

DEPURACION DE EFLUENTES INDUSTRIALES UTILIZANDO PLANTAS ACUATICAS (EICHORNIA CRASSIPES)

Ing. Quím. César Mechelotti - Ing. Quím. Silvana Perdomo
Instituto de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería, Montevideo, Uruguay.

1.0 INTRODUCCION

El cultivo de plantas acuáticas arraigadas o flotantes como forma de mejorar la calidad del agua y de recuperar nutrientes de las aguas residuales tiene una larga tradición en distintas partes del mundo, en particular en la India y el sudeste de Asia.

Un enfoque sistemático del tema comenzó a producirse en los años sesenta y tuvo un desarrollo importante en la década de los setenta.

Dentro de las macrofitas flotantes, una atención especial se centró en los camalotes (*Eichornia Crassipes*).

En 1976 comenzó a operar en EE.UU. el primer sistema de depuración de aguas cloacales basado en el uso de camalotes.

Desde entonces se han desarrollado numerosos estudios sobre el tema, como lo evidencian, por ejemplo, los trabajos recopilados en las refs. (1) y (2).

Entre los aspectos favorables que presentan los sistemas de depuración biológicos basados en el uso de macrofitas frente a otros procesos aeróbicos puede señalarse:

- Alta eficiencia de depuración.
- Desarrollo de sistemas ecológicamente balanceados, con bajo impacto ambiental.

- Requerimientos mínimos de energía externa.

- Simplicidad tecnológica de los sistemas de depuración.

- Mínima presencia de sólidos en suspensión en el efluente.

- Posibilidad de aprovechamiento de la biomasa producida en forma de macrofitas.

En el caso de los camalotes se ha estudiado su uso como forraje, en la producción de "compost" y en la obtención de biogas.

2.0 ANTECEDENTES

2.1 DATOS DE BIBLIOGRAFIA

La mayor parte de los trabajos encontrados en la bibliografía, como, por ejemplo, los incluidos en las referencias citadas, estudian el uso de los camalotes en lagunas para la depuración final de efluentes cloacales.

Por consiguiente, si bien en algunos casos se llega a altas cargas superficiales, expresadas en Kg. de DBO/há - día, la concentración inicial del líquido a tratar es relativamente baja.

Así, E. Santo y Colabs. (en Ref. 1) trabajan con carga superficial de hasta 750 Kg./há - día, con una DBO5 inicial de 447 mg/L, y una eficiencia de depuración del 91%.

T. Hayes y colabs. (En Ref. 2) llegan a cargas máximas de 440

kg/há - día con una DBO5 del efluente de 200 - 260 mg/L y una eficiencia del 81%.

En los restantes trabajos citados, los valores de carga y concentración son considerablemente menores.

En las fuentes consultadas, son poco numerosos los estudios sobre depuración de efluentes industriales.

En la Ref. (1) sólo aparece un trabajo de R. Trivedy y V. Gudekar sobre tratamiento de efluentes de la industria textil. Trabajan en discontinuo en escala de laboratorio, con una DBO5 inicial de 460 mg/L y una eficiencia de 99% en un tiempo de 4 días.

En la Ref. 2, S. Abassi presenta una reseña de los sistemas estudiados en Asia para la depuración de efluentes industriales, apareciendo, por ejemplo, datos para el tratamiento en laboratorio de efluentes de industrialización de leche, con DBO5 inicial de 1443 mg/L y eficiencia del 94%.

2.2 EXPERIENCIAS EN URUGUAY

En 1983 se procedió a la siembra de camalotes en 2 lagunas facultativas que constituirían un tratamiento secundario de los efluentes de un frigorífico exportador, con capacidad de faena de 400 reses vacunas/día.

En el funcionamiento de la planta se obtuvo, a partir de un influente a las lagunas con una DBO5 de 800 mg/L, una eficiencia de depuración del 90 - 95%.

Al tratarse de lagunas dimensionales en forma convencional, el tiempo de retención hidráulica era alto (62 días) y, por consiguiente, la carga superficial relativamente baja, 228 kg/há - día.

En 1984 se procedió en forma análoga en una planta industrializadora de leche (10.000 L/día de leche procesada) que tenía una laguna facultativa como único tratamiento.

Para una DQO inicial de 1.000 mg/L y una carga superficial de 170 kg/há - día, se alcanzó una eficiencia del 93%, con un tiempo de retención hidráulico de 56 días.

3.0 OBJETIVOS

El análisis de los antecedentes determinó el interés de nuevos estudios sobre la depuración de efluentes industriales con alta concentración de contaminantes orgánicos (alta D.B.O.).

Se procuraba obtener información adecuada para permitir el dimensionamiento correcto de lagunas de estabilización mejoradas mediante la implantación de camalotes.

De esta forma se podría disminuir el volumen de lagunas y, por lo tanto, la inversión requerida para instalaciones de depuración industriales.

Los aspectos principales considerados fueron:

- establecer rangos de aplicación para los principales parámetros operativos: concentración del influente, carga superficial y tiempo de retención.
- determinar el efecto de esos parámetros sobre la eficiencia de depuración.
- verificar el efecto de la temperatura sobre el funcionamiento del sistema.

Este proceso era de particular interés, ya que la mayor parte de las experiencias citadas correspondían a climas cálidos.

La variable de diseño a estudiar fue la carga superficial.

$$C S = 10 \cdot C_i \cdot V/A \cdot X^1 / TRH$$

$C S$ = carga superficial, kg DQO / há - día
 C_i = concentración inicial del influente, g DQO / m³
 V = volumen útil del sistema m³
 A = área superficial, m²

Los valores de concentración del influente son determinados por las condiciones reales de la industria cuyos efluentes se estudian.

Para un sistema experimental determinado (A y V fijos) queda como variable de diseño a estudiar el tiempo de retención hidráulico.

4.0 REALIZACION

4.1 ELECCION DEL EFLUENTE A TRATAR

Se estudió la depuración de efluentes de la industrialización de leche considerando:

- la importancia en el país de este sector industrial y sus perspectivas de desarrollo.
- la localización de la mayor parte de las plantas industrializadoras en zonas suburbanas o rurales, lo que hace factible el uso de lagunas de estabilización.
- la composición de los efluentes, apropiada para la depuración biológica.
- el antecedente de una instalación en operación, citado en 2.2

Para asegurar una DQO inicial constante durante cada experiencia, se simuló el efluente utilizando leche entera en polvo diluida (experiencia 1) y lactosuero diluido (experiencia 2 - 6).

Estos líquidos presentaban valores más bajos de concentración de grasas y sólidos en suspensión que los reales, por lo que estos parámetros no fueron considerados en el estudio de la eficiencia.



FILIPIAK
Ingeniería s.r.l.

- Proyectos, Suministros y Montajes electromecánicos
- Talleres, fabricación
- Instalaciones eléctricas industriales
- SSEE, Líneas
- Electrificación rural
- Iluminación
- Obra civil

Casavalle 4634

Montevideo Uruguay

Tel.: 35 58 10

CUADRO I - COMPOSICION COMPARATIVA DE LOS LIQUIDOS ENSAYADOS				
	Exp. 1	Exp. 2	Efluente industrial	Ref. 2
pH	6,5	4	-	-
DBO5	2.690	1.635	2.000	1443
DQO	3.617	2.617	3.300	1690
DQO/DBO5	1,34	1,60	1,65	1.17
Grasas	100	35	460	173
Sólidos totales	3.280	2.300	3.000	3693
Sólidos suspendidos	160	150	1.000	1107
DQO/S. totales	1,10	1,12	1,10	0,46

4.2 EQUIPO EXPERIMENTAL

Se utilizó piletas de vidrio con las siguientes dimensiones:

	P 1	P 2	P 3
Longitud, m	0,64	0,82	1,08
Ancho, m	0,24	0,32	0,36
Altura útil, m	0,26	0,32	0,215
Area superficial, m ²	0,1536	0,2624	0,3890
Volumen útil, L	40	84	84

Las piletas fueron aisladas con poliestireno expandido.

4.4 REALIZACION

Se realizaron experiencias con una piletas y con 2 en serie, con tiempo de retención igual en ambas piletas.

La alimentación se realizó en régimen semicontinuo.

La descarga se efectuó por rebose.

Periódicamente se reponía el agua perdida por evapotranspiración que llegó a ser muy intensa.

Las experiencias se realizaron sembrando camalotes cubriendo aproximadamente 80% del área total.

Se trabajó en distintos períodos del año, en su mayoría en épocas de bajas temperaturas.

Cada experiencia se prolongó el tiempo necesario para verificar la estabilización de los resultados analíticos del efluente.



Colorado 2323

HIDROQUIMICA URUGUAYA

Ing. Quím. Alberto Barrocas

- Ablandadores y desionizadores de agua para uso doméstico o industrial; manuales o automáticos.
- Bombas y dispositivos cloradores.

Tel./Fax: 20 71 30

4.5 CONTROLES

Por razones de rapidez, simplicidad y confiabilidad se tomó como valor de control el análisis de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Periódicamente se determinó

en el efluente DBO₅, sólidos totales y en suspensión y grasas.

Se utilizó en todos los casos las técnicas analíticas corrientes.

Diariamente se medía pH y temperatura del líquido.

5.0 RESULTADOS

5.1 DISMINUCION DE LA DQO

En el Cuadro II se resume las condiciones operativas y el resultado de 6 experiencias realizadas entre 1988 y 1990.

CUADRO II: RESUMEN DE LAS EXPERIENCIAS

EXP	Tipo	T. °C	tE	tM	TRH	C S	Ci	Cf	Ef%
1	S	14	180	122	40	170	2617	218	92
2	S	15	75	55	20	232	1892	162	91
3	S	12	40	18	20	334	2721	230	92
4	P	20	97	64	20	470	3617	454	88
5	S	16	35	23	14	571	3098	663	79
6	P	12	36	20	10	560	2721	504	82

Tipo: S = 2 piletas en serie; P = 1 pileta.
 T = temperatura ambiente promedio durante el ensayo, °C.
 tE = duración del ensayo, días.
 tM = duración del período en que se determinó Cf, días.
 TRH = tiempo de retención hidráulica del sistema, días.
 C S = carga superficial = $10 \cdot Ci \cdot V/A \cdot t / TRH$, kg DQO/há - día.
 Ci = DQO inicial del influente, mantenida constante en cada ensayo, mg/L.
 Cf = DQO final, promedio durante tM, mg/L.
 Ef% = disminución porcentual de DQO_i

La evolución de la DQO puede verse en las gráficas adjuntas.

5.2 VARIACION DE OTROS PARAMETROS

DBO₅

La relación entre DQO y la DBO₅ fue variable a lo largo de las experiencias, pero osciló en el orden de 3 para el efluente tratado, frente a 1,6 para el influente.

pH

Evolucionó en forma similar en todas las experiencias: disminución inicial a valores del orden de 4, seguida de un aumento hasta 6 - 7.

Sólidos en suspensión.

Los valores determinados fueron algo erráticos, ya que la poca profundidad de las piletas

hacía que al muestrear se pudiera provocar una remoción de los sólidos sedimentados.

De los valores que se considera confiables puede establecerse una disminución del orden del 50% respecto al influente, habiendo llegado en alguna experiencia a efluente prácticamente sin sólidos en suspensión.

Grasas

Las grasas quedaban retenidas físicamente por los camalotes, acumulándose en la superficie de las piletas.

Su degradación fue parcial y la disminución observada es el resultado de ambos procesos, con valores entre 35 y 60%.

5.3 OBSERVACIONES

Se observó en períodos fríos un decaimiento marcado de los camalotes, que se recuperaban rápidamente al aumentar la temperatura ambiente.

Efecto similar se apreció al producirse ocasionalmente aumentos bruscos en la carga superficial.

Fue muy importante el cambio en el sistema radicular que en el medio concentrado en nutrientes disminuyó notoriamente en longitud y complejidad, aunque ello no afectó la eficiencia de depuración.

Lo reducido del volumen de las piletas no permitió realizar observaciones válidas sobre el desarrollo de fauna o flora en el siste-

ma, aunque se produjo aparición de larvas de diversas especies.

Cambios de temperatura y pH produjeron aparición esporádica de algas y hongos.

6.0 LIMITACIONES

Las condiciones de realización de las experiencias introdujeron algunas limitaciones en cuanto a los resultados obtenidos:

- El número de experiencias que se pudo completar es reducido.
- El poco volumen del sistema lo hizo muy inestable frente a variaciones en las condiciones.
- La relación largo/ancho de las piletas (2,6 - 3,0) no es adecuada, no aproximándose ni a un flujo pistón ni a un reactor de mezcla completa. La presencia de los camalotes dificulta el mezclado longitudinal.
- La poca profundidad del

líquido hizo que la mayor parte del volumen quedara comprendida en la zona radicular de las plantas, condición más favorable que la esperable en escala industrial.

- Como contrapartida, el régimen de flujo fue totalmente laminar, con una velocidad lineal máxima del orden de los 2 cm/h y un Reynolds en la zona libre menor a 1.

Esta condición impide un mezclado adecuado, con poca renovación del líquido en contacto con las raíces de los camalotes, ubicando al sistema en una condición de baja eficiencia (TCHOBANOGLOUS, Ref. 2).

7.0 CONCLUSIONES

Las limitaciones señaladas no permiten establecer correlaciones cuantitativas entre el resultado buscado (concentración de

efluente) y las variables del sistema: Ci, TRH, CS.

No obstante, es posible establecer conclusiones válidas como base para futuros desarrollos de este procedimiento de depuración:

- El uso de lagunas con camalotes es aplicable como tratamiento secundario en la depuración de efluentes de la industrialización de leche, con concentraciones de hasta 3.600 mg/L de DQO.

Es previsible su aplicación exitosa a otros efluentes industriales.

- Se obtienen eficiencias de depuración entre 80 y 90% con tiempos de retención sensiblemente menores a los requeridos en laguna de estabilización corrientes, como se aprecia en el Cuadro III.

El desarrollo del aluminio, en todas sus opciones.

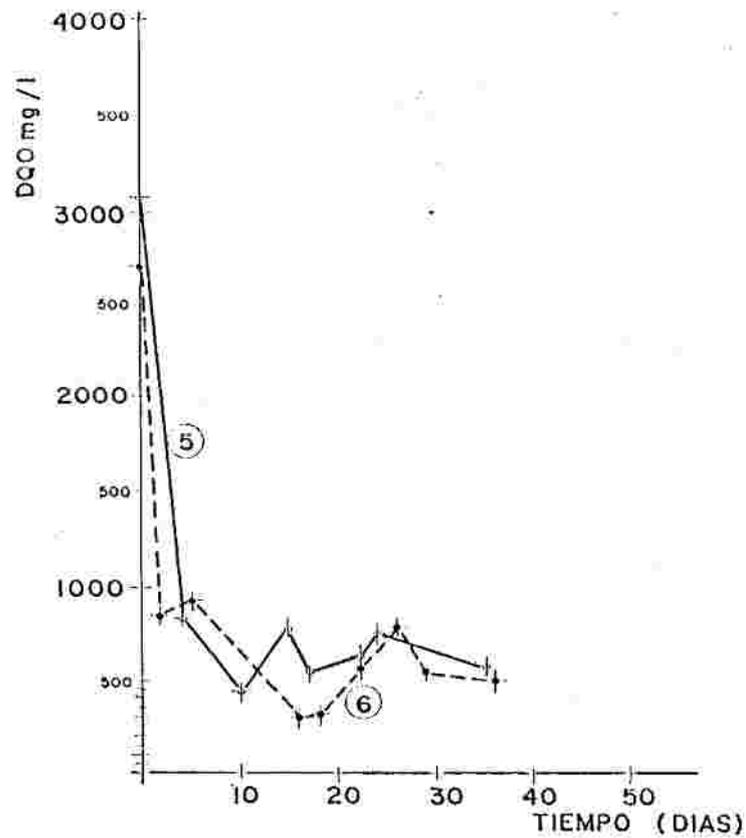
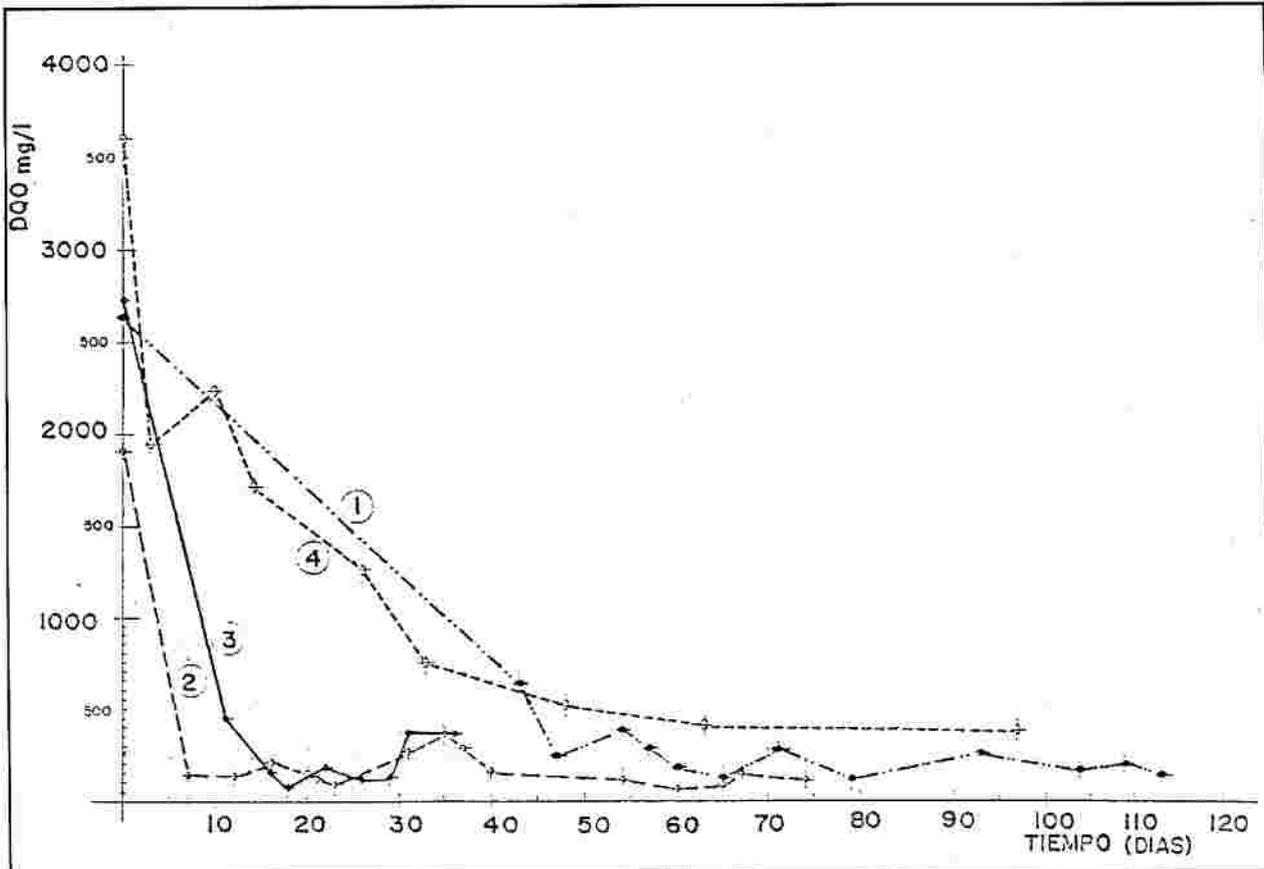
Alcan Aluminio del Uruguay S.A.



Fábrica, Administración y Ventas: Ramón Márquez 3222

Tels.: 20 14 35 - 20 27 67 - 28 15 01.

Ventas Directas: Cerro Largo 929 - Tels.: 92 18 57/58/59 - 98 18 62/63



CUADRO III - COMPARACION CON LAGUNAS CONVENCIONALES.

LAGUNA	1	2	3	4	5
TRH	20-40	7-20	20-50	56	10-40
DBO5	200	200	2002	1000	1100-2200 (*)
CS	40-120	50-200	200-500	170	170-570
Ef%	80-95	80-95	50-85	93	80-92
S Sf	80-140	40-60	80-160	-	10-150

S Sf: sólidos en suspensión en el efluente.

1 - 2 - 3 : Lagunas aeróbicas, facultativas y anaeróbica.
(METCALFF-EDDY "WASTERWATER ENGINEERING")

4 : Instalación industrial operando en Uruguay.

5 : resultados experimentales.

(*) DQO/DBO5 = 1,6

c) Estas eficiencias se mantienen en períodos de baja temperatura ambiente.

d) El efluente del sistema presenta valores bajos de sólidos en suspensión, pudiendo prescindirse de una decantación secundaria.

e) En su aplicación en instalaciones industriales este sistema ofrece las ventajas de:

- inversión inicial relativamente baja.
- bajo consumo de energía.
- posibilidad de aprovechamiento de los camalotes: biogas, compost, forraje.

f) Como inconvenientes debe señalarse:

- necesidad de cosechar periódicamente los camalotes.

- posible aparición de insectos perjudiciales en las lagunas.

8.0 PERSPECTIVAS

Se considera que los resultados alcanzados justifican continuar los estudios sobre el uso de macrofitas flotantes en la depuración de efluentes industriales.

Las líneas de trabajo a desarrollar serían:

- a) Realizar nuevas experiencias para establecer correlaciones cuantitativas para el diseño de sistemas industriales.
- b) Estudiar la aplicación a otros efluentes industriales.
- c) Ensayar otras macrofitas

flotantes, en especial las que pretenden mayor resistencia a temperaturas bajas.

d) Evaluar el comportamiento del ecosistema en instalaciones de suficiente volumen.

e) Analizar técnica y económicamente los usos posibles de los camalotes.

REFERENCIAS

1. SEMINAR ON THE USE OF MACROPHYTES IN WATER POLLUTION CONTROL UNIV. de SAO PAULO, BRASIL 1986.
2. AQUATIC PLANTS FOR WATER TREATMENT AND RESOURCE RECOVERY K. REDDY - W. SMITH. Eds. MAGNOLIA PUBLISHING, USA 1987.

CURTIEMBRE UNILAN S.A.

Barros Arana 5510 - TEL: 54 04 00 - FAX. 54 49 93