

REMOCIÓN DE COLOR CON BIORREACTOR DE MEMBRANA EN AGUAS RESIDUALES DE ORIGEN TEXTIL DEL MUNICIPIO DE TECPÁN, DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO

Por Mónica Pamela Mejía Doradea¹
Guatemala

RESUMEN

Las aguas residuales del Municipio de Tecpán, Chimaltenango presentan color característico de aguas residuales de tipo industrial. La tinción de textiles en el lugar es actividad industrial importante que incluye dentro del proceso productivo, el uso de agua, que posteriormente es descargada con características físicas y químicas alteradas sin tratamiento previo al Río Xayá. Se realizó la caracterización de las aguas residuales y el color es un parámetro crítico que ha aumentado a través del tiempo y ello puede estar relacionado con la tinción de textiles. El valor máximo medido de color en dos descargas importantes del municipio es de 1,375 UC.

Para la eficiente remoción de color, se propone aplicar tecnología alterna y nueva mediante el uso de biorreactor de membrana como opción vanguardista para resguardar la salud, la preservación del ambiente y cumplir con la legislación vigente. El sistema presenta mayor eficiencia en remoción de materia orgánica, microorganismos y colorantes que el sistema tradicional, el de lodos activados. Mediante el tratamiento con membranas, se asegura mayor calidad del agua tratada, libre de sólidos suspendidos, obteniendo así rendimientos de tratamiento superiores, utilización de menor área que el método tradicional, calidad del efluente potencialmente reutilizable, baja producción de lodos y la posibilidad de prescindir de tratamiento terciario costoso.

Palabras clave: color, aguas residuales, características de aguas residuales, biorreactor de membrana, tinción de textiles, sistema de tratamiento de aguas residuales.

ABSTRACT

Wastewater of Tecpán, Chimaltenango is colored due possibly to industrial wastewater. Textile dyeing is an important industrial activity, within the production process includes the use of water which is then discharged with physical and chemical characteristics altered to Xayá River. Given the characterization of the wastewater made, a critical parameter that has increased over time is color, and may be related to the textile dyeing. The maximum value measured of color on two important wastewater downloads is 1,375 UC.

For the efficient removal of color, an alternative and new technology can be implemented by using membrane bioreactor as edgy option to protect the health, preserve the environment and comply with current legislation. The system is more efficient in removing organic matter, microorganisms and dyes than the traditional system, the activated sludge. By treatment with membrane ensures better quality of treated water, free of suspended solids, obtaining superior purification treatment, use of a smaller area than the traditional method, potentially reusable effluent quality, low sludge production and the possibility of leave out expensive tertiary treatment.

Keywords: color, sewage, wastewater characteristics, membrane bioreactor, textile dyeing, sewage treatment system.

INTRODUCCIÓN

Se realizó la caracterización de aguas residuales del municipio de Tecpán durante abril y mayo del año 2011. Se efectuaron cinco muestreos simples en cuatro ubicaciones en el trayecto del río Xayá en las cercanías del mencionado municipio con el objetivo de evaluar el impacto. Se evaluaron parámetros físicos y químicos en dos descargas importantes de aguas residuales localizadas cerca del Estadio Municipal y del lavadero, ubicados al sur del municipio. Los otros puntos de muestreo analizados, fueron antes y después de las descargas.

Las muestras se trasladaron al Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria "Dra. Alba Tabarini" donde se realizó la medición del color. Se comparó con el el Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 donde especifica como límite máximo permisible a cumplir para el año 2015, el valor de 1,000 UC. Los dos puntos analizados que corresponden a las descargas evaluadas, presentaron valores sobre el límite máximo permisible, siendo el punto más crítico, la primera descarga (o Punto 2). La Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala –EMPAGUA– realizó análisis en tres puntos de muestreo coincidentes con este estudio. La comparación numérica de estos resultados, indica que el valor del color se ha incrementado en todos

los puntos de muestreo, siendo el más significativo, el valor de la segunda descarga con 636% de aumento.

El uso de biorreactor de membrana puede permitir la reducción de presencia del color a valores permitidos de las aguas residuales del municipio de Tecpán, siendo un método actual y eficiente en remoción de colorantes.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Tecpán, municipio del Departamento de Chimaltenango, está ubicado a 87 kilómetros de la ciudad capital por la carretera Interamericana y se ubica en las coordenadas 14°46'7.5" Latitud Norte y 90°56'19.44" Longitud Oeste. Colinda al Norte de Joyabaj (Quiché), al Este con Santa Apolonia y Comalapa (Chimaltenango), al Sur con Santa Cruz Balanya y Patzún (Chimaltenango), al Oeste con

Chichicastenango (Quiché), y San Andrés Semetabaj y San Antonio Palopó (Sololá), que conecta con la carretera interamericana CA-1 aproximadamente a ½ kilómetro. La altitud varía desde los 1800 hasta los 3100 msnm. La precipitación promedio anual es de 2,730 mm. La extensión territorial es de 201 km².

En cuanto a recursos hídricos, la oferta de caudales generados por las microcuencas (Xayá-Pixcayá) es de 1.24 m³/s, siendo el mayor aporte el río Pixcayá. Las características de aguas residuales muestran que desde el punto de vista físico y químico, el agua no se considera potable; y aunque desde el punto de vista agrícola es apta para riego, la utilización actual se limita por la contaminación que presenta. En dicho municipio no se dispone de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Figura No. 1 Identificación de Puntos de Muestreo en el municipio de Tecpán.



Tabla No. 1 Descripción de puntos de muestreo

Fuente: Elaboración propia

NOMBRE DEL PUNTO DE MUESTREO	DESCRIPCIÓN	COORDENADAS
Punto 1: Antes de la primera descarga	Punto en medio del cauce del río, 10 cm bajo la superficie. Agua visualmente cristalina. Fondo del río con lodo en ese punto.	14°45'27.34"N, 90°59'30.31"O
Punto 2: Primera Descarga	Descarga de aguas residuales, principalmente de uso doméstico. Se mantiene una presencia de espuma. Presenta coloraciones distintas.	14°45'34.25"N, 90°59'1.37"O
Punto 3: Segunda descarga	Descarga de aguas residuales. Diferencia visual de la anterior en cuanto al tipo de agua puesto que a partir de las 8:00 horas presenta coloraciones distintas. Está frente al lavadero municipal. Se percibe olor fétido.	14°45'42.78"N, 90°59'1.37"O
Punto 4: Molinos Helvetia	Punto de muestreo a 10 metros después de la presa de Molinos Helvetia. No se percibe olor ni coloración en el caudal que adquiere rapidez en ese punto	14°43'33.5"N, 90°59'17.62"O

METODOLOGÍA

Con la información y sugerencia de EMPAGUA y la Municipalidad de Tecpán, se definieron 4 puntos de muestreo.

Las descargas analizadas son las más próximas entre sí y de impacto significativo.

Las descargas pueden ser accesibles por personas y animales y carecen de señalización.

Se procedió a la recolección de muestras de aguas residuales en cuatro puntos de muestreo en cinco oportunidades durante abril y mayo de 2011.

Se hicieron los análisis con muestras simples, porque el flujo de agua residual no es continuo y la descarga de contaminantes es intermitente.

La cantidad de muestras corresponde a un número menor que el resultado obtenido de operar matemáticamente

$$N = \left(\frac{ts}{U}\right)^2,$$

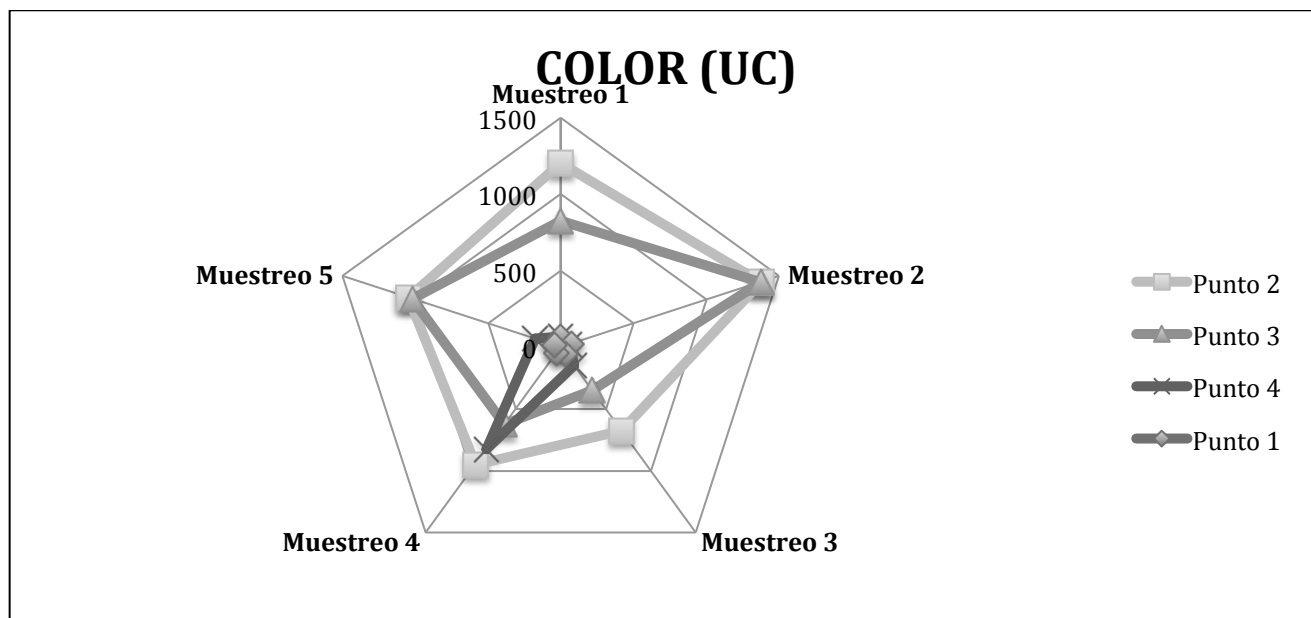
donde N es el número de muestras, t es el estadístico de Student, s es la desviación estándar y U el nivel aceptable de incertidumbre; lo que corresponde a ser económica y cronológicamente factible.

La determinación del color se hizo con el colorímetro DR2010 con el Método 8025, Método Estándar *America Public Health Association* –APHA- de platino-cobalto.

La Unidad de Color (UC) es el color producido por un mg/l de platino en la forma de ion cloroplatinat

RESULTADOS DE LABORATORIO

Figura No. 2 Resultados del color medido en 4 puntos de muestreo, durante 5 muestreos.



Fuente: Elaboración propia

EMPAGUA realizó análisis del 2006 al 2010 en 3 puntos de muestreo coincidentes. A continuación se presenta una comparación entre los valores promedio obtenidos en la realización del presente estudio y los obtenidos por la empresa municipal.

Tabla No. 2 Valor promedio medido del color

COLOR (UC)				
VALOR PROMEDIO	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
ESTUDIO 2011	58.4	1,050.0	839.0	256.4
EMPAGUA 2006-2010	92.0	165.0		277.5

Fuente: EMPAGUA/Elaboración propia

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La industria textil puede generar aguas residuales que se pueden diferenciar por el tipo de proceso: acabado de algodón, lavado de lana, fibras sintéticas, y el teñido; para las cuales en ocasiones se utiliza soda cáustica, ácido acético, peróxido de hidrógeno, hipoclorito, almidones hidrolizados, causando que las aguas residuales sean ricas en grasas, acrilonitrilos sulfonados y componentes con estructuras químicas inusuales que pueden ser biológicamente metabolizadas.

Las aguas residuales industriales no presentan un riesgo potencial de contaminación por microorganismos patógenos, pero sí lo tienen en cuanto a los daños potenciales provocados al ambiente, tanto de forma directa como indirecta por las reacciones químicas que ocasionan, causando distintos niveles de toxicidad.

El color de las aguas residuales es producido principalmente por sulfuros metálicos, un tipo de ligninas, taninos, ácido húmico, lo que hace estéticamente inaceptable el agua para uso público. Si el agua residual con colorante es de origen industrial, puede indicar contaminación o deterioro de los procesos productivos.

El color se asocia con el tipo de actividad industrial que origina la descarga. Entre los residuos industriales de color fuerte se tienen los de la industria de colorante de textiles. Existen diferentes tipos de colorantes, y entre el 60% y 70% de los colorantes aplicados en la industria textil son compuestos de tipo azo.

La situación particular del municipio de Tecpán, departamento de Chimaltenango, en cuanto a la disposición final de las aguas residuales, está determinada por una de las importantes actividades económicas: la tinción de textiles e hilo. Una actividad que ha permitido el desarrollo social del lugar pero que ha tenido un impacto sobre las descargas del agua utilizada en dichos procesos hacia el Río Xayá.

Si se considera que una de las actividades productivas del municipio de Tecpán es la tinción de textiles a nivel industrial y a pequeña escala, el valor del color está asociado a lo anterior.

El límite máximo permisible de color según el Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 es de 1,000 UC, valor que debe ser cumplido para el dos de mayo de dos mil quince como máximo.

Según el comportamiento observado, los resultados para el Punto 1 se mantienen constantes y bajo el límite mínimo permisible. De los análisis realizados, dos resultados del lugar de muestreo identificado como "Punto 2: Primera Descarga", superaron el límite permisible: 1,200 y 1375

UC. En el sitio identificado como "Punto 3: Segunda Descarga" se obtuvo el valor de 1,375 UC, en uno de los muestreos realizados. Ambos puntos corresponden a las descargas analizadas, siendo el Punto 2 (o primera descarga) el lugar muestreado más crítico puesto que tiene un promedio de 1050 UC (50 UC mayor que el límite establecido). El parámetro se restablece aguas abajo, en el Punto 4 (o Molinos Helvetia) alcanzando valores permitidos.

En el recorrido del cuerpo de agua, el color disminuye. Probablemente por autodepuración del cuerpo receptor.

En comparación con los resultados obtenidos del 2006 al 2010 por EMPAGUA en puntos de muestreo coincidentes, existe aumento considerable, principalmente en el Punto 2. En el punto de muestreo ubicado en Molinos Helvetia, el valor del parámetro es constante entre los dos estudios.

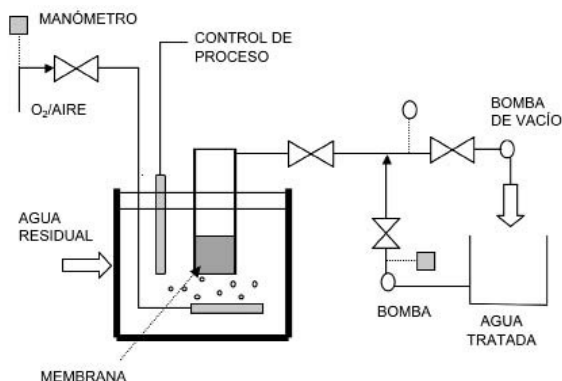
Los valores máximos deberán disminuir al transcurrir el tiempo, sin embargo, no es factible esperar que la actividad económica de tinción de textiles disminuya también.

TECNOLOGÍA PROPUESTA

Dado que la descarga de las aguas residuales es directamente a un cuerpo de agua, es necesario prevenir el daño. Una propuesta de tratamiento para aguas residuales con colorantes debe ser en función de parámetros físicos y químicos.

El color de las aguas residuales objeto de este estudio, es un parámetro crítico que ha causado pugna social, política y ambiental. Es perceptible visualmente ocasionando contaminación visual. Los resultados obtenidos indican la presencia y extralimitación de valores permitidos por la legislación guatemalteca. Por lo tanto, es posible considerar el proceso de Biorreactor de Membrana como solución tecnológica.

Figura No. 3. Esquema de biorreactor de membrana



Fuente: Bibliografía, Referencia No. 3.

Un biorreactor de membrana es un sistema que permite controlar el tiempo de retención hidráulica, elimina o retiene alto porcentaje de sólidos suspendidos y microorganismos, presenta elevada tasa de eliminación de materia orgánica, tiene menor producción de lodos, permite la puesta en marcha rápido, requiere de menor área constructiva, permite mayor estabilidad del efluente.

La eficiencia del sistema puede ser atribuida a un floc disperso que atrapa mayor cantidad de partículas coloidales.

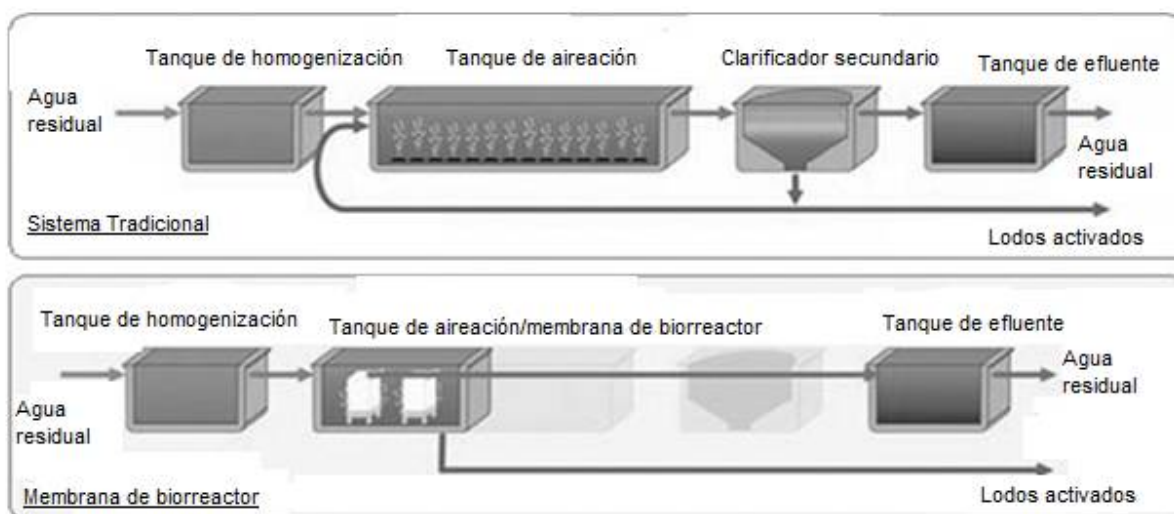
El sistema puede ser compuesto por lo menos de un tanque de alimentación, donde se produce el proceso biológico que permite la degradación de la materia orgánica, una bomba de succión para aspirar el agua residual a través de la membrana, un tanque de lavado, tanque de retrolavado para la membrana, el control de mando para sistematización y automatización, y un tanque de almacenamiento de la solución limpiadora. El efluente es

descargado del sistema y la biomasa es devuelta al tanque de alimentación. El exceso de lodo es purgado.

El tipo de membrana utilizada puede ser una que tenga diámetro de poro de 0.2 micrómetros porque puede retener prácticamente la totalidad de sólidos en suspensión y microorganismos; debe ser inerte, fácil de limpiar y regenerar, resistente a agentes químicos, presiones y temperaturas elevadas, neutra, incombustible, duradera y fácil de sustituir, entre otros requerimientos técnicos y económicos.

Estudios realizados indican que este sistema de tratamiento de aguas residuales puede duplicar la eficiencia del proceso de lodos activados, que es la metodología convencional para remoción de colorantes. Una ventaja es que la membrana no deja pasar las bacterias sin que sea necesaria una etapa secundaria, como la sedimentación; o una terciaria, como la filtración con arena.

Figura No. 4. Esquema comparativo de proceso con lodos activados y biorreactor de membrana



Fuente: Bibliografía, Referencia No. 10

La forma y costo de adquisición de membranas se ha vuelto más accesible y resultan ser más efectivas.

CONCLUSIONES

Las aguas residuales descargadas por el municipio de Tecpán hacia el Río Xayá no presentan valores típicos de agua residual de tipo doméstico.

El valor del límite máximo permisible del color, según el reglamento guatemalteco, debe ir disminuyendo progresivamente hasta alcanzar los 500 UC en el año 2029. Sin embargo, el valor del color de las aguas residuales del municipio de Tecpán ha aumentado, creando pugna intersintitucional, contaminación en el Río Xayá y aguas abajo, incumplimiento legal, contaminación visual, posible depreciación del valor adquisitivo de inmuebles en el entorno a las descargas y riesgo para la salud.

Para cambiar el comportamiento cultural hacia la naturaleza y extender las opciones de tratamiento óptimo, se propone beneficiarse de la tecnología y ciencia, tratando las aguas residuales con un sistema de biorreactor de membrana, puesto que ofrece mayor rendimiento en remoción de colorantes, así como otros parámetros que coincidan con los presentes en exceso según la caracterización realizada. Es un mecanismo que se basa en la separación de sólidos en suspensión en una solución acuosa por medio de una diferencia de presión. Mientras que el agua penetra a través de la membrana, el contenido de sólidos, las bacterias e incluso la mayoría de los virus son retenidas en el lado concentrado sobre la superficie de la membrana donde pueden ser eliminados con el retrolavado.

La aplicación de este tratamiento es motivada dada el área ocupada (menor que otro método tradicional), calidad del efluente producido (potencialmente reutilizable), baja producción de lodos y la posibilidad de prescindir de tratamiento terciario costoso.

Es imperativo el monitoreo de la calidad del agua continua y eficientemente en todas las descargas y que se implemente un sistema de tratamiento, valorizando el bienestar de habitantes y entorno como prioridad, atendiendo así mismo los mandatos legales.

BIBLIOGRAFÍA

ACUERDO GUBERNATIVO NO. 236-2006. REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS. Guatemala. Diario de Centroamérica. 5 de mayo de 2006. Guatemala.

BAUNMGARTEN, S. SCHÖDER, H., PINNEKAMP, J. 2006. Performance of membrane bioreactors used for the treatment of wastewater from the chemical and textile

industries. Wat. Sci.& Technol, On-line version ISSN 2145-9371.

Biorreactores de membrana: tecnología para el tratamiento de aguas residuales. Universidad Veracruzana. *Disponible en:* <http://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol24num3/articulos/>. Consultado el 11 de agosto de 2013.

CORADO, H. 2010. Diseño de un biorreactor de membrana para la regeneración de las aguas residuales en un establecimiento hotelero. Tesis de grado de la Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING. Microbiology for Sanitary Engineers. Universidad de Kansas. Mc Graw Hill Series in Sanitary Engineering.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Waste Water Collection, Treatment and Storage. USA: EPA. 1999.

METCALF & EDDY. 1996. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. México: Mc Graw Hill.

RUIZ, J. 2010. Construcción y Monitoreo de Variables de un Prototipo para el Tratamiento Biológico de un Efluente con Colorante Naranja II, Mediante el Hongo *Trametes Versicolor*. Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Departamento de Mecatrónica. México.

SALAZAR, L., CRESPI, M, SALAZAR, R. 2009. Treatment of textile waste water by membrane bioreactor. Ingeniería y Desarrollo 26, ISSN: 0122-3462.

ULTRA PURE TECH DIVISION. Biorreactores de membrana MBR. *Disponible en:* http://www.ultrapure.info/productos_MBR/bioreactores_membrana_MBR.asp