

# XXXII Encuentro Nacional y 1<sup>er</sup> Congreso Internacional AMIDIQ

3 al 6 de Mayo de 2011, Riviera Maya, Quintana Roo

---

## DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES BASADO EN EL PRINCIPIO DE CONSORCIOS MICROBIANOS ACOPLADOS METABÓLICAMENTE

### DESIGN OF A WASTEWATER TREATMENT PLANT BASED ON THE PRINCIPLE OF METABOLICALLY COUPLED MICROBIAL CONSORTIA

Blanca Y. Hernandez-Vargas<sup>1</sup>, Nayely Lozano-Pacheco<sup>1</sup>, Adriana Cortazar-Martínez<sup>2</sup>, Julio Rodríguez-Baños<sup>2</sup> y César A. González-Ramírez<sup>2\*</sup>.

<sup>1</sup>*Departamento de Química y Bioquímica, Instituto Tecnológico de Pachuca*

*Pachuca, Hidalgo, 42080 México. Email: acnalb\_by87@hotmail.com; laps\_8722@hotmail.com.*

<sup>2</sup>*Área Académica de Química, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Mineral de la Reforma, Hidalgo, 42184 México. Email: adycortz@hotmail.com, cuyo00@yahoo.com y ccr\_gonzalez@yahoo.com*

#### Resumen

En este trabajo se estudió el procedimiento para el diseño de una planta tratadora de aguas residuales de la industria textil, basándose en el principio de consorcios microbianos acoplados metabólicamente, para el proceso de biodegradación de colorantes. Para la aplicación a nivel industrial, de estos novedosos sistemas biológicos, es necesario establecer el diagrama de flujo del proceso más apropiado, insertando la biodegradación por metabolismos acoplados dentro de las etapas tradicionales de tratamiento primario, secundario y terciario de aguas residuales. En esta investigación se propone el diseño de un bioreactor que utilice consorcios microbianos acoplados metabólicamente para eliminación del color provocado por el colorante rojo ácido 27 de tipo “azo”. A través del diseño de la planta se busca demostrar la factibilidad técnica y económica del proceso modificado, como una alternativa para el tratamiento de este tipo de aguas residuales. Con el objeto de llevar a cabo el diseño de los equipos, se plantea el cálculo de sistemas para la remoción primaria de sólidos no disueltos, sólidos suspendidos, grasas y aceites. En el proceso secundario se diseñan los equipos para la biodegradación de colorantes y otros contaminantes químicos. Finalmente, en los procesos terciarios se diseñan equipos para sedimentación, oxigenación y filtración fina para eliminar olor y restos de color en el agua. Las operaciones unitarias a considerarse en el proceso, incluyen: tamizado, filtración, sedimentación, homogeneización, neutralización, tratamiento físico-químico, bioreacción y aireación.

#### Abstract

In this work it was studied the procedure for designing a wastewater treatment plant for the textile industry, based upon the principle of metabolically coupled microbial consortia, for the biodegradation of dyes. For using these novel biological systems, at industrial level, it is necessary to establish flow diagram of the most appropriate process, by inserting the coupled metabolisms biodegradation within the traditional primary, secondary and ternary wastewater treatment stages. In this research, it is proposed a bioreactor design that uses metabolically coupled microbial consortia for color elimination caused by the presence of 27 acid red dye of “azo” type. Through plant design it is intended to demonstrate technical and economical feasibility of the new process as an alternative for this type of wastewater treatment. In order to carry out the equipments design, it is established calculation of primary non-dissolved solids removal, suspended solids, fat and oil. In the secondary process the equipment for dye and other chemical pollutants biodegrading is also designed. Finally, in the ternary processes, are designed: sedimentation and oxygenation equipments, as well as small size particle filtration, for odor and color elimination. The unit operations to be considered in the process include: straining, filtration, sedimentation, mixing, neutralization, physicochemical treatment, bioreaction and aeration.

# XXXII Encuentro Nacional y 1<sup>er</sup> Congreso Internacional AMIDIQ

3 al 6 de Mayo de 2011, Riviera Maya, Quintana Roo

---

## INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto se busca optimizar las plantas de tratamiento de aguas residuales de la industria textil implementando el tratamiento secundario con una batería de reactores semicontinuos que actúan mediante un consorcio microbiano hongo-bacteria que fue diseñado por acoplamiento metabólico para la degradación del colorante rojo ácido 27 de tipo azo- y es liberado en los efluentes del proceso de teñido de telas.

Para la evaluación del sistema de bioreactores fue necesario simular la cinética de decoloración e incluirla desde su diseño, adecuándolo para obtener resultados que demuestren que la descarga de aguas residuales cumple con los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en la normatividad ambiental. Para su análisis se buscó minimizar los tiempos de residencia en el sistema de bioreactores, llevando un control de sus efluentes y estabilizando el crecimiento del hongo y de la bacteria. Considerando lo anterior se propondrá un volumen adecuado, tomando en cuenta los costos de inversión en el equipo, de operación y mantenimiento.

## METODOLOGÍA

Los métodos que se utilizarán para el desarrollo del proyecto son los siguientes:

### Métodos analíticos

En la evaluación de cinéticas metabólicas para conocer el comportamiento del hongo y de la bacteria, durante la producción enzimática y la degradación del colorante, para que con la información recabada se establezca el diseño del bioreactor.

### Métodos de muestreo

Para la toma de muestras de los efluentes de la planta y comprobar el índice de degradación del colorante con el consorcio.

### Métodos de diseño

Para el diseño de los equipos de proceso de la planta de tratamiento de aguas residuales se utilizará el simulador ASPEN PLUS 11.1 ®. Los equipos a diseñar incluyen: cribas desarenadores, floculadores, sedimentadores, entre otros.

### Métodos numéricos

Para resolver los modelos matemáticos sobre el comportamiento de crecimiento del consorcio se utilizó el método de Runge Kutta de 4<sup>o</sup>. Orden, con el que se evaluaron los parámetros para el diseño del bioreactor en un programa de simulación en Excel ®, para posteriormente complementarlo con el diseño y simulación en ASPEN PLUS 11.1 ®.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados del análisis de tratamiento del agua residual, se debe definir cuáles son los procesos y sus combinaciones que permitan obtener el nivel deseado del tratamiento, con una elevada confiabilidad y a un costo razonable, todo esto se debe contemplar en el diseño del proceso.

Debido a las características de los diversos tipos de procesos de las plantas textiles se obtiene el siguiente diagrama:

# XXXII Encuentro Nacional y 1<sup>er</sup> Congreso Internacional AMIDIQ

3 al 6 de Mayo de 2011, Riviera Maya, Quintana Roo

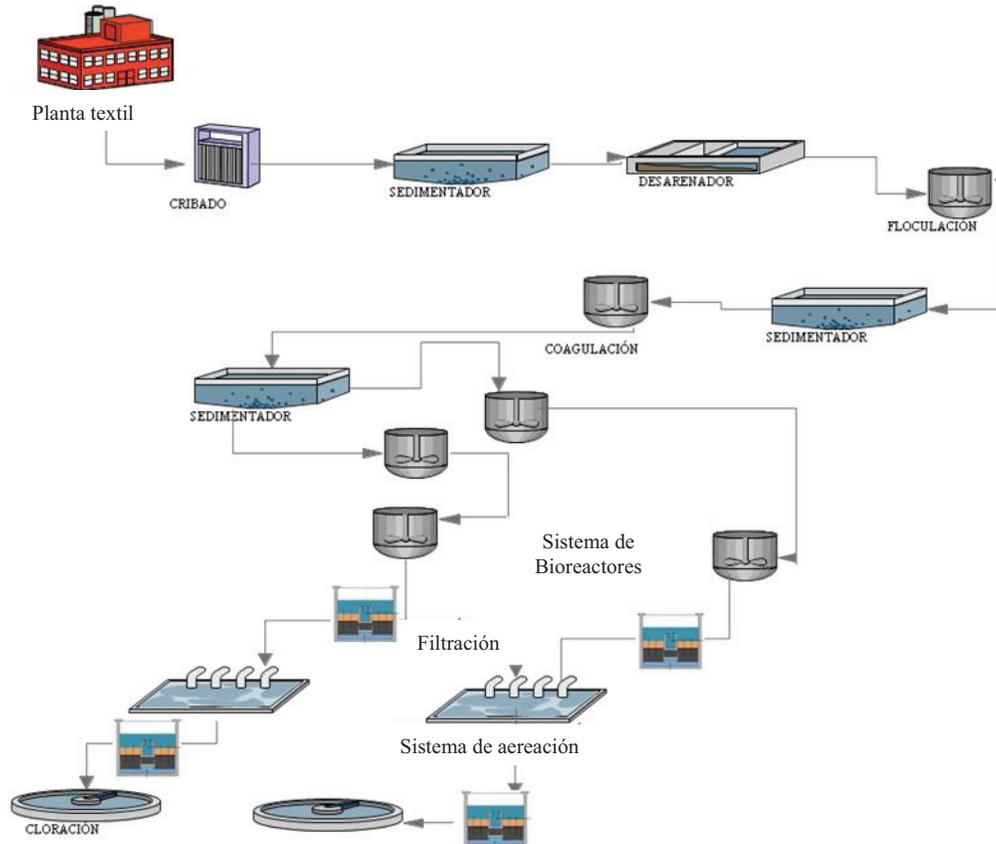


Figura 1. Diagrama de la planta tratadora de aguas residuales de una industria textil, incorporando un sistema de bioreactores para la degradación de colorante por medio de consorcios microbianos metabólicamente acoplados.

## Criba

Sirve para eliminar ramas, basura y cualquier tipo de material que pueda dañar el equipo o taponar las tuberías, en general se emplean rejillas de 1.5 a 5 cm.

## Desarenador

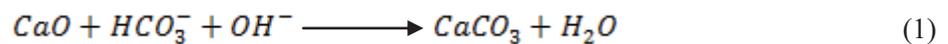
Sirve para separar materiales más pesados que la materia orgánica como arena y grava. Protegen a los equipos del desgaste y previene la obstrucción y el taponamiento.

## Sedimentador

Sirve para remover sólidos gruesos no disueltos y sedimentables, tales como basuras y arenas.

## Coagulación

Sirve para la sedimentación de materia suspendida no disuelta y de tamaño fino. Se realiza agregando cal para promover la coagulación debido al incremento del pH en las aguas reaccionando con los bicarbonatos y fosfatos para formar precipitados de carbonato de calcio e hidróxido de magnesio. La precipitación de este último puede empezar a partir de un pH de 9, sin embargo, no es completa hasta un pH de 11.



# XXXII Encuentro Nacional y 1<sup>er</sup> Congreso Internacional AMIDIQ

3 al 6 de Mayo de 2011, Riviera Maya, Quintana Roo

## Floculación

Se utiliza para propiciar la unión de partículas suspendidas, mediante un mezclado moderado por medio de paletas de baja velocidad, para impedir el rompimiento de los flóculos.

## Bioreactor

Se utilizarán 4 bioreactores en batería con diferentes tiempos de residencia para la adaptación del consorcio. Los bioreactores trabajarán en un sistema de biomasa suspendida, se hará circular aire en diferentes puntos controlando su temperatura y el pH. Para su diseño se consideran las siguientes ecuaciones cinéticas:

$$\frac{dC}{dt} = C_{\text{inicial}} + C_{\text{producción}} + C_{\text{consumo}} \quad (2)$$

Biomasa del hongo

$$\frac{dX_H}{dt} = \mu_{\text{hongo}} X_H - K_{\text{dec}} X_H \quad (3)$$

$$\mu_{\text{hongo}} = \frac{\mu_{\text{max hongo}} C_{\text{Glc}}}{K_{s \text{ glc}} C_{\text{Glc}}} \quad (4)$$

Donde:

$\mu_{\text{max hongo}}$  - es la velocidad máxima de crecimiento para *T.versicolor* ( $d^{-1}$ )

$\mu_{\text{hongo}}$  - es el término de crecimiento de Monod para *T.versicolor* ( $d^{-1}$ )

$C_{\text{Glc}}$  - concentración de glucosa ( $g_{\text{Glc}} L^{-1}$ )

$k_{s \text{ glc}}$  - constante de saturación de glucosa ( $g_{\text{Glc}} L^{-1}$ )

Biomasa de la bacteria

$$\mu_{\text{bacteria}} = \frac{\mu_{\text{max bacteria}} C_{\text{Glc}}}{K_{s \text{ p glc}} + C_{\text{Glc}}} + \frac{\mu_{\text{max bacteria aro}} C_{\text{aro}}}{K_{s \text{ aro}} + C_{\text{aro}}} \quad (5)$$

$$\frac{dX_p}{dt} = \mu_{\text{bacteria}} X_p - K_{\text{dec p}} X_p \quad (6)$$

Donde:

$\mu_{\text{max bacteria}}$  - es la velocidad máxima de crecimiento para *P.putida* ( $d^{-1}$ )

$C_{\text{Glc}}$  - concentración de glucosa ( $g_{\text{Glc}} L^{-1}$ )

$k_{s \text{ p glc}}$  - constante de saturación de glucosa para *P.putida* ( $g_{\text{Glc}} L^{-1}$ )

$\mu_{\text{hongo}}$  - término de crecimiento de Monod para *T.versicolor* ( $d^{-1}$ )

$\mu_{\text{max bacteria aro}}$  - velocidad máxima de crecimiento para *P.putida* a partir de aromáticos

$\mu_{\text{bacteria aro}}$  - término de crecimiento a partir de aromáticos para *P.putida* ( $d^{-1}$ )

$C_{\text{aro}}$  - concentración de aromáticos ( $g_{\text{aro}} L^{-1}$ )

$K_{s \text{ aro}}$  - constante de saturación de aromáticos ( $g_{\text{aro}} L^{-1}$ )

Consumo de glucosa

$$-\frac{dGlc}{dt} = \left[ \frac{\mu_{\text{hongo}} X_{\text{hongo}}}{Y_{t-\text{Glc}}} + K_{mT} + \left( \frac{X_T K_{\text{dec}}}{Y_{\text{enz,Glc}}} \right) \right] + \left[ \frac{\mu_{\text{bacteria}} \mu_p}{Y_{p-\text{Glc}}} + K_{mp} \right] \quad (7)$$

# XXXII Encuentro Nacional y 1<sup>er</sup> Congreso Internacional AMIDIQ

3 al 6 de Mayo de 2011, Riviera Maya, Quintana Roo

---

Donde:

$Y_{T-Glc}$ .-rendimiento de la biomasa (*P. putida*) a partir de glucosa ( $g_T g_{glc}^{-1}$ )

$Y_{enz,Glc}$ .-rendimiento de enzima (lacasa) a partir de glucosa.

$K_{mT}$ .-coeficiente de mantenimiento de *T. versicolor* a partir de glucosa.

$X_T$ .-concentración de biomasa de *T. versicolor*

$K_{dec}$ .-constante de decoloración del rojo ácido 27 por la encima

$K_{mP}$ .-coeficiente de mantenimiento de *P. putida* a partir de glucosa.

$X_{bacteria}$ .-concentración de biomasa de *P. putida*.

Para la concentración del colorante

$$-\frac{dcol}{dt} = K_{dec} C_{col} \quad (8)$$

Donde:

$r_{col}$ .-tasa de degradación del colorante ( $g_{col} L^{-1} d^{-1}$ ).

$C_{col}$ .-concentración del colorante. ( $dia^{-1}$ ).

$K_{dec}$ .-constante de degradación del colorante ( $g_{col} L^{-1}$ )

$$\frac{daro}{dt} = aK_{dec} C_{col} - \left[ \frac{X_{bacteria} \mu_P}{Y_{P-aro}} + K_{maroP} \right] \quad (9)$$

Donde:

$a$ .-coeficiente estequiométrico de aromáticos a partir del colorante

$K_{dec}$ .-constante de degradación del colorante ( $dia^{-1}$ )

$C_{col}$ .-concentración del colorante ( $dia^{-1}$ )

$r_{aro}$ .-tasa de consumo de aromáticos.

Los resultados de la solución del sistema de ecuaciones diferenciales para analizar la cinética de decoloración y degradación se muestran a continuación, considerando diferentes concentraciones de colorante en la alimentación de la planta.

# XXXII Encuentro Nacional y 1<sup>er</sup> Congreso Internacional AMIDIQ

3 al 6 de Mayo de 2011, Riviera Maya, Quintana Roo

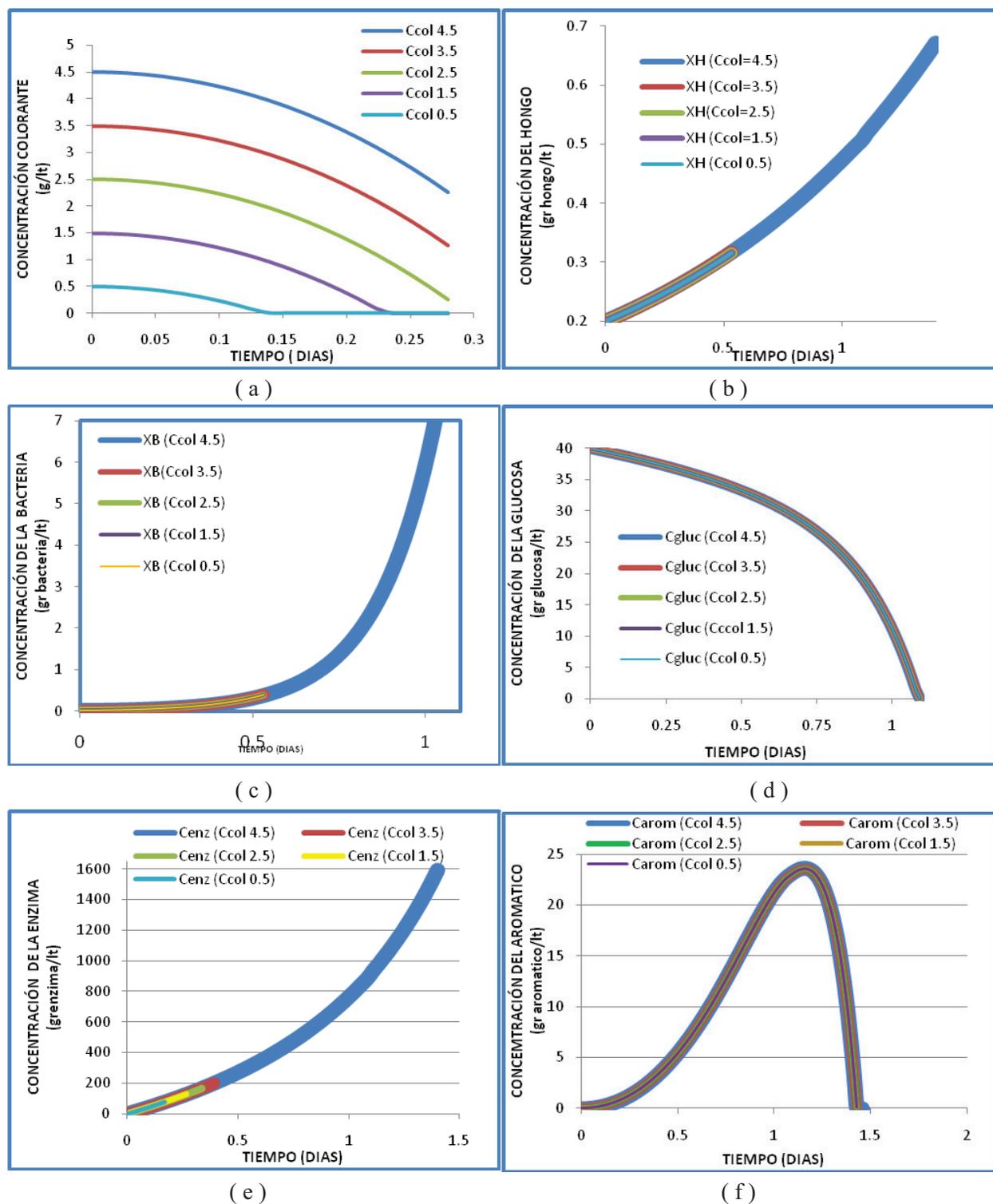


Figura 2. Representación del comportamiento de los distintos componentes relacionados con la degradación del colorante (a) colorante, (b) hongo, (c) bacteria, (d) glucosa, (e) enzima y (f) aromático.

# XXXII Encuentro Nacional y 1<sup>er</sup> Congreso Internacional AMIDIQ

3 al 6 de Mayo de 2011, Riviera Maya, Quintana Roo

---

## CONCLUSIONES

La implementación del sistema de reactores con el consorcio hongo-bacteria en el diseño de la planta es factible ya que aumentará el grado de decoloración en los efluentes optimizando tiempos de residencia, los tamaños de los equipos que se utilizarán como cribas, sedimentadores, filtros, floculador, coagulador, entre otros. Así como es necesario considerar dentro del mismo sistema de reactores un tiempo para el mantenimiento que no repercuta en la operación de la planta.

## REFERENCIAS

1. Salazar, L., Crespi, M. y Salazar, R., 2009. Reactores Discontinuos Secuenciados Anaerobios/Aerobios, *Universidad Autónoma del Estado de Morelos*, Tratamiento de aguas residuales textiles mediante un bioreactor de membrana, *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*.

[Índice](#)