



Vol. 3, No. 1, 1-10, 2010
ISSN 0718-378X

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

TRATAMIENTO BIOLÓGICO CON BIOMASA SUSPENDIDA ANAEROBIO/AEROBIO DE UN AGUA REAL TEXTILERA CON COLORANTE AZO

Ana Cecília Tomasini Ortiz ^{1*}
Gabriela Eleonor Moeller Chávez ¹

BIOLOGICAL TREATMENT WITH SUSPENDED ANAEROBIC/AEROBIC BIOMASS OF A REAL TEXTILE WASTEWATER WITH AZO DYES

ABSTRACT

Wastewater treatment from dyes of textile industry is a great environmental problem, to which a lot of attention has been given because many of this products used for dyeing in the textile industry are toxic. Such is the case of azo dyes, most of them are toxic and non-biodegradable and they are discharged to water bodies and channels with no change in their structure and remaining for long periods in the stream.

As a pretreatment to this wastewater a coagulation – flocculation process was applied and then a sequenced anaerobic + aerobic + granular activated carbon (GAC), using the last step as a polish treatment. Global COD removal efficiency of 92% was achieved (21% for the anaerobic step, 79% for global anaerobic + aerobic step and 92% for the anaerobic + aerobic + GAC). Related to color removal this had 97% removal efficiency. For BOD₅ a 74% removal was achieved for the anaerobic step, and a 89% for the anaerobic + aerobic step and 98% efficiency was achieved for the global process. For TOC the removal efficiency achieved for the anaerobic effluent was 53% and 78% for the anaerobic + aerobic stage and 98% for the global process (anaerobic + aerobic + GAC).

Related to the toxicity test, this was measured by *Vibrio fischerii*, *Daphnia magna* and *Selenastrum capricornutum* bioassays.

Toxicity results were different depending on the used bioassay. Using *Vibrio fischerii* the measured toxicity was high, after GAC filtration the toxicity was not detected. Using *Daphnia magna* the results reported moderate toxicity for the influent and anaerobic effluent. Toxicity was not detected after the aerobic treatment and also for the global sequenced treatment. For *Selenastrum capricornutum* moderate toxicity was reported for the influent and anaerobic effluent, no toxicity was detected for the anaerobic + aerobic effluent, and for the global sequenced process (anaerobic + aerobic + GAC) a moderate toxicity was reported.

Key Words: Azo dyes, biologic treatment, flocculation, toxicity.

¹ Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

* Contact Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac N° 8532, Progreso, Jiutepec, Mor. C.P.62550, México.
52(777)329-36-00, ext. 377; FAX. 52(777)329-36-63; mail: atomasini@tlaloc.imta.mx; gmoeller@tlaloc.imta.mx

RESUMEN

El tratamiento de aguas residuales de la industria de colorantes y textil es un problema ambiental al que se le ha dado mucha atención ya que muchos colorantes utilizados en la fabricación de textiles son tóxicos y no son biodegradables, y en consecuencia son descargados a canales y ríos permaneciendo por largos periodos en el ambiente.

Al influente se le aplicó un pretratamiento de coagulación-floculación y luego se pasa por el proceso secuencial anaerobio+aerobio+carbón activado granular (CAG) como pulimento. El agua tratada mediante este sistema presentó una remoción total del 92% de la DQO (21% en el proceso anaerobio, 79% en el anaerobio+aerobio y 92% en anaerobio+aerobio+CAG). En cuanto a la reducción del color, este se reduce en un 97%. Para la DBO₅, el porcentaje de remoción fue del 75% en el efluente anaerobio, del 89% en el efluente anaerobio+aerobio y 987% en el efluente anaerobio+aerobio+CAG. El COT, se remueve en el efluente anaerobio es un 53%, en el efluente anaerobio+aerobio en un 78% y en el efluente anaerobio+aerobio+CAG en un 98%.

En cuanto a la toxicidad de estos efluentes, esta fue medida mediante las pruebas con *Vibrio fischeri*, *Daphnia magna* y *Selenastrum capricornutum*. El valor de la toxicidad fue variable en función de la prueba utilizada: con *Vibrió fischeri* se presentó el agua con toxicidad alta y es hasta el efluente de CAG en donde la toxicidad no se detectó. Con *Daphnia magna* se reportó como toxicidad moderada el influente y el efluente anaerobio, siendo toxicidad no detectada en el efluente anaerobio+aerobio y el efluente anaerobio+aerobio+CAG. Por último, con *Selenastrum capricornutum*, se reportó como toxicidad moderada en el influente y el efluente anaerobio, en el efluente anaerobio+aerobio no se detectó toxicidad, y por último en el efluente anaerobio+aerobio+CAG se presentó toxicidad moderada.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales de la industria de colorantes y textil es un problema ambiental al que se le ha dado mucha atención ya que muchos colorantes textiles son tóxicos y no son biodegradables, y en consecuencia son descargados a canales y ríos permaneciendo en el ambiente sin cambios. Muchos de los colorantes que existen en el mercado, como los del tipo azo, son xenobióticos, por lo que con frecuencia se necesita más que un proceso biológico de tratamiento para su remoción total y los subproductos generados en su remoción, conocidos como metabolitos (aminas aromáticas, algunas potencialmente carcinogénicas), presentan problemas de toxicidad, por lo que se hace indispensable la mineralización completa del colorante, mediante su tratamiento anaerobio-aerobio en secuencia.

El tratamiento biológico convencional para el tratamiento de aguas residuales municipales e industriales biodegradables hace uso de un consorcio microbiano cuya población mayoritaria es

de bacterias heterótrofas o degradadoras de materia orgánica. Los colorantes azo son generalmente persistentes bajo condiciones aeróbicas y, en condiciones anaeróbicas, este tipo de colorantes sufren una reducción por acción de bacterias anaerobias produciendo aminas aromáticas, las cuales son recalcitrantes en los sistemas de tratamientos anaeróbicos y requieren condiciones aeróbicas para su degradación mediante un consorcio de bacterias cuyo aceptor final de electrones es el oxígeno molecular presente debido a las condiciones aeróbicas del sistema. La reducción anaeróbica del grupo azo es no específica, por lo que para el tratamiento de este tipo de moléculas se requiere entonces una etapa anaeróbica y luego una aeróbica para lograr en primera instancia el rompimiento del grupo azo, cromóforo y luego en una segunda etapa, la mineralización de las aminas producidas en la primera etapa. El grado de degradación de un colorante estará determinado por la estructura del mismo (Quezada *et al.* 1999; Van der Zee *et al.*, 1999; Bishop, 1996, Kulla, 1981; Pagga & Brown, 1986).

OBJETIVO

Remover por medio de un tratamiento biológico de un efluente de una industria textilera los residuos del colorante azo.

METODOLOGÍA

Se trabajó con un agua real con colorante que descarga al río Atoyac, en el Edo., de Puebla. La descarga se registró como Santa Ana Xamimilulco, Pue., (figura 1) y se localiza a 2,216 msnm de altitud, en las coordenadas Latitud norte 98° 12' 27" y Longitud oeste 19° 22' 01". En este poblado, la mayoría de la gente se dedica al teñido y lavado de mezclilla, ya sean en negocios particulares o pequeñas empresas. En esta población para el teñido de la mezclilla se utiliza un colorante azo que se conoce comercialmente con Azul Índigo.



Figura 1. Descarga de agua residual municipal con colorante azo Santa Ana Xalmimilulco, Pue.

Ya que el agua residual de la textilera presentaba muchas partículas suspendidas, muy probablemente de algodón, lo cual interfería en la lectura de color por absorbancia, se tuvo que realizar un pretratamiento por coagulación-floculación. Se realizó una prueba de jarras para determinar la dosis mínima de sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) requerido para la floculación.

Se preparó una solución al 10% de sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), pesando 100 g de sulfato de aluminio y se disuelven en 1000 mL, obteniendo así una concentración final de 100g de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ en 1 mL. De esta solución se tomaron las dosis para la prueba de floculación de donde se obtuvieron los resultados presentados en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados de floculación con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ para la selección de dosis ideal.

Jarra	Dosis (μL)	Concentración $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (mg)	Tiempo de sedimentación (minutos)	DQO mg/L	Turbiedad (FAU)	Color (Pt/Co)
1	300	30	18	268.78	226	287
2	400	40	15	298	248	228
3	500	50	10	352	250	202
4	800	80	13	317.10	274	393
5	1200	120	5	322	229	386
6	1500	150	3	332.14	222	366

A cada vaso con 2000 mL de agua de textilera, se le agregó la dosis seleccionada mezclando rápidamente por 5 minutos a 150 rpm y se dejó flocular lentamente por 30 minutos a 20 rpm. La velocidad de la floculación debe de ser lenta para evitar el rompimiento de dicho floculo (figura 2).



Figura 2. Prueba de jarras para coagulación-floculación.

Mediante los análisis de demanda química de oxígeno (DQO), turbiedad y color (Pt/Co) se determinó la dosis óptima para utilizar el floculante adecuado. También se midió el pH inicial, que fue de 8.03 y el pH final, 7.0. De acuerdo a los resultados mostrados en la tabla 9 se eligió la dosis de 1500 μL , para tratar el agua real, antes de pasar por el tren de tratamiento anaerobio + aerobio + CAG.

Se montó un tren de tratamiento como se muestra en la figura 3, por donde se hace pasar el agua de la textilera. El modo de alimentación de los reactores fue en BACH y se describe a continuación: Se suspendió la agitación y la aeración, dejando sedimentar los lodos de dichos reactores. Posteriormente se retiró aproximadamente siete litros de agua sobrenadante, de la que se tomaron muestras para los análisis de DQO, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), carbón orgánico total (COT), color (Pt/Co) y toxicidad. Ya obtenido el agua sobrenadante se prosigue con la alimentación poniendo en el reactor de biomasa suspendida anaerobio 7L del agua real de textilera (influyente), los 7L obtenidos del reactor anaerobio se ponen en el reactor de biomasa suspendida aerobio y por último los 7L obtenidos del reactor aerobio pasan por el carbón activado, obteniéndose de esta forma el efluente final. Esto se realizaba cada 24 horas (Moeller-Chávez, *et al*, 2002).

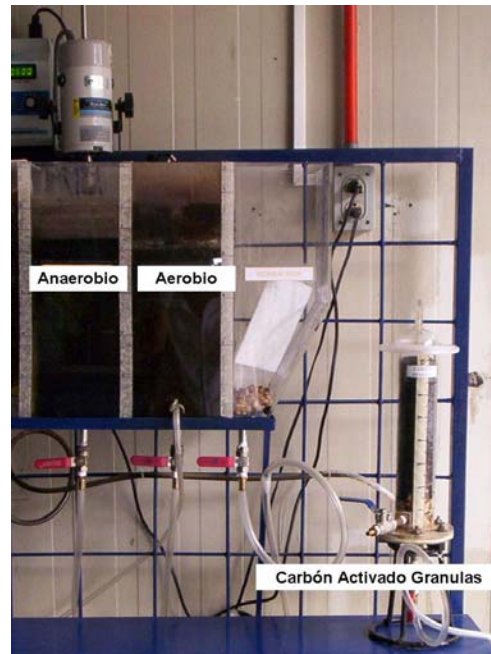


Figura 3. Tren de tratamiento anaerobio + aerobio + carbón activado granular

Posteriormente a esta descarga se le agregó después de la floculación 0.23 g, de Amarillo ácido 36: Monoazo, Azul directo 2: Diazo y Negro directo 38: Triazo, y 1.5 g, de azúcar, como co-sustrato, y se hizo pasar el agua por el tren de tratamiento.

RESULTADOS

En la tabla 2, se presentan los resultados obtenidos de la remoción promedio de DQO y color del agua textilera sin pretratamiento en cada uno de los efluentes del tren de tratamiento. En donde se puede observar para la DQO porcentajes de remoción de 19% en el efluente anaerobio, 59% en el efluente anaerobio + aerobio y del 92% en el efluente anaerobio + aerobio + carbón activado granular (CAG). En tanto que para la remoción del colorante, en el efluente anaerobio hubo un incremento del color, siendo hasta el efluente anaerobio + aerobio donde se obtuvo un 61% de remoción, y en el efluente final, anaerobio + aerobio + CAG, se presentó un 99% de remoción del colorante.

Tabla 2. Resumen de los valores promedio y porcentaje de remoción de DQO y colorante para agua real textilera sin pretratamiento.

	DQO (mg/L)	% Remoción	Color (mg/L)	% Remoción
Influyente	438		1741	
Efluente Anaerobio	346	16	2157	
Efluente Anaerobio+Aerobio	95	59	687	61
Efluente Anaerobio+Aerobio+CAG	32	92	25	99

En la tabla 3 se observa el en el real textilera con floculación y colorante el comportamiento de remoción de DQO, DBO₅, COT, obteniendo porcentajes de remoción de DQO del 16% en el efluente anaerobio, 59% en el efluente anaerobio + aerobio y del 92% anaerobio + aerobio + CAG. Para DBO₅ se obtiene un porcentaje de remoción del 75% en el efluente anaerobio, un 89% en el efluente anaerobio + aerobio y del 98% en el efluente anaerobio + aerobio + CAG. Para COT se obtiene un porcentaje de remoción del 53% en el efluente anaerobio, un 78% en el efluente anaerobio + aerobio y del 98% en el efluente anaerobio + aerobio + CAG. Con respecto al porcentaje de remoción de color, se obtuvo un 47% en el efluente anaerobio, 59% en el efluente anaerobio + aerobio y 96% en el efluente anaerobio + aerobio + CAG.

Tabla 3. Resumen de los valores promedio y porcentaje de remoción de DQO, DBO₅, COT y colorante para agua real textilera con floculación + colorantes.

	Influyente	Efluente Anaerobio	Efluente Anaerobio+Aerobio	Efluente Anaerobio+Aerobio+CAG
DQO (mg/L)	498	416	206	38
DBO ₅ (mg/L)	275	70	31	2
COT (mg/L)	196	93	44	3
Color (mg/L)	101	54	41	4
% Remoción DQO		21	79	92
% Remoción DBO ₅		75	89	98
% Remoción COT		53	78	98
% Remoción Color		47	59	96

Por último, los resultados de toxicidad se presentan en la figura 4, en donde se observa que con cada uno de los métodos de análisis, el comportamiento fue diferente. Con *Vibrio fischeri* se obtuvo un incremento de la toxicidad en el efluente anaerobio, debido a la formación de aminas aromáticas como metabolitos intermedios; en el efluente aerobio, la toxicidad se reduce a casi igual que como se reporta en el influente, y en el efluente del carbón activado no se detecta toxicidad. Con *Daphnia magna* se obtuvo un leve incremento de toxicidad en el efluente anaerobio, con respecto a lo detectado en el influente; y en los efluentes aerobio y carbón activado, ya no se detecta. En cambio con *Selenastrum capricornutum* se obtuvo disminución en el efluente anaerobio, y no detectado en el aerobio y nuevamente un leve incremento en el efluente de carbón activado. (Tabla 4).

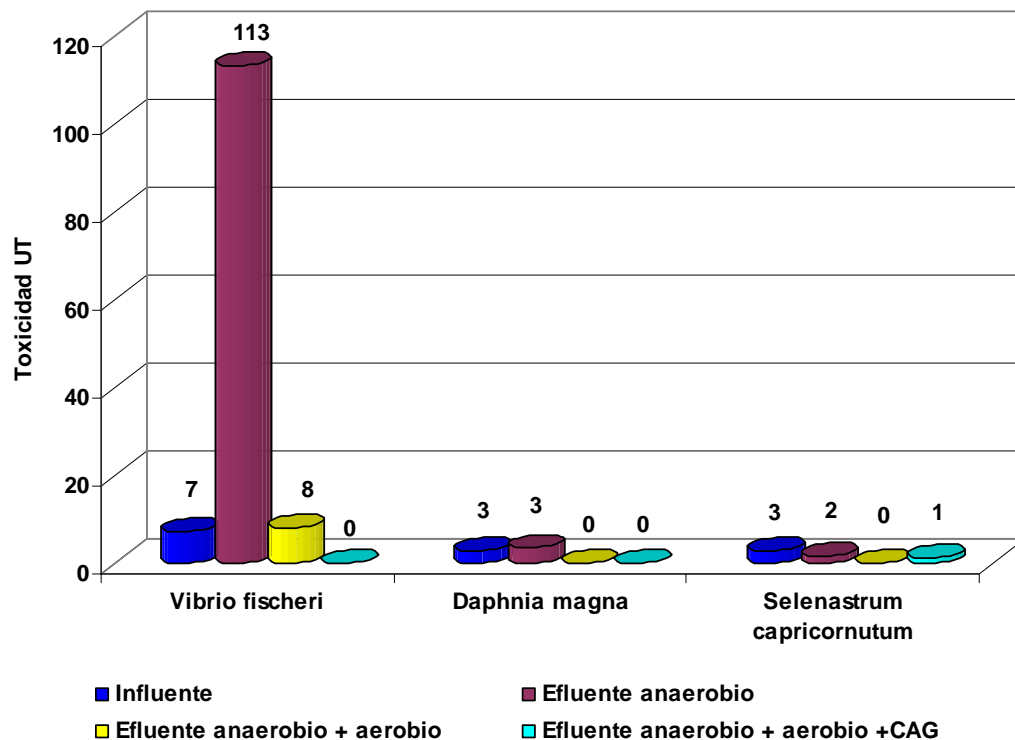


Figura 4. Remoción de toxicidad del agua real floclada + colorante.

Tabla 4. Resultados de Toxicidad (UT) por *Vibrio fischeri*, *Daphnia magna* y *Selenastrum capricornutum*.

	Agua real textilera		
	<i>Vibrio fischeri</i>	<i>Daphnia magna</i>	<i>Selenastrum capricornutum</i>
Influyente	Toxicidad alta	Toxicidad moderada	Toxicidad moderada
Efluente anaerobio	Toxicidad alta	Toxicidad moderada	Toxicidad moderada
Efluente anaerobio + aerobio	Toxicidad alta	TND	TND
Efluente anaerobio + aerobio + CAG	TND	TND	Toxicidad moderada

TND = Toxicidad no detectada

CONCLUSIONES

El tratamiento biológico secuencial anaerobio-aerobio, seguido de filtración con carbón activado es un método efectivo para la remoción de la materia orgánica y el color de los efluentes procedentes que las industrias textiles presentan.

Con este tren de tratamiento, se logran eficiencias de remoción de materia orgánica, como DQO, mayores del 90%. En lo que a la remoción de color se refiere, esta secuencia de tratamiento anaerobio-aerobio-adsorción logra reducciones mayores al 95%.

Se recomienda un proceso de pretratamiento constituido por coagulación-floculación si el agua residual, además de presentar altas cargas orgánicas, y ser muy colorido, presenta altos valores de sólidos suspendidos totales.

Mediante esta secuencia de tratamiento, en la mayoría de los casos, la toxicidad es eliminada.

No se recomienda la aplicación de sólo tratamiento anaerobio por la alta toxicidad que presenta, debido a la formación de aminas aromáticas, resultantes del rompimiento de los enlaces azo..

BIBLIOGRAFÍA

- Bishop, P. (1996) The Biodegradation of Textiles Dyes Using Biofilm Treatment Systems. En: Kuppusamy, I. Y Briones, R. (Eds) Biodegradación de Compuestos Orgánicos Industriales. **1**:1-10 UNAM, Instituto de Ingeniería, Marzo 26 y 17. México, D.F.
- Kulla, H., Klausener, F., Meyer, U., Ludeke, B. y Leisinger, D. (1983) Interference of aromatic sulfonic groups in the microbial degradation of the azo dyes Orange I y Orange II. *Arch. Microbiol.* **135**, 1-7.
- Moeller, G.; Garzón, M.; Tomasini, A.; Mijaylova, P. y Chacón, J. (2002) Decoloración de efluentes de la industria de colorantes por medios químicos y biológicos. Informe final. Instituto Mexicano de Tecnología del agua. Jiutepec, Mor.
- Pagga, U. y Brown, D. (1986). The degradation of dyestuffs. Part II, Behavior of dyestuffs in aerobic biodegradation tests. *Chemosphere.* **15**, 479-491.
- Quezada M., Linares, I. y Buitrón, G. (1999) "Use of Sequencing Batch Biofilter for Degradation of Azo Dyes (Acids and Basics)", en Buitrón, G. y Macarrie, H. (ed.), *Waste Minimization and End of pipe Treatment in Chemical and Petrochemical Industries*, IAWQ International Specialized. Conference of the Chemical Industry Group, Mérida, Yucatán, México, , November 14 al 18, 644.
- Van der Zee, F., Field, A. y Lettinga, G. (1999). The role of auto - catalysis in the mechanism of anaerobic azo reduction. En Buitrón, G. y Macarrie, H. (ends). *Waste Minimization and end of pipe Treatment in chemical and Petrochemical Industries*. IAWQ. International Specialized. Conference of the chemical Industry Group. Merida, Yucatan. México, Noviembre 14 al 18, 644.
- Vandevivere C., B. R. Phillippe, y W. Verstraete. (1998) Treatment and reuse of wastewater from the textile wet-processing industry: Review of emerging technologies. *J. Chem. Technol.*, **72**, 289-302.