyo de la NOM-127-SSA1-2021, "Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua", establece el límite máximo permisible de 4 unidades nefelométricas de turbidez (NTU), e indica un valor menor de 3.0 NTU a partir del segundo año posterior a la entrada en vigor de la Norma. De acuerdo con la Figura 4B, en los diferentes ciclos del tratamiento va disminuyendo desde 9.37 NTU, que presentó el agua potable. hasta valores de 4.87 NTU, en el tercer ciclo de tratamiento mejorando la calidad del agua tratada.

El parámetro TDS indica la suma de todos los compuestos orgánico, metales y sales disueltas en el agua; este indicador señala la calidad del agua y es un valor utilizado para medir la concentración de muchos otros contaminantes disueltos en el agua. En la NOM-003-SEMARNAT-1997 no se establece específicamente el valor de Sólidos Disueltos Totales, pero con el apoyo de la NOM-127-SSA1-2021, indica y establece el límite máximo permisible de 1000 mg/L en una muestra de agua. La tendencia a incrementar después de cada tratamiento se debe principalmente a la acumulación del detergente, se sugiere la instrumentación de un complemento al tratamiento como puede ser el uso de ozono, que gracias a su propiedad oxidante, ayude a degradar algunos contaminantes disueltos en el agua que no pueden ser retenidos en el tren de filtración. Es importante mencionar que el valor máximo que se presenta corresponde a agua potable e incluso con un tercer tratamiento o recirculación el valor obtenido de TDS de 1,264 mg/l representa 26.4% de acumulación de sólidos disueltos en exceso según lo permitido por la Norma para agua potable NOM-127-SSA1-2021.

De la misma forma, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) conocida como la medida del oxígeno consumido para la oxidación de la materia orgánica e inorgánica presente en el agua. En su nueva actualización que entra en vigor en marzo del 2023 la NOM-001-SEMARNAT-2021 se establece la DQO como nuevo indicador. Como el agua se reusará, se buscó algún valor que se tomara como

referencia la descarga de agua con fines para riego en áreas verdes, el valor instantáneo como límite máximo permisible es de 84 mg/L. La DQO indica que se cuenta con una acumulación de materia orgánica, esto principalmente al incremento de los sólidos disueltos totales que no pudieron ser removidos por el tren de filtración. De igual forma, el incremento en la DQO confirma la necesidad de mejorar el proceso de tratamiento en primera instancia con la implementación de ozono como tratamiento complementario al existente.

Cinética de sedimentación

Al momento de realizar un tratamiento de aguas un factor importante después del económico es el tiempo que dura todo el proceso, según el fin y las características de la planta de tratamiento, la duración jugará un papel importante. Para un proceso de recirculación en una lavandería tener tiempos rápidos es fundamental para no detener el proceso de lavado. En la Figura 5 se presenta la curva de sedimentación donde se puede observar el volumen de lodos generados y el tiempo en que llega a concretarse la sedimentación en el fondo de la tolva.

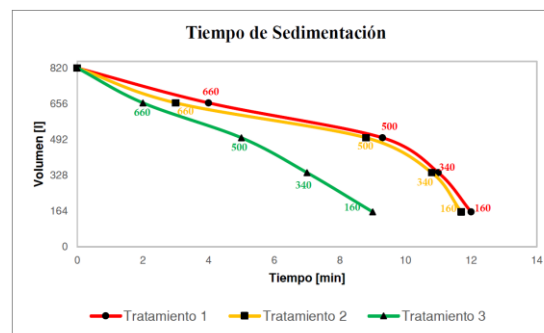


Figura 4. Tiempo de Sedimentación.

Cuando se realiza el primer tratamiento, el tiempo de sedimentación después de efectuado el proceso de coagulación y floculación es de 12 minutos del proceso de sedimentación y 150 litros de lodos, que tienen que ser separados y puestos a disposición. El segundo tratamiento muestra un comportamiento muy parecido a la curva de sedimentación del agua tratada por primera vez. En cambio, para la tercera cinética de sedimentación, bajó considerablemente en un

25% el tiempo de sedimentación, logrando disminuir de 12 minutos a 9 minutos. La cinética que presenta la planta de tratamiento que en 12 minutos se están clarificado 850 litros de agua floculada, lo cual indica un 85 % de recuperación de agua y puede recurrirse más agua, al deshidratar los lodos, lográndose en promedio un 90% de recuperación.

Propuesta de la optimización del proceso

De acuerdo con la Figura 4, es necesario trabajar en la mejora de los sólidos totales disueltos (TDS) y la demanda química de oxígeno (DQO), ya que estos valores se van incrementando en cada ciclo de tratamiento. Esto podría realizarse introduciendo un ozonizador que pueda oxidar la materia orgánica, principalmente el detergente, que no puede eliminarse con el actual tratamiento terciario que recibe el agua. Seguir por métodos espectroscópicos la disminución del detergente. Esto garantizaría el reuso del agua por más ciclos.

La automatización fue también un tema de mejora para el proceso de reuso del agua. Para ello fue necesario poner sensores de pH, STD, temperatura, turbiedad. Esto permitirá al operario tener los valores de los principales parámetros en tiempo real. Empleando un PCL la automatización se redujo considerablemente ya que uno puede controlar al sistema desde una pantalla o incluso desde un celular o computadora. No se requiere de personal que esté al pendiente de encender o apagar las bombas, gracias a el monitoreo de niveles esa acción se hace automáticamente. También se pueden configurar para no cometer errores gracias a su implementación de alertas y bloqueos

Automatización.

Para optimizar la operación, disminuir a las personas las exigencias sensoriales y de fuerza se instaló un Controlador Lógico Programable (PLC) y una pantalla HMI (Interfaz Humano Máquina) para el control y monitoreo en tiempo real de cada etapa del proceso. Con la instrumentación de dispositivos pulsadores, sensores de nivel y contactores se configuró un programa automático para el encendido y apagado una

bombas y emisión de alertas. El control se puede hacer de forma manual con una botonera o la pantalla HMI, pero también realiza funciones de manera automática.



Figura 5. Elementos físicos para control (PLC, HMI y Botonera)

El PLC tiene una ventaja intrínseca sobre otros dispositivos de automatización y es que en un lapso de milisegundos evalúa los sensores, y realiza una acción en función de la programación previamente establecida. Para la configuración de la Planta de Tratamiento se utilizaron un total de 7 pantallas o screen para poder apreciar la distribución y jerarquía que tiene cada elemento.

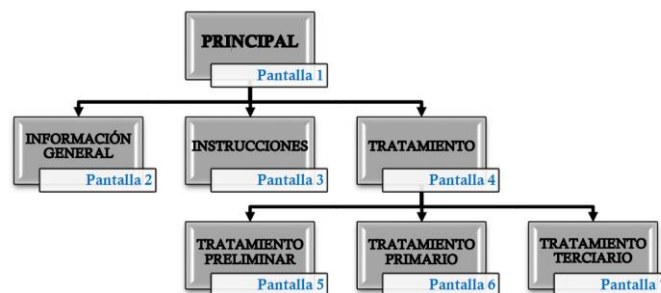


Figura 6. Jerarquía de automatización en HMI

Conclusiones.

Se establecieron las condiciones óptimas de lavado para poder ser reutilizada al menos tres veces: el detergente debe ser líquido y seguir las indicaciones del fabricante; usar siempre la lavadora con carga completa para optimizar el uso del agua, Se optimizó el tiempo de sedimentación y se propuso la optimización de la planta empleando un PCL.

Agradecimientos.

A la UAM por su apoyo financiero a través de los proyectos de maduración tecnológica 2024

Referencias.

1. Cabrera Bermúdez, Xiomara, & Fleites Ramírez, Marisol, & Contreras Moya, Ana M. (2009). Estudio del proceso de coagulación-floculación de aguas residuales de la empresa textil "desembarco del granma" a escala de laboratorio. Tecnología Química, XXIX (3),64-73
2. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales NOM-001-SEMARNAT-1996 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Publicado el 6 de enero de 1997 en el Diario Oficial de la Federación. Última actualización NOM-001-SEMARNAT-2021 (entra en vigor marzo, 2023)
3. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. NOM-002-SEMARNAT-1996 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Publicada el 3 de junio de 1998 en el Diario Oficial de la Federación.
4. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. NOM-003-SEMARNAT-1997 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. Publicada el 21 de septiembre de 1998 en el Diario Oficial de la Federación.
5. Secretaría de Salud. NOM-127-SSA1-1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Publicada el 16 de diciembre de 1999 en el Diario Oficial de la Federación. Última actualización NOM-127-SSA1-2021 (entra en vigor en mayo 2023)
6. SEMARNAT, Consulta Técnica: Indicadores de Calidad del Agua. Sitio web consultado el 27/10/22
http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_R_AGUA05_01&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce
7. INEGI, Colección de estudios sectoriales y regionales. Conociendo la industria de lavanderías y tintorerías. 2022
8. Estelrich, Ana Robert. (24 mayo, 2020). Acción limpiadora de un detergente: La espuma. Química para no Químicos.
<https://oushia.com/accion-limpiadora-de-un-detergente-la-espuma/>