

TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTES CONTENIENDO EL COLORANTE AURAMINA O

HERRERO, M. S.; GONZALEZ, H. O.; ALFANO O. M.; ISLA, M. A.

Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y Universidad Nacional del Litoral (UNL), Güemes 3450, 3000 Santa Fe, Argentina. Tel.: +54 342 455 9174/5/6/7. E-mail: msherrero@intec.unl.edu.ar

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL, Paraje El Pozo s/n, 3000 Santa Fe, Argentina.

RESUMEN

En el presente trabajo se estudia el impacto del colorante *Auramina O* sobre la tratabilidad biológica de efluentes líquidos derivados de la fabricación de envases de pasta de celulosa, como primera etapa de un estudio de factibilidad de aplicación de un tratamiento combinando procesos químicos y biológicos. Se utilizaron diferentes inóculos y medios de cultivo. Los ensayos se hicieron en reactores tanque agitados discontinuos en escala banco, en condiciones aeróbicas. También se realizaron pruebas in vitro sobre cepas de *Bacillus Subtilis s.p.*. Como resultado de los ensayos se concluyó que la Auramina O no afecta significativamente la viabilidad de los microorganismos utilizados, lo que haría factible el tratamiento biológico de efluentes que contienen este colorante. Utilizando un consorcio bacteriano disponible en el mercado se logró la disminución de gran parte de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de un efluente proporcionado por una industria de la región. A partir de la información experimental generada se obtuvo un modelo cinético para la propagación microbiana y para la degradación de la materia orgánica medida en términos de DQO. En todos los casos, se verificó que la concentración del colorante (que se determinó por espectrofotometría midiendo la absorbancia a 432 nm) no se alteró, lo que indica que la tinta no es biodegradable y que, por lo tanto, su eliminación requerirá la utilización de un proceso químico o combinado químico-biológico.

INTRODUCCIÓN

Los efluentes de fábricas de envases de pasta de celulosa se caracterizan por una alta Demanda Química de Oxígeno (DQO) aportada mayormente por restos de pasta; éstos son fácilmente separables por sedimentación o centrifugación. Otra particularidad de estos efluentes es que suelen contener restos de tintas que son, en general, poco biodegradables o no biodegradables y en algunos casos tóxicos. La mayoría de los tratamientos utilizados por las industrias se basan en “trasladar” las tintas de la fase líquida a otra diferente pero sin lograr su degradación (Mall y col., 2007; Tanaka y col., 2000; Dutta y col., 2001); estos tratamientos suelen ser de tipo físico-químicos como adsorción en carbón activado o coagulación.

En relación al colorante presente en los efluentes tratados puede decirse que es un compuesto considerado como posible cancerígeno, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (The International Agency for Research on Cancer) incluye a la Auramina O entre los químicos para los cuales existe suficiente evidencia de su carcinogenicidad en animales, debido a su bio-transformación en especies reactivas tanto en ratas como en humanos (Mall y col., 2007). Es considerado también tóxico para los organismos acuáticos y puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio

ambiente acuático. Así mismo, el Reglamento para el Vertimiento de Líquidos Residuales, Resolución N° 1.089/82 de la Dirección Provincial de Obras Sanitarias de la Provincia de Santa Fe, prohíbe el volcado de líquidos coloreados a cursos de agua superficiales. Auramina O es una tinta básica, las cuales son utilizadas comúnmente para teñir telas aniónicas como lana, seda, nylon y acrílicos. El hecho de que también es empleada como un agente antiséptico (Poulios y col., 2000; Gai Ke y Dong Yanjie, 2005) introduce dudas sobre la factibilidad de tratamientos biológicos de efluentes que la contengan, que es precisamente lo que se pretende dilucidar en este trabajo.

OBJETIVOS

En el presente trabajo se pretende determinar: a) el efecto de la Auramina O sobre la viabilidad de los siguientes microorganismos: 1) *Bacillus subtilis*, y 2) un consorcio bacteriano disponible en el mercado; b) la factibilidad de utilizar el tratamiento biológico para disminuir la carga orgánica de los efluentes de una fábrica de envases de pasta de celulosa que contienen Auramina O como colorante; y c) obtener un modelo cinético de la propagación de biomasa y la disminución de la DQO durante el tratamiento biológico.

METODOLOGÍA

En primer lugar se realizaron ensayos in vitro con cepas de *Bacillus subtilis s.p.* sembrados en Agar-Agar, utilizando técnicas estandarizadas. Se estudió el efecto antagónico de una solución de tinta en agua a una concentración de 50 ppm.

Posteriormente se llevaron a cabo ensayos en escala banco, utilizando en primer término un medio sintético conteniendo: glucosa como fuente de carbono y energía, adicionado con extracto de levaduras y sales minerales varias como fuentes de Fósforo, Nitrógeno, Azufre y otros nutrientes; asegurando un exceso de éstos de modo que no sean limitantes del crecimiento y reproducción celular. Para estudiar el posible efecto antagónico de la auramina O se hicieron dos ensayos biológicos en paralelo: en uno de los reactores se dispuso el medio arriba mencionado (“reactor control”) y en el otro se agregó Auramina O en una cantidad tal que su concentración alcance un valor de aproximadamente 50 ppm. Ambos reactores fueron operados en idénticas condiciones de agitación mecánica y de aireación. La concentración de oxígeno se mantuvo en un valor que garantice que no limite el crecimiento y reproducción celular (5 ppm). La temperatura se mantuvo en 25 °C y el pH en un valor de 7. El inóculo consistió en un consorcio microbiano apto para el tratamiento de efluentes municipales e industriales disponible en el mercado en forma de liofilizado. Previamente a la inoculación, se llevó a cabo la hidratación y adaptación de los microorganismos al medio conteniendo glucosa, mediante sucesivos repiques. La concentración inicial de microorganismos, medida en términos de Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) fue de 500 mg/L para ambos reactores. Se hizo un seguimiento en el tiempo de las concentraciones de Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) y DQO de acuerdo a las técnicas 2540-D, 2540-E y 5220-D respectivamente de Standard Methods (Greenberg y colab., 1998); la concentración de glucosa se determinó por un método enzimático colorimétrico para la determinación de glucosa en suero, plasma y otros líquidos.

Finalmente, siguiendo la misma metodología se realizaron ensayos sobre un efluente real, proporcionado por una industria de la región, utilizando el mismo consorcio bacteriano que en los ensayos anteriores. En este caso se hizo un seguimiento en el tiempo de la concentración de biomasa y de la DQO “soluble”.

RESULTADOS

1. Impacto de la Auramina O sobre cepas de *Bacillus subtilis s.p.* in vitro.

El crecimiento y reproducción de las cepas inoculadas no se vieron sustancialmente afectados por la presencia de la tinta ya que no se observaron marcadas zonas de inhibición en torno a las incisiones en las que se inyectó la solución de tinta., como puede apreciarse en la Figura 1. Puede afirmarse entonces que la tinta en una concentración de 50 ppm no es tóxica para el *Bacillus subtilis* creciendo sobre Agar.



FIGURA 1: Fotografía de las cepas de *Bacillus subtilis* sembradas en Agar-Agar

2. Impacto de la Auramina O sobre la actividad biológica de un consorcio bacteriano disponible en el mercado.

2.1. Medio sintético

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en la experiencia realizada utilizando el medio sintético descrito anteriormente. En ambos reactores se partió de una concentración de biomasa ya aclimatada de 500 mg/L.

La evolución de la concentración de Glucosa y DQO son similares para el “reactor control” y para el que contiene Auramina O, como puede observarse en las Figuras 2 y 3. Las curvas de evolución de DQO soluble y glucosa no presentan anomalías respecto de las formas típicas de este tipo de ensayos.

A lo largo de todo el ensayo en el reactor conteniendo Auramina O no se observaron cambios en la concentración de la tinta (medida a partir de la absorbancia de la muestra a 432 nm), persistiendo el color amarillo característico de la misma. Ello pone en evidencia la no-degradabilidad biológica de la tinta, al menos en los tiempos propios del ensayo.

La disminución de la DQO acompaña a la de la concentración de glucosa de acuerdo a la demanda teórica de oxígeno de esta última (aprox. 1.1 mg O₂/mg glucosa), pero agotada la glucosa el medio presenta una DQO de alrededor de 300 mg/L. Ello puede atribuirse a la presencia de los otros nutrientes incorporados y/o a la DQO de la propia Auramina O, que es de aprox. 4 mg O₂/mg Auramina O (Figuras 2 y 3).

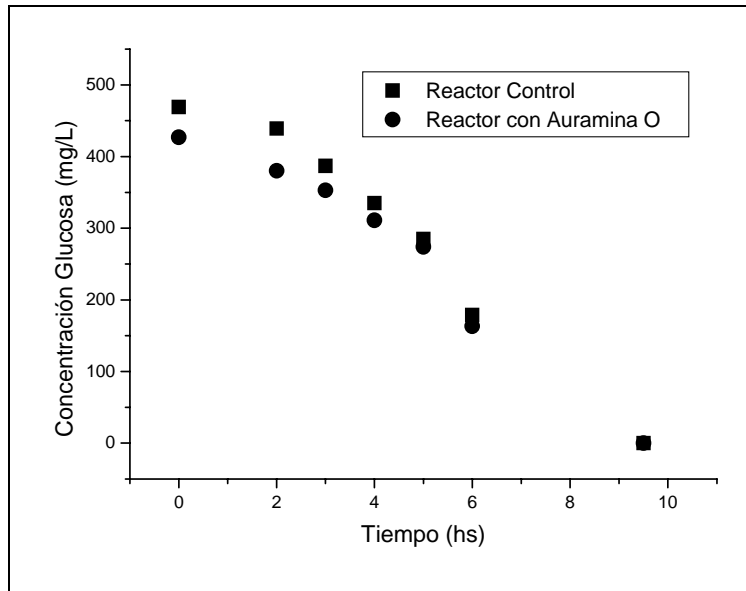


FIGURA 2: Evolución de la concentración de Glucosa en función del tiempo.

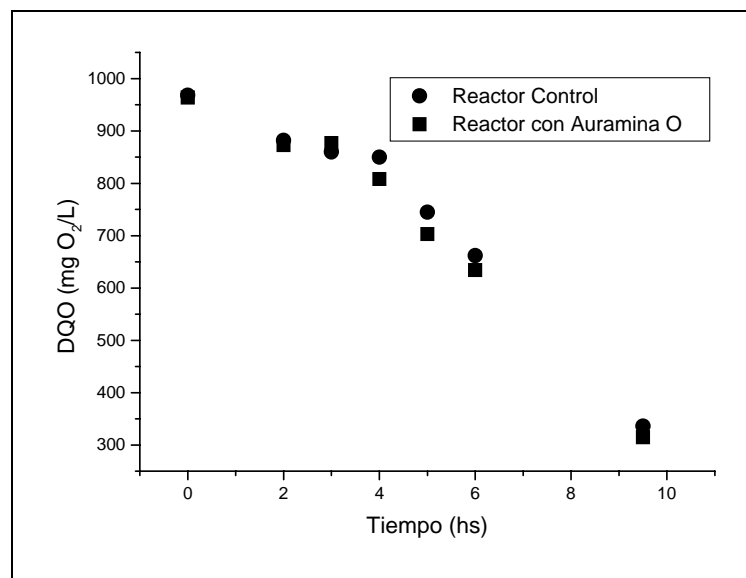


FIGURA 3: Evolución de la concentración de DQO "Soluble" en función del tiempo.

2.2. Efluente de una fábrica de envases de pasta de celulosa

Con el fin de obtener información experimental libre de efectos de procesos de adaptación al medio y/o de inhibición gradual encubierta, se hicieron varios repiques de los microorganismos en el efluente en forma previa a su inoculación en el ensayo definitivo, procediéndose como sigue: a) se realizó la aclimatación del liofilizado durante 24 horas en un litro del efluente, en condiciones aeróbicas; b) transcurridas 24 horas se dejó sedimentar, se descartó el sobrenadante y las bacterias fueron utilizadas para inocular nuevamente efluente fresco, manteniendo la agitación y aireación; c) se repitió la etapa (b), utilizándose la biomasa producida como inóculo del ensayo en el

que se siguió la evolución de la concentración de biomasa y la DQO. En todos los casos se adicionaron sales nutrientes minerales en exceso.

Los resultados experimentales obtenidos, que se muestran en las Figuras 4 y 5, pudieron representarse muy satisfactoriamente con un modelo muy sencillo (Monod) para las cinéticas de formación de biomasa (asimilada a SSV) y de degradación de la materia orgánica disuelta en el medio (asimilada DQO). El modelo se describe a través de las ecuaciones (1) a (3):

$$r_x = \frac{dx}{dt} = \mu_{(DQO^*)} x \quad (1)$$

$$r_{DQO} = \frac{dDQO^*}{dt} = -\frac{\mu_{(DQO^*)}}{Y} x \quad (2)$$

$$\mu_{(DQO^*)} = \mu_{m\acute{a}x} \times \frac{DQO^*}{DQO^* + K_{DQO^*}} \quad (3)$$

Donde x es la concentración de biomasa medida en términos de SSV; μ es la constante de velocidad específica de formación de biomasa; Y el rendimiento biomasa/DQO. DQO^* es la DQO soluble “biodegradable”, obtenida como la diferencia entre la DQO medida y la remanente al final del ensayo, DQO_r es:

$$DQO^* = DQO - DQO_r, \frac{mgO_2}{L} \quad (4)$$

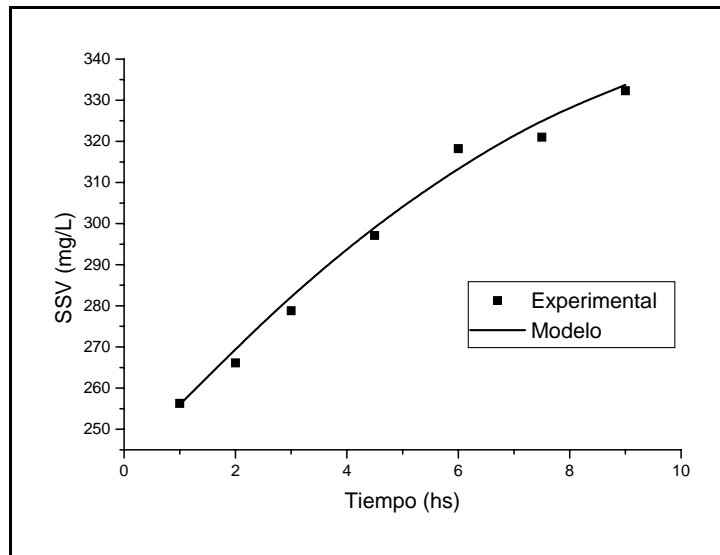


FIGURA 5: Evolución de la biomasa del efluente industrial

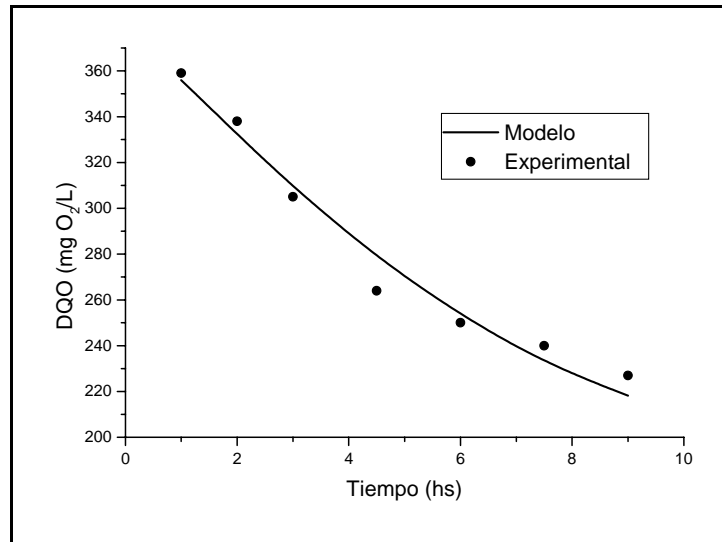


FIGURA 4: Evolución de la DQO del efluente industrial

Los valores de μ , cuya dependencia con la DQO se muestra en la Figura 6, se obtuvieron a partir de la ecuación (1), previo “suavizado” de los datos experimentales mediante su ajuste con una función continua. Por regresión no-lineal se obtuvieron los valores de $\mu_{m\acute{a}x}$, $K_{(DQO^*)}$ y DQO_r que permiten un mejor ajuste, resultando: $\mu_{m\acute{a}x} = 0.0737$, $K_{(DQO^*)} = 56 \text{ mg/L}$ y $DQO_r = 217 \text{ mg O}_2/\text{L}$. Obsérvese que el valor de este último parámetro prácticamente coincide con el que se verifica experimentalmente. El valor del rendimiento, que resultó prácticamente constante, se obtuvo por cociente de las ecuaciones (1) y (2), resultando $Y = 0.566$. Como puede apreciarse de la Figura 6, el modelo propuesto con los parámetros así estimados permite representar muy satisfactoriamente los valores experimentales.

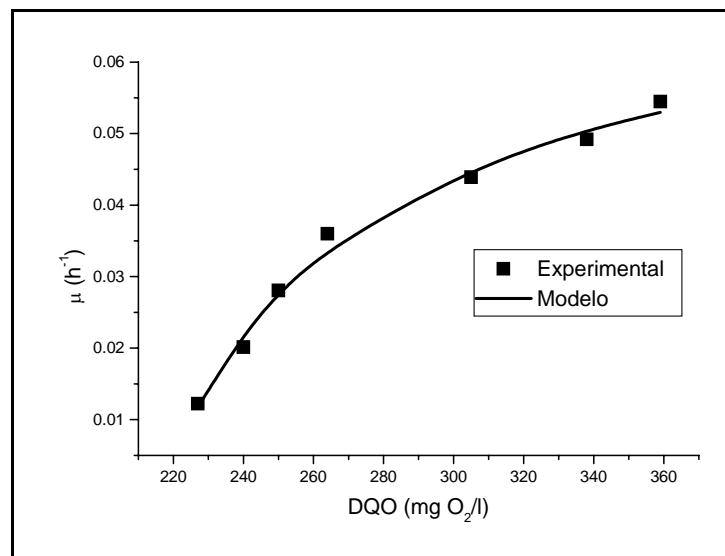


FIGURA 6: Dependencia de la constante de velocidad específica de formación de biomasa con la DQO.

Al igual que en los ensayos con el medio sintético la concentración de la tinta se mantuvo prácticamente constante a lo largo del ensayo, manteniendo el efluente su coloración amarilla característica.

En este caso, transcurridas 9 horas se verifica una DQO que podría caracterizarse como “no biodegradable” o difícilmente biodegradable, con un valor de 227 mg O₂/L. Una medición de la DQO soluble realizada a las 24 hs de iniciado el ensayo permitió verificar que este valor es el mínimo que puede alcanzarse. Esta DQO “remanente” puede atribuirse a la Auramina O y a otros compuestos no biodegradables presentes en el efluente industrial y cuya eliminación deberá llevarse a cabo mediante un tratamiento químico.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha demostrado que la presencia de Auramina O en una concentración de hasta 50 ppm no afecta la actividad biológica de microorganismos “testigo” como el *Bacillus subtilis* ni de los que integran el consorcio bacteriano utilizado.

Se demostró la factibilidad de disminuir en un 40% la carga orgánica del efluente de una industria que utiliza Auramina O en su proceso productivo, mediante un tratamiento biológico basado en un consorcio de bacterias disponible en el mercado. Se demostró también que la Auramina O no es fácilmente biodegradable, y que para su eliminación y la de otros compuestos no biodegradables presentes en el efluente industrial, debe complementarse el tratamiento biológico con otro tipo de tratamiento.

Actualmente se está estudiando factibilidad de la degradación de la Auramina O utilizando Procesos Avanzados de Oxidación Química combinados con Procesos Biológicos (Scott y col. 1995) para dar una definitiva solución a la contaminación causada por este tipo de efluentes.

BIBLIOGRAFIA

- Dutta K.; Mukhopadhyay, S.; Bhattacharjee, S.; Cahudhuri, B. (2001) Journal of Hazardous Materials B, 84, 57-71
- Gai Ke; Dong Yanjie. (2005) Plasma Sources Science and Technology, 14, 589-593.
- Mall Indra; Vimal Chandra Srivastava, Nitin Kumar Agarwal. (2007) Journal of Hazardous Materials, 143, 386-395.
- Greenberg A. E.; Clesceri L. S.; Eaton A. D. (1998) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Ed. 18va Washington, American Public Health Association.
- Poullos, I.; Avranas, A.; Rekliti, E.; Zouboulis, A. (2000) Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 75, 205-212.
- Tanaka, K.; Padermpole, K.; Hisanaga, T. (2000) Water Research, 34, 327-333.
- Scott, J. P.; Ollis, D. F. (1995) Environmental Progress, 14 (2), 88-103.