

Optimización de la degradación de un efluente de frigorífico por Barros Activados**

Eliggi, Ma. Susana*; Bernabeu, Alejandro*; Carrera, Elena**;
Contini, Liliana**; Abramovich, Beatriz***

* Cátedra de Transferencia de Movimiento y Operaciones, Facultad de Ingeniería Química,

** Dpto. de Matemática,

*** Sección Aguas, Dpto. de Ciencias Biológicas, Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas.

Universidad Nacional del Litoral. CC. 242. Ciudad Universitaria, Paraje El Pozo. (3000) Santa Fe.

Tel. 0342-4575211. bernabeu@unl.edu.ar

RESUMEN: Se trabajó con un reactor a escala de laboratorio con el fin de evaluar la acción del agregado de liofilizado de cepas bacterianas y enzimas a un sistema convencional de barros activados para el tratamiento de las aguas residuales de una industria frigorífica. Se logró una eficiencia similar de remoción de materia orgánica en el barro con liofilizado en un tiempo significativamente menor que en barro con flora nativa. Ello permite utilizar mayores cargas orgánicas o tanques de menor tamaño. Con la implementación de estas nuevas tecnologías se tiende a obtener efluentes de menor valor contaminante y simultáneamente lograr beneficios económicos y operativos.

Palabras claves: efluentes, cinética, barros activados, liofilizado.

SUMMARY: OPTIMIZATION OF DEGRADATION OF FRIGORIFIC INDUSTRY EFFLUENT BY ACTIVATED SLUDGE. Eliggi, Ma. Susana; Bernabeu, Alejandro; Carrera, Elena; Contini, Liliana; Abramovich, Beatriz. A laboratory-scale reactor was used to assess the effects of adding a lyophilized preparation containing bacterial strains and enzymes to a conventional activated sludge system for treating wastewater from a frigorific plant.

Removal of organic matter from sludge plus lyophilized preparation was carried out as efficiently and within a significantly shorter time than when sludge plus native flora was used. Therefore, greater organic loads or smaller tanks could be used.

These new technologies aim at lessening effluent impact on the environment as well as obtaining higher economic and operative benefits.

Key words: effluents, kinetics, activated sludge, lyophilized.

Introducción

Las aguas residuales de la industria frigorífica poseen principalmente materia orgánica biodegradable siendo, por lo tanto, factible su tratamiento por el sistema de Barros Activados.

Durante este proceso las aguas residuales están en contacto con microorganismos que utilizan su materia orgánica como alimento. El oxígeno necesario para el metabolismo es aportado por un sistema de aireación mecánica o a través de difusores. A medida que los microorganismos crecen y son mez-

** Este trabajo fue desarrollado en el marco de la tesina de Susana Eliggi para la obtención de la Licenciatura en Biotecnología de la Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas de la UNL y del proyecto CAI+D 2002-15-104: Modelos epidemiológicos: matemáticos y estadísticos avanzados.

Correspondencia a:

Beatriz L. de Abramovich. CC. 242. Ciudad Universitaria, Paraje El Pozo. (3000) Santa Fe.

clados en el tanque de aireación, se aglutinan y forman una masa activa llamada «barro activado». En general el cometido de este tratamiento es transformar sustrato orgánico soluble o coloidal en sólidos biológicos floculentos, que pueden posteriormente ser separados por decantación (1).

La implementación de nuevas tecnologías tiende a lograr un efluente de bajo poder contaminante y al mismo tiempo alcanzar beneficios económicos, a fin de permitir su aplicación (2). La adición de liofilizados, integrados por enzimas y microorganismos seleccionados, a la biomasa de los sistemas de tratamiento biológico intenta optimizar los rendimientos de depuración de los mismos.

El objetivo de este estudio fue evaluar la acción de la adición de liofilizado de cepas bacterianas y enzimas en un reactor discontinuo, por medio del sistema de barros activados a escala de laboratorio, en la degradación de la materia orgánica de un efluente proveniente de una industria frigorífica.

Materiales y Métodos

Procedimientos preliminares

Previamente al inicio de las experiencias se determinaron la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en muestras del efluente ($n=6$) procedente de la salida del tanque sedimentador primario de la planta de tratamiento de la industria frigorífica. El objetivo fue hallar una relación entre ambos parámetros (DBO/DQO), a fin de estimar posteriormente el valor de DBO a través de la medición de DQO, teniendo en cuenta que el procedimiento operativo del primero es más laborioso y demanda más tiempo que el del segundo. Se debe tener en cuenta que la DBO permite evaluar adicionalmente la fracción degradable del efluente por la vía biológica.

Desarrollo de las experiencias

Se utilizó un reactor discontinuo aeróbico a escala de laboratorio de forma prismática con un volumen aproximado de 2500 ml. La aireación fue proporcionada por difusores porosos colocados en la parte inferior del reactor.

1- Puesta a punto y aclimatación

Los microorganismos fueron incorporados al sistema mediante el agregado de barro activado proveniente de un sistema de tratamiento de efluentes de una industria de gelatina. Esta biomasa debió aclimatarse a fin de hacerla apta para la degradación de la materia orgánica proveniente de la industria frigorífica. Para este fin se adicionó efluente de un frigorífico con concentraciones crecientes de carga.

2- Estudio de la cinética de degradación del efluente

Se realizaron 12 experiencias divididas en 2 etapas. El sistema elegido en todos los casos fue el discontinuo o batch, que ofrece las ventajas de su practicidad, pudiendo aplicarse sus resultados a procesos continuos (3).

Etapa 1 ($n=6$): Se llevaron a cabo los ensayos, con barro activado (flora nativa) previamente aclimatado. Se alimentó el reactor con efluente de frigorífico con cargas orgánicas promedio, en términos de DQO, en el orden de 1240 mg/l y de DBO, de 710 mg/l. El valor de Sólidos Suspendidos Volátiles de Licor Mixto (SSVLM) fue 1020 mg/l. La relación F/M (carga orgánica aplicada DBO/SSVLM) resultante fue 0,70. En cada uno de los 6 ensayos se tomaron muestras, a intervalos adecuados de tiempo, durante las 24 h posteriores a la alimentación. En todas ellas se realizaron las determinaciones de:

- Temperatura
- Oxígeno disuelto (O.D.)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Al cabo de las 24 horas de aireación se llevaron a cabo las siguientes mediciones:

- Índice Volumétrico de Barros (IVB): Es la relación entre el volumen de barro sedimentado a los 30 minutos medido en una probeta de 1 litro, y el valor de SSVLM.

- Observación microscópica del flóculo.

Etapa 2 ($n=6$): Se utilizó barro aclimatado a la degradación de efluente de frigorífico, como en la etapa anterior, al que se adicionó liofilizado de cepas bacterianas y enzimas. Este liofilizado, de origen comercial, contiene bacterias desarrolladas por adaptación selectiva frente a diferentes compuestos que pueden estar presentes en las aguas de desecho

(proteínas, grasas, almidón, celulosa). Para ello, en cada ensayo, se agregó 1 gramo del mismo al licor mixto. Durante 60 minutos se agitó y aireó el sistema a fin de activarlo, antes de proceder a la alimentación con el efluente de frigorífico y la consecuente medición de parámetros.

La toma y conservación de las muestras y las determinaciones analíticas se realizaron de acuerdo a las técnicas normalizadas de "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (4). Las determinaciones de DQO soluble se realizaron sobre muestras filtradas a través de filtros de fibra de vidrio Whatman GF/C.

Análisis Estadístico

Luego de realizar un análisis exploratorio de los datos, se utilizaron técnicas de regresión no lineal a los efectos de hallar la curva que mejor ajustaba los mismos. La variable independiente, tiempo, a la que se consideró medida sin error en intervalos fijos, presentaba seis réplicas por cada uno de dichos puntos fijos.

Para realizar los ajustes se utilizó el software SPSS 10.0. Se determinó el porcentaje de disminución de DQO a partir del cual el proceso puede considerarse constante. Se estudiaron comparativamente los tiempos, en horas, para la DQO tanto para barros con flora nativa como en aquellos en que fue agregado el liofilizado de bacterias.

Se empleó la técnica de Mann Whitney para efectuar la comparación de los valores de materia orgánica residual entre los ensayos de las Etapas 1 y 2 (5,6). Nivel de significancia adoptado $\alpha = 0,05$.

Resultados y Discusión

• **Relación DBO/DQO:** En la Tabla 1 se consiguen los estadísticos descriptivos entre ambos parámetros:

El valor hallado confirma la biodegradabilidad del efluente y por lo tanto la posibilidad de ser sometido a un tratamiento por Barros Activados ya que, para estos fines, esta relación debe alcanzar valores entre 0,50 y 0,65 (7).

• **Aclimatación del Barro:** La aclimatación se evidenció al cabo de ocho días por las características que presentó el barro:

a- Presencia de microorganismos (flora bacteriana y microfauna) indicadores de un barro normal y maduro (8). Se observaron ciliados libres y fijos, amebas, flagelados y rotíferos. Se distinguieron también escasas bacterias filamentosas. A medida que el proceso avanzó, disminuyó el número de bacterias aisladas, conformándose luego en flóculos densos, representativos de un barro maduro, con un líquido sobrenadante límpido.

b- Eficiencia de remoción de la materia orgánica proveniente del efluente de frigorífico del orden de 85- 90% a las 24 horas de tratamiento. En los primeros días de aclimatación la eficiencia de remoción no superó el nivel de 60 %.

c- Variaciones de la concentración de O.D. consideradas normales para un sistema de barros activados (Figura 1): Los microorganismos, al degradar la materia orgánica, utilizan el oxígeno disuelto en las etapas iniciales, restituyéndose su concentración a los valores primitivos, a medida que avanza el proceso.

Desarrollo de las experiencias

En la Tabla 2 se resumen los parámetros promedios característicos de las experiencias de ambas etapas.

El Índice Volumétrico de Barros hallado para las etapas 1 y 2 fue de 145 y 72 respectivamente. Estos valores señalan una correcta sedimentabilidad del barro (9), considerándose el correspondiente a la Etapa 2, representativo de mejor calidad.

La eficiencia en la remoción de materia orgánica fue calculada como una variación relativa de la concentración de DQO, mediante la expresión

$$\frac{DQO_f - DQO_i}{DQO_i} \quad \text{tomando la total como valor ini-}$$

cial y la soluble como valor final a las 24 h de aireación (10).

El curso de la disminución de la Demanda Química de Oxígeno del licor mixto durante el período de aireación en los distintos ensayos para cada etapa (1 y 2) se pueden observar en los diagramas de dispersión correspondientes (Figura 2-a y 2-b).

Se comparó la DQO remanente para cada etapa en el inicio, a las 2, 4, 6, 8 y 24 horas. Se halló que, para el inicio, las concentraciones son estadísticamente semejantes ($p = 0,132$) y para los tiem-

pos restantes la concentración de DQO del efluente del reactor con agregado de liofilizado, es significativamente menor ($p < 0,009$ en todos los casos, Tabla 3).

Para hallar el tiempo en el que cada etapa logra su estabilización se calculó la variación relativa (decrecimiento relativo) de DQO para los ensayos con flora nativa y para aquél con agregado de liofilizado en los distintos intervalos de tiempo.

La máxima eficiencia de remoción de materia orgánica fue de 92,5%, en un ensayo en barro con liofilizado a las 24 h de aireación. La menor fue de 88,6% en barro con flora nativa.

Se adoptó un 88% de eficiencia como valor de corte (cut-off) para analizar los tiempos a los que esto ocurría en cada etapa. Se obtuvo como resultado una media de 4 h, una desviación estándar de 1,8 h y una mediana de 4 h para el barro con agregado de liofilizado, siendo estos valores para la otra etapa de 10 h, 6,9 h y de 8 h respectivamente.

Se probaron distintas regresiones no lineales a ambos conjuntos de datos; resultando los de mejor ajuste los modelos exponenciales siguientes (Figura 3):

Barro con flora nativa (Figura 3-a):

$$y_{\text{nativ}} = 413,28 e^{-0,00263t}; R^2_{\text{ajust}} = 0,75$$

Barro con liofilizado (Figura 3-b):

$$y_{\text{liof}} = 397,20 e^{-0,00523t}; R^2_{\text{ajust}} = 0,84$$

Siendo en ambos modelos y la concentración de DQO en función del tiempo y las constantes de los exponentes igual a $\frac{k \cdot X_v}{S_0}$ donde k es la constante

de velocidad de remoción (hora^{-1}), X_v es el promedio de los sólidos en suspensión volátiles en licor mixto (SSVLM) y S_0 la carga inicial promedio de ambas etapas. Los valores de k resultantes son: $k_{\text{liof}} = 0,373$ y $k_{\text{nativo}} = 0,190$.

Ambos modelos responden a una cinética de primer orden. Los coeficientes de las exponenciales negativas señalan la velocidad de decrecimiento de la curva exponencial, que se corresponde con la de eliminación de sustratos complejos expresados en términos de X_v , k y S_0 (11).

En el modelo correspondiente a lodos con agregado de liofilizado esa constante es mayor que en el del lodo con flora nativa ($0,373 > 0,190$) lo que señala una velocidad de remoción más elevada. Esto coincide con lo hallado mediante comparaciones entre ambas etapas en los distintos intervalos de tiempo observados (Tabla 3). Los valores de R^2_{ajust} hallados indican un buen ajuste del modelo, ya que son mayores o iguales al 75%.

Tabla 1: Estadísticos descriptivos de la relación DBO/DQO en el efluente de frigorífico

n	mínimo	máximo	$\bar{x} \pm s$
6	0,52	0,62	$0,57 \pm 0,04$

$\bar{x} \pm s$: promedio \pm 1 desviación estándar. n: número de muestras.

Tabla 2: Datos resumen de los ensayos en cada etapa

	Etapa 1	Etapa 2
n	6	6
Temperatura (°C)*	25,2 ± 2,7	22,8 ± 1,8
Carga orgánica DQO (mg/l)*	1244,5 ± 86,3	1277,5 ± 58,8
F/M*	0,69 ± 0,05	0,67 ± 0,06
Eficiencia de remoción de carga orgánica (%)*	89,87 ± 0,99	92,01 ± 0,75

*: se informa promedio ± 1desviación estándar. n: número de muestras

Tabla 3: DQO(mg/l) soluble remanente para cada etapa a distintos intervalos de tiempo

Tiempo (horas)	0	2	4	6	8	24
Etapa 1 *	496.25 (60.05)	250.26 (82.41)	188,47 (43,02)	157,64 (16,15)	142.16 (10.59)	128.87 (12.69)
Etapa 2 *	451.90 (21.15)	175.13 (25.61)	139,84 (15,70)	122,68 (10,10)	112.50 (7.60)	101.83 (6.57)
p	0.132	0.009**	0,009**	0,002**	0.002**	0.004**

*: se informa promedio (desviación estándar).

** : diferencias estadísticas altamente significativas ($\alpha=0.05$)

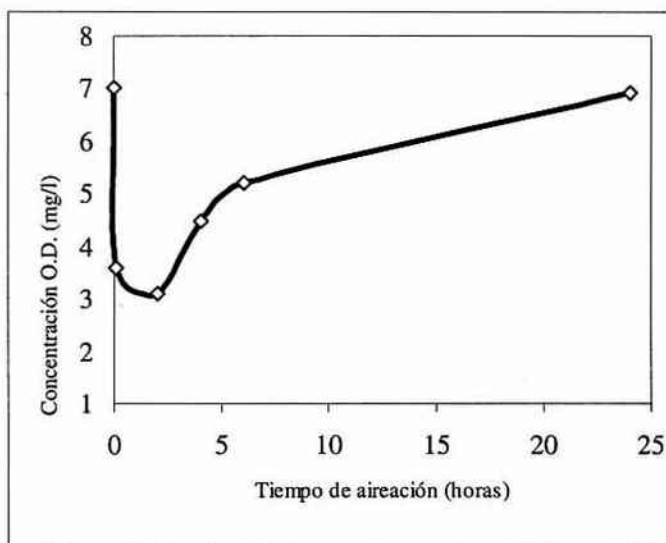
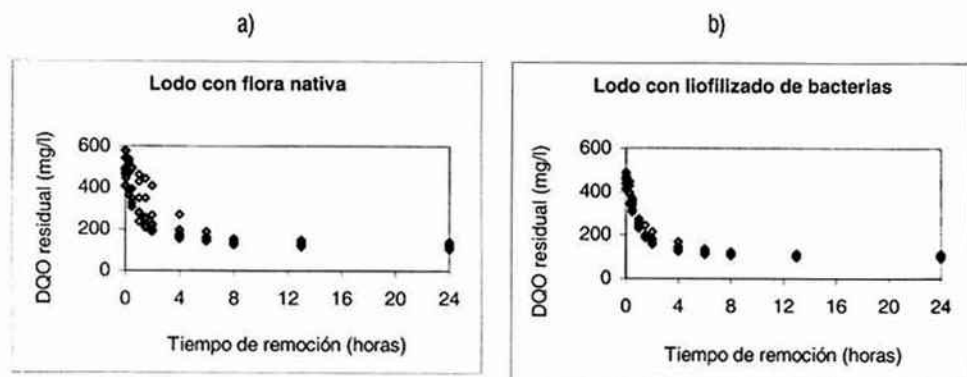
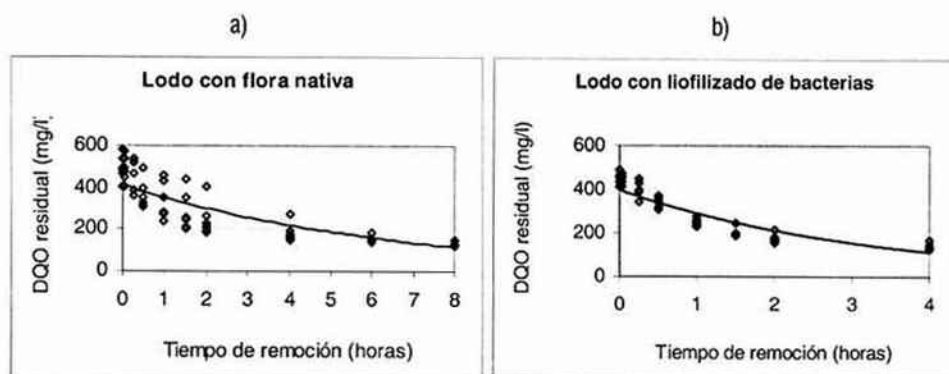
Figura 1: Curva de OD en función del tiempo hallada al finalizar el período de aclimatación.

Figura 2: Remoción de la materia orgánica en los distintos ensayos durante el periodo de aireación.



Gráficos de dispersión, la nube de puntos corresponde a los resultados de todos los ensayos en cada etapa. Se remarca la superposición de valores en el gráfico b) que semejan puntos más gruesos.

Figura 3: Modelos ajustados en cada una de las etapas



El máximo valor de la variable independiente t utilizada para ajustar los modelos corresponde a los determinados en cada etapa para lograr un 88% de eficiencia.

Conclusiones

Para llegar al mismo porcentaje de eficiencia de remoción de materia orgánica en el barro con flora nativa se necesita un tiempo significativamente mayor que en el barro con agregado de liofilizado.

A cargas iniciales semejantes, la DQO remanente, a los distintos intervalos en que se realizaron los ensayos, presenta diferencias entre ambas etapas, siendo siempre menor la correspondiente al barro con agregado de liofilizado.

La efectividad del liofilizado en la estabilización y optimización de la remoción de materia orgánica permitiría utilizar cargas orgánicas mayores o bien disponer de tanques de menor volumen, lo que implica una evidente ventaja económica y operativa.

Se recomienda utilizar cepas no nativas o exógenas dentro de un marco reglamentario, a fin de evitar posibles riesgos ambientales (12).

vincia de Buenos Aires, Argentina. Rev. de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. 45: 94-100.

9. Calamante, A.J.; Serra, S.R.; Lombardi, C.H.; González, J.G. 1980. Guía de funcionamiento, operación y control de un sistema de barros activados a escala de laboratorio. Rev. Ingeniería Sanitaria. 4: 19-26.

10. Tchobanoglous, G.; Burton, F., 1995 "Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, Vertido y reutilización. 3^{ra} Edición. Metcalf & Eddy, Inc. McGraw – Hill/ Interamericana de España S.A. (Madrid).

11. Eckenfelder, W.W., 1982. "Gestion des eaux usées urbaines et industrielles". Lavoisier Ed. (Francia).

12. Levin, M; Gealt, M.A., 1997. "Biotratamiento de Residuos tóxicos y peligrosos". Ed. Mc Graw Hill/ Interamericana de España (Madrid).

Bibliografía

1. Fair, Geyer, Okun, 1999. "Purificación de aguas". Vol. II. Ed. Limusa (México).
2. Belloso, CO. Desarrollo de cepas microbianas autóctonas con capacidad degradadora de sustancias orgánicas en efluentes industriales. IX Congreso Argentino de Microbiología. Octubre, 2001. Buenos Aires.
3. Vigil, R; Abramovich, B; Bielsa, L, 1986. La cinética de remoción de materia orgánica de efluentes lácteos por el proceso de barros activados. La Alimentación Latinoamericana. 32: 67-73.
4. American Public Health Association; American Water Works Association, Water Environment Federation, 1998. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater". 20th Ed (Washington).
5. Myers, R. H., 2000. "Classical and modern regression with application". PWS Kent Publishing Company. (Boston). 425 – 449.
6. Conover, W. J., 1998. "Practical Nonparametric Statistic". John Willey & Sons. (New York). 213 – 229.
7. Hernández Muñoz, A., 1998. "Depuración de aguas residuales". Ed. Paraninfo. (Madrid).
8. Di Marzio, W.D.; Alberdi, J.L.; Tortorelli, M.C.; Sáenz, M.E., 1999. Indicadores microbiológicos del funcionamiento de sistemas industriales de depuración por lodos activados de la pro-