
Tratamiento biológico del agua residual procedente de una industria papelerá mediante la utilización de una columna empacada

B. N. Bayona-Romero* S. G. Sánchez-Nevárez, E. S. Cisneros-Zamora, J. A. Escobedo-Carreón, M.C.T. Moorillón-Piedra, R. Muñoz-Ríos, B.E. García-Caballero, G. Enríquez-Flores

Depto. de Ingenierías Química y Bioquímica, Instituto Tecnológico de Durango (ITD), Blvd. Felipe Pescador 1830 OTE. Colonia Nueva Vizcaya, C.P. 34080, Durango, Dgo., México.

Biological treatment of wastewater from a paper company using a packed-column

Abstract

The purpose of this work is to detect and reduce the heavy metal concentration that pollutes wastewaters outflows from a paper company at the city of Durango, using a biological treatment which is a column with a biofilm of *Pseudomonas fluorescens*, reported as a paradigm of metabolic versatility, and a key microorganism in the biodegradation of organic matter and heavy metals. When the water composition was analyzed, *Pseudomonas fluorescens* was spread and then a kinetic essay in flask level established to obtain the time required for the treatment, reporting final reduction percentages of 91.77% for iron, 86.36% for zinc, 77.27% for chrome, between others.

The column worked in continuous flow and aeration conditions of 4.3 m s⁻¹ from inflow and 0.6 m s⁻¹ from outflow, the inoculation was undertaken with 40 l with 10% of inoculums (2x10⁶col ml⁻¹) for 48 h to obtain the biofilm. Subsequently it starts receiving the wastewater flow for 48h. The results exceeded the ones that were obtained at flask level with 99.28% for aluminum, 90.4% for iron, 95.3% for zinc, and 86.04% for chrome. This is considered due the reduction of their valence, adsorption and flocculation, in addition it was observed a substantial odor decrease, and this was because of the presence of organic matter.

Key words: Biofilm, Packed-column, Wastewater, *Pseudomonas fluorescens*, Heavy metals.

Resumen

El objetivo del presente trabajo es detectar y reducir la concentración de metales pesados que contaminan el agua residual procedente de los efluentes de la industria papelerá en la ciudad de Durango, mediante un tratamiento biológico, utilizando una columna con biopelícula de *Pseudomonas fluorescens*, la cual se reporta como paradigma de versatilidad metabólica, y microorganismo clave en biodegradación de materia orgánica y metales pesados. Se analizó la composición del agua, se propagó *Pseudomonas fluorescens* y se realizó la cinética a nivel matraz para establecer el tiempo de tratamiento, reportando porcentajes finales de reducción para hierro 91.77%, zinc 86.36%, cromo 77.27% entre otros.

Utilizando el diseño y construcción de una columna que funciona en flujo continuo y condiciones de aereación de 4.3 m s⁻¹ a la entrada y 0.6 m s⁻¹ a la salida, se procedió a inocular 40 l con 10% de inóculo (2x10⁶col ml⁻¹) por 48 hr con el fin de formar una biopelícula. Posteriormente se alimenta el agua residual durante 48 hr. Los resultados superan los obtenidos a nivel matraz y se reportan como aluminio 99.28%, hierro 90.4%, zinc 95.3%, cromo 86.04%. Se considera esto debido a reducción de su valencia, adsorción y floculación, además se observó una disminución considerable de olor característico por la presencia de materia orgánica.

Palabras clave: Biopelícula, Columna empacada, Aguas residuales, *Pseudomonas fluorescens*, Metales

* Autor de correspondencia

E-mail: brenda_bay2@hotmail.com

pesados.

Introducción

Los avances en la ciencia y la tecnología desde la revolución industrial, han aumentado la capacidad del ser humano para explotar los recursos naturales, sin embargo, esto ha generado perturbaciones en los ciclos biogeoquímicos elementales. El ciclo natural del agua tiene una gran capacidad de purificación, pero esta misma facilidad de regeneración del agua, y su aparente abundancia, hace que sea el vertedero habitual en el que arrojamamos los residuos producidos por nuestras actividades. Existen aguas contaminadas con grasas que no son fácilmente degradables y ocasionan problemas en su manejo (incrustación de grasas en equipo, espuma, olores, etc.) (Brock *et al.*, 1993).

La contaminación del ambiente con metales tóxicos y radionúcleos surge como resultado de actividades humanas, principalmente industriales, sin embargo, fuentes como la agricultura y la eliminación de residuos también contribuyen. Se ha demostrado científicamente que, además de causar algunos de los problemas ambientales más graves, la exposición a metales pesados en determinadas circunstancias es la causa de la degradación y muerte de vegetación, ríos, animales e, incluso, de daños directos en el hombre, por ejemplo al ser ingeridos por éste, agua y alimentos contaminados por los compuestos de mercurio, plomo o cadmio le provocan ceguera, amnesia, raquitismo, miastenia o hasta la muerte.

Los metales pesados constituyen un grupo cercano a los 40 elementos de la tabla periódica que tienen una densidad mayor o igual a 5 g cm^{-3} . El rasgo distintivo de la fisiología de los metales pesados, es que aún cuando muchos de ellos son esenciales para el crecimiento como el Na, K, Mg, Ca, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn y Mo, se ha reportado que también tienen efectos tóxicos sobre las células, principalmente como resultado de su capacidad para alterar o desnaturalizar las proteínas. Algunas industrias son altamente contaminantes en cromo hexavalente el cual es sumamente tóxico (Secretaría de economía, 2006). Aún cuando los metales pesados se encuentren presentes en cantidades bajas e indetectables, la recalcitrancia y consiguiente persistencia de los metales pesados en cuerpos de

agua, implica que a través de procesos naturales como la biomagnificación, su concentración puede llegar a ser tan elevada que empiece a ser tóxica.

Material y método

Toma de la muestra

La muestra del agua fue tomada de la industria papera del clarificador. Según el método usado por Amaya y Chávez, 2006 se mantuvo almacenada a temperatura ambiente y perfectamente cerrada, para posteriormente realizar la caracterización de la misma.

Caracterización de la muestra inicial

Para realizar la caracterización de la muestra inicial fue necesario medir la Densidad Óptica (D.O.) método (AOAC, 1990) auxiliándonos de un espectrofotómetro marca ThermoSpectronic modelo Genesys 20, y el pH mediante el método: análisis de agua-determinación de pH-método de prueba (NMX-AA-008-SCFI-2000), medido con un potenciómetro marca Microprocessor pH Meter.

Se llevó una muestra de agua residual para analizarla en el laboratorio certificado "LABORATORIO DE ANÁLISIS INDUSTRIALES DEL GUADIANA S.A.", esto con el propósito de que nos indique cual es la concentración de metales pesados contenidos inicialmente en la muestra mediante el método de la Norma Mexicana: NMX-AA-051-SCFI-2001 (SCFI, 2001) y el equipo que se utilizó para determinar metales pesados fue: Absorción atómica marca Barian Modelo 4000.

Propagación del microorganismo

Se utilizó la cepa del microorganismo aislado e identificado como *Pseudomonas fluorescens*, por Amaya y Chávez, 2006.

Prueba de viabilidad

Se partió de tubos inclinados conteniendo medio de cultivo King B. propuesto por López y Ramos, 2006 con crecimiento de *Pseudomonas fluorescens* aislada de agua residual por Amaya y Chávez, 2006. Se sembró por el método de estría cruzada y se incubó a 30°C durante 24 y 48 h hasta observar el crecimiento y desarrollo de las colonias así como su

fluorescencia a la luz ultravioleta.

Cinética de crecimiento a nivel matraz

De los tubos inclinados con crecimiento microbiano, se procede a realizar la cinética de crecimiento a nivel matraz con el fin de establecer el tiempo requerido para el tratamiento posterior en la columna empacada y valorar los parámetros de pH y D.O. que nos servirán de referencia durante el tratamiento biológico. Las lecturas se llevaron a cabo a tiempo cero, 24 h y a las 48 h, utilizando para ello agua residual proveniente de Celulósicos Centauro sin tratamiento.

Preparación del inóculo para la columna

Debido a que la columna requiere 40 l de inóculo como mínimo, se procedió a preparar éste a una concentración de 10% con 48 h de crecimiento a temperatura ambiente, según propone López y Ramos, 2006.

Inoculación y tratamiento en la columna empacada

A continuación se mencionan los componentes de los cuales está formada la columna empacada.

Formación de la biopelícula

La columna diseñada por Cisneros y Escobedo, 2007 tiene una altura de 2.10 m, 0.5 m de ancho y un espesor de 0.5 m, presenta un área de contacto de 1.05 m² y un volumen de 0.525 m³, en la parte superior se encuentran los difusores que distribuyen la alimentación hacia el cuerpo de la columna, está empacada con materiales de PVC lámina preformada que ofrece suficiente área de contacto donde se adhiere la película del inóculo (*Pseudomonas fluorescens*); la columna se introduce dentro de un recipiente receptor de agua residual provisto de un sistema de bombeo con capacidad de 1/4 HP, se utilizó una bomba centrífuga generando un flujo continuo. También cuenta con un ventilador por encima de la columna que proporciona una corriente de aire de 4.3 m s⁻¹ en la entrada que es incorporado hacia el cuerpo empacado y 0.6 m s⁻¹ a la salida. El inóculo se hace recircular durante 48 h a un flujo moderado con alimentación de aire.

Tratamiento biológico

Posterior a las 48 h se observa la formación de la biopelícula aunque no es uniforme. Se inicia con la alimentación del agua residual sin tratamiento

tomada del clarificador para ponerla en contacto durante 48 h con el microorganismo *Pseudomonas fluorescens* que constituye la biopelícula.

Resultados y discusión

Toma de la muestra

Los resultados de las muestras tomadas se suponen confiables.

Caracterización de la muestra

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Valores obtenidos de la medición de pH y D.O

Tiempo (horas)	D.O	pH
0	0.4894	6.10

El valor de pH es bajo respecto al requerido para el crecimiento de *Pseudomonas fluorescens*, el cual se reporta entre un rango de 7-8. (Cowan, 1979).

Los resultados obtenidos del análisis de concentración de metales pesados en la muestra inicial se muestran a continuación en la tabla 2.

Tabla 2. Contenidos de metales pesados en la muestra inicial del agua residual.

Parámetro	Resultado (mg l ⁻¹)	Método	Límite máximo permisible (mg l ⁻¹)
Fierro	9.85	NMX-AA-051-2001	----
Zinc	3.30	NMX-AA-051-2001	20.0
Aluminio	0.28	NMX-AA-051-2001	----
Cromo	0.22	NMX-AA-051-2001	1.0
Plomo	0.22	NMX-AA-051-2001	0.4
Níquel	0.19	NMX-AA-051-2001	4.0
Cadmio	0.04	NMX-AA-051-2001	0.2

Propagación del microorganismo

Prueba de viabilidad

Se confirma que el microorganismo de referencia es viable y de acuerdo a su fluorescencia y a las características de sus colonias corresponde a *Pseudomonas fluorescens*.

Cinética de crecimiento a nivel matraz

La cinética de crecimiento del microorganismo se representa por resultados obtenidos de las mediciones de la D.O. y el pH mostrado en la tabla 3 y figura 1.

Tabla 3. Valores obtenidos de la medición de D.O.

Tiempo (horas)	D.O
0	0.4894
24	0.6695
48	0.8894

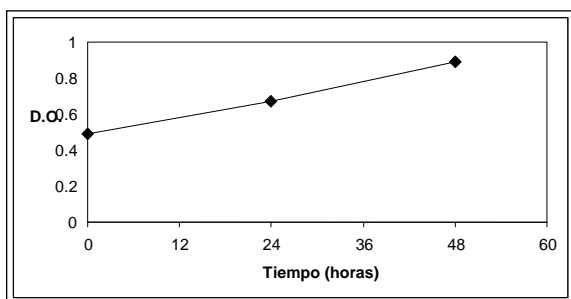


Figura 1. Crecimiento del microorganismo tomando como parámetro D.O.

Determinación de crecimiento bacteriano, mediante la medición de la D.O.

El crecimiento microbiano se incrementa hacia un tiempo de 48 h, la tendencia es hacia mejorar. Los valores de D.O son tomados como referencia para conocer el crecimiento durante el tratamiento.

Determinación de crecimiento bacteriano, mediante medición de pH (Tabla 4 y Fig. 2).

Tabla 4. Valores obtenidos de la medición de pH.

Tiempo (horas)	pH
0	6.10
24	7.32
48	7.53

Los valores de pH reportados en las 3 mediciones tuvieron un cambio apreciado a lo largo de la cinética de crecimiento, encontrándose entre los rangos de 6.10 a 7.53, estos resultados nos indican la tendencia de elevar el valor de pH hacia el rango óptimo para el crecimiento de *Pseudomonas fluorescens*, que está entre 7-8 (Cowan, 1979), para así realizar la hidrólisis de ácidos grasos, proteínas y materia orgánica en general y por consiguiente su crecimiento en el medio.

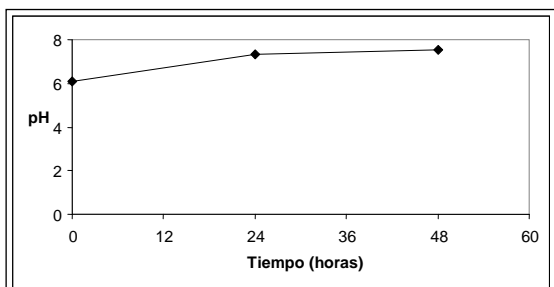


Figura 2. Crecimiento del microorganismo tomando como parámetro pH.

A continuación se muestran los resultados de la reducción de metales pesados a nivel matraz después de 48 h de crecimiento (Tabla 5).

Tabla 5. Reducción en la concentración de metales pesados a nivel matraz.

Parámetro	Resultado (mg l ⁻¹)	Porcentaje de reducción (%)
Fierro	0.81	91.77
Zinc	0.45	86.36
Cromo	0.05	77.27
Plomo	0.07	68.18
Níquel	0.04	78.94
Cadmio	0.02	50.0

Preparación del inóculo para la columna

Después de realizar la preparación del inóculo, se debe conocer la carga microbiana, esto mediante una cuenta viable. El resultado obtenido es de 2x10⁶ col ml⁻¹. Se debe mantener este valor como parámetro de control siempre que se quiera preparar inóculo para tener repetibilidad en los resultados.

Inoculación y tratamiento biológico en la columna

En las figuras 3, 4, 5 y 6 siguientes se muestran detalles del diseño de la columna según propone Cisneros y Escobedo, 2007.

Formación de la biopelícula

La columna diseñada de acuerdo a los parámetros establecidos opera bajo condiciones controladas, como se indica en la figura 7.

Al transcurso de 48 h de recirculación ininterrumpida con el agua residual inoculada, se logró la formación de la biopelícula dentro de la columna empacada, pudiéndose apreciar en la figura 8.

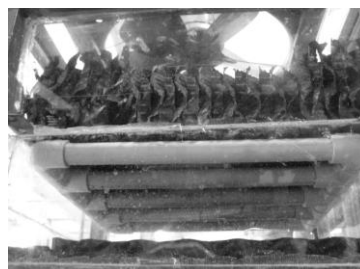


Figura 3. Ventilador y distribuidor en la parte superior de la columna.

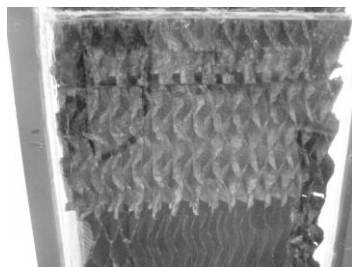


Figura 4. Empaques comerciales PVC de lámina termoformada.

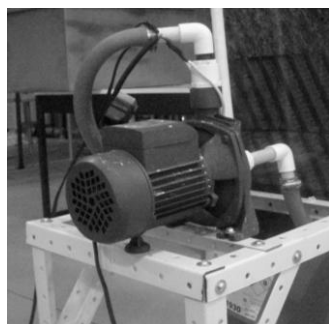


Figura 5. Bomba.



Figura 6. Receptor del agua.

El microorganismo se fijó alrededor de los empaques, cumpliendo las expectativas esperadas con un espesor de 1mm aunque no es uniforme.



Figura 7. Columna empacada.

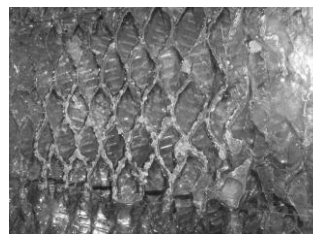


Figura 8. Formación de la biopelícula.

Tratamiento Biológico

Después de recircular el agua residual hacia la columna con la biopelícula, durante 48 h, se puede apreciar un cambio en la formación de sedimento, debido a la capacidad de *Pseudomonas fluorescens* de aglutinar la materia orgánica contenida en el agua residual donde son retenidos los metales pesados entre otros componentes, según propone Flores y Gurrola, 2007.

Los resultados finales obtenidos en la muestra con que se trabajó son los reportados en la tabla 6.

La tabla 7 muestra la disminución de metales pesados en la muestra analizada por parte de la *Pseudomonas fluorescens*. Los porcentajes de reducción son muy buenos, esto comprueba la alta capacidad de biodegradación de *Pseudomonas fluorescens*, cabe señalar que se lograron estos resultados posiblemente porque las cargas iniciales son bajas, sin embargo según estos metales pueden acumularse con el tiempo puesto que no se biodegradan en forma natural representando un riesgo para la flora de ríos y lagunas, así como de la salud.

Conclusiones

El propósito de este proyecto cumplió satisfactoriamente con su objetivo, ya que pudimos apreciar una reducción en la concentración de metales pesados contenidos en el agua residual. El tratamiento biológico en columna empacada reporta muy altos valores de remoción como en el aluminio 99.28%, zinc 95.3%, hierro 90.40%, plomo 88.54%, cromo 86.04%, níquel 84.84% y cadmio 66.66%, este método de tratamiento es más factible en cuanto a costos, en comparación a un método químico.

Tabla 6. Contenidos de metales pesados en la muestra inicial del agua residual.

Parámetro	Resultado (mg l ⁻¹)	Método	Límite máximo permisible (mg l ⁻¹)
Fierro	24.5	NMX-AA-051-2001	----
Zinc	10.00	NMX-AA-051-2001	20.0
Cromo	0.43	NMX-AA-051-2001	1.0
Plomo	0.96	NMX-AA-051-2001	0.4
Aluminio	0.28	NMX-AA-051-2001	----
Níquel	0.33	NMX-AA-051-2001	4.0
Cadmio	0.09	NMX-AA-051-2001	0.2

Tabla 7. Reducción en la concentración de metales pesados.

Parámetro	Resultado (mg l ⁻¹)	Porcentaje de reducción (%)
Fierro	2.35	90.40
Zinc	0.47	95.30
Cromo	0.06	86.04
Plomo	0.11	88.54
Aluminio	0.002	99.28
Níquel	0.05	84.84
Cadmio	0.03	66.66

Es importante indicar que después de trabajar con aproximadamente 10 muestras, se valoró la viabilidad de la biopelícula y se tiene una cuenta viable de 2×10^6 col ml⁻¹ que indica una buena adherencia al material y un correcto funcionamiento. Se observó un ajuste del pH ya que según el proceso de Celulósicos venía muy bajo, lo mismo ocurre con la eliminación del olor desagradable; se aprecia la formación de flóculo al término de las 48 h, el cual se puede separar por un método mecánico.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los laboratorios de Microbiología, Bioquímica y planta piloto de Ingeniería Química, a nuestro maestro el Químico Fernando Adan Santos Marentes por su apoyo y orientación en la determinación de metales pesados.

Bibliografía

Amaya Victorino C. M. y Chávez González I. 2006. Escalamiento del proceso de eliminación de grasas en aguas residuales municipales (Tesis). Instituto Tecnológico de Durango. Durango, Dgo, México.

AOAC. 1990. *Methods of Analysis* (15th ed.). Association of Official Analytical Chemist, Washington, D.C.

Brock, T. y Madigan T. M. 1993. Diversidad metabólica entre los microorganismos, Cap.16, Las bacterias. Cap 19 en Microbiología. Prentice Hall Hispanoamérica S.A. México.

Cisneros Zamora, E. S. y Escobedo Carreón J. A. 2007. Diseño y construcción de una columna empacada para el tratamiento de agua residual. (Residencia Profesional). Instituto Tecnológico de Durango. Durango, Dgo., México.

Cowan S. S. 1979. Manual para la Identificación de Bacterias de Importancia Médica. 2da. Edición, Compañía Editorial Continental S.A., México.

Flores Bolívar N. y Gurrola Gómez K. 2007. Reducción de cromo hexavalente contenido en aguas residuales, mediante un tratamiento biológico (Tesis). Instituto Tecnológico de Durango. Durango, Dgo., México.

López García R. E. y Ramos Briceño F. 2006. Eliminación de grasas en aguas residuales municipales empleando un método biológico. (Tesis). Instituto Tecnológico de Durango. Durango, Dgo, México.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SCFI). 2001. Norma Mexicana: NMX-AA-051-2001: Análisis de Agua. Determinación de metales pesados por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas. <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Normas%20Mexicanas%20vigentes/NMX-AA-051-SCFI-2001.pdf>.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SCFI). 2000. Norma mexicana: NMX-AA-008-SCFI-2000: Análisis de agua. Determinación de pH. <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Normas%20Mexicanas%20vigentes/NMX-AA-008-SCFI-2000.pdf>

Secretaría de Economía. 2006. www.economía-noms.gob.mx, www.economía-nmx.gob.mx 29 agosto de 2006.