

# CRECIMIENTO BACTERIANO EN SISTEMAS AEROBIOS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES LIQUIDOS

E.Civit, M.Iuretig, M.Segura, A.Foppoli y R.Deza

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata,  
Funes 3350, 7600 Mar del Plata

y M.Rosen

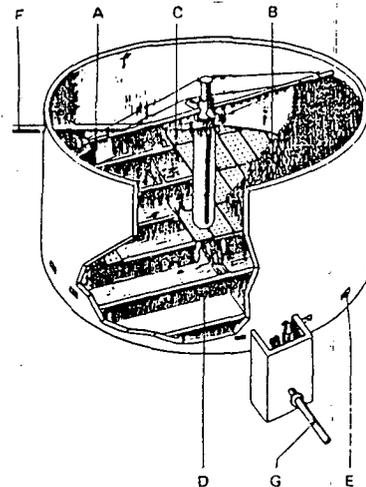
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Buenos Aires,  
Paseo Colón 850, 1063 Buenos Aires.

Se investigan los mecanismos de agregación de biomasa en sistemas aerobios empleados en el tratamiento de efluentes líquidos. Con tal fin, se comparan los resultados de experiencias de laboratorio con los de simulaciones numéricas.

Se construyeron filtros percoladores a escala de laboratorio funcionando en condiciones controladas y se realizaron experiencias de crecimiento sobre superficies tubulares.

## INTRODUCCION

Los filtros percoladores y discos rotativos (fig.1) pertenecen a la clase de tratamiento de efluentes denominada "aerobia" con biomasa fija<sup>1</sup>. Los microorganismos, encargados de degradar la materia orgánica, crecen sobre un soporte inerte en la medida en que las condiciones de su entorno se lo permiten; los sustratos ( $O_2$ , C, N, P, etc.) fluyen diluidos en la corriente líquida y deben difundir a través de una capa de líquido estanco que rodea la biomasa (fig.2).



Esquema de un lecho bacteriano, A: distribuidor rotatorio; B: medio filtrante; C: placa perforada de falso fondo; D: soporte de la placa; E: alimentación de aire; F: llegada de agua a tratar; G: salida de agua tratada.

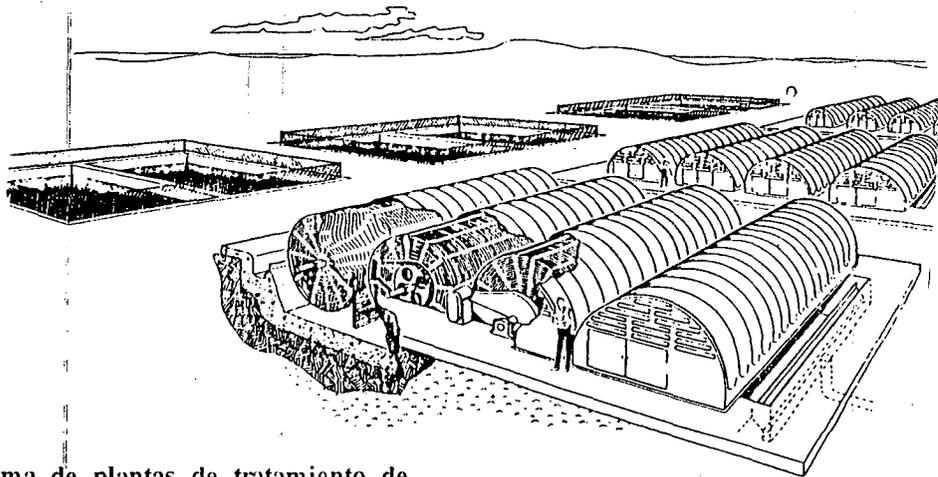


Figura 1: Esquema de plantas de tratamiento de efluentes mediante discos rotativos (a) y filtros percoladores (b).

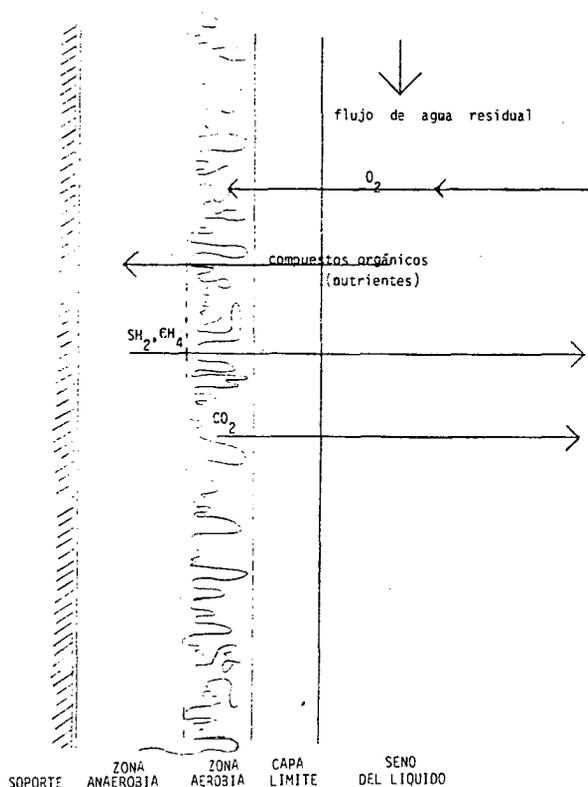


Figura 2: Esquema de crecimiento bacteriano sobre un soporte.

La relación entre la solubilidad del oxígeno en agua a las temperaturas de trabajo que permiten una óptima actividad bacteriana y la velocidad de consumo por los microorganismos es del orden de 700 veces el valor de saturación por hora. Por esto, el sustrato limitante del crecimiento es generalmente el O<sub>2</sub> y su difusión en la capa estanca resulta ser la etapa limitante del proceso. La fórmula siguiente expresa el hecho que la velocidad de difusión regula la velocidad de la reacción bioquímica:

$$k_L a (C^*_{O_2} - C_L) = \chi \mu / Y_{O_2}$$

donde  $K_L$  es el coeficiente de transferencia de masa en la fase líquida,  $a$  el área de interfase gas-líquido por unidad de volumen,  $C_L$  la concentración de O<sub>2</sub> en la fase líquida,  $C^*_{O_2}$  el valor de  $C_L$  que estaría en equilibrio con la fase gaseosa (según la ley de Henry),  $\chi$  la densidad poblacional de las bacterias y  $\mu$  su velocidad específica de crecimiento. Finalmente  $Y_{O_2}$  es la relación molar entre la biomasa formada y el O<sub>2</sub> consumido y se denomina "rendimiento".

Suponiendo que la dependencia de  $\mu$  con  $C_L$

obedece la ecuación de Monod  $\mu = \mu_{max} C_L / (K + C_L)$ , entonces:

$$Y_{O_2} k_L a (C^*_{O_2} - C_L) = \chi \mu_{max} C_L / (K_{O_2} + C_L)$$

ecuación que podemos emplear para determinar las condiciones de control difusivo y de estabilidad del proceso. Aquellas células que sean provistas de oxígeno serán capaces de reproducirse, y el incremento de la masa de microorganismos estará en definitiva regulado por la difusión.

El objetivo de trabajo es, en esta etapa, investigar los mecanismos de agregación de estos microorganismos logrando su crecimiento bajo condiciones controladas y comparar las características geométricas de estos agregados con las obtenidas por simulación numérica a partir de modelos de agregación.

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Se realizaron experiencias de crecimiento sobre superficies tubulares, bajo condiciones controladas de concentración de nutrientes, pH(7) y temperatura (30 °C). El equipo fue alimentado con efluente sintético de la siguiente composición:

glucosa	250 mg/l
aptona	200 mg/l
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	65.25 mg/l
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	25.5 mg/l
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> · 12H <sub>2</sub> O	133.8 mg/l
NH <sub>4</sub> Cl	5.1 mg/l
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	67.5 mg/l
CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	82.5 mg/l
FeCl <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O	0.75 mg/l

El sistema considerado consistió en colonias bacterianas de especies diferentes (todas ellas aerobias) con presencia de protozoarios y otros depredadores naturales del medio. El desarrollo se consideró terminado cuando se llegó a un estado estacionario biológico (correspondiente a la zona de meseta del crecimiento bacteriano).

Se obtuvieron preparados para su observación en el microscopio mediante cortes transversales (con bisturí) de secciones centrales de los tubos.

Se tomaron fotografías empleando un WILD PHOTOMAKROSTROP M 400 (con una amplificación de 25 ×). La observación de las figuras 4 y 5 permite inferir la presencia de una estructura fractal. La imagen fotográfica no permite resolver distintos planos de crecimiento, los que generan zonas fuera de foco que a su vez introducen ruido en los bordes. Este tipo es el de problemas que se intenta resolver en la próxima etapa mediante un adecuado procesamiento de imágenes y mejoras en las condiciones de obtención de muestras.

### MODELOS DE AGREGACION PARTICULA-CONGLOMERADO<sup>2</sup>: MODELO DLA

Los modelos dan una regla iterativa para agregar nuevas partículas al "agregado" (conjunto de sitios ocupados en una red) partiendo de un conjunto de partículas semilla y definiendo en cada paso el conjunto de sitios "candidatos" (vecinos próximos desocupados a los sitios en el agregado) junto con una distribución de probabilidades (DP) sobre este conjunto).

En el modelo de agregación limitada por difusión (DLA) (Witten & Sander, 1981), las partículas que llegan siguen una trayectoria browniana (camino aleatorio que simula la difusión en un fluido) partiendo de muy lejos. Dado que un proceso de difusión en estado estacionario está descrito por la ecuación de Laplace, la DP puede ser puesta en correspondencia con los valores de un "potencial" o "campo eléctrico" apropiado, que determina por ejemplo que las probabilidades de agregación son mayores alrededor de las puntas y menores en los huecos. Esto tiende a crear agujeros de todos los tamaños, conduciendo a agregados con estructura fractal.

Una generalización posible del modelo DLA es introducir una probabilidad de adherencia  $p$  para tener en cuenta la agregación reversible. Cuando  $p \rightarrow 0$  se recupera el modelo de Eden (basado en DP uniforme). Se puede considerar además la posibilidad de reestructuración (difusión sobre el agregado), como también desagregación. Estas mejoras pueden ser útiles en el caso de sistemas biológicos.

### SIMULACION NUMERICA

En la fig.3 puede verse una corrida típica de un programa que simula un proceso bidimensional de agregación sobre un círculo siguiendo el modelo DLA, cuyos resultados intentamos comparar con

los experimentos de agregación bacteriana sobre la superficie de un cilindro. En nuestro programa generamos caminos aleatorios sesgados, con los que pretendemos tener medianamente en cuenta el efecto de arrastre que origina el flujo debido a la gravedad, y que se suma al efecto puramente difusivo.

Figura 3: Corrida típica del programa de simulación basado en el modelo DLA.

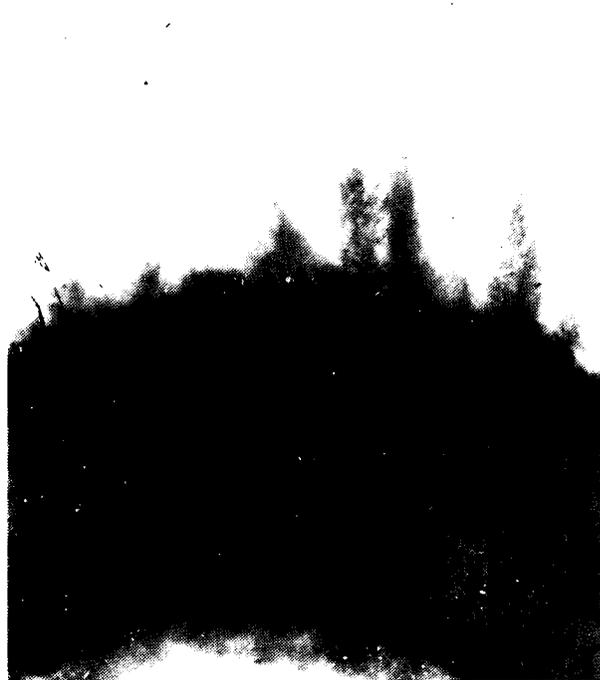


Figura 4: Fotografía de la agregación de varias colonias sobre un soporte de material plástico.



Figura 5: Detalle de la agregación de una colonia.

En la fig.4 se observa el crecimiento de varias colonias sobre la superficie soporte, mientras que la fig.5 muestra en detalle la agregación en un mismo conglomerado. En ambos casos la geometría es, como puede observarse, cualitativamente consistente con los resultados numéricos.

Estos resultados son alentadores, y actualmente se está llevando a cabo un análisis más detallado y cuantitativo, que incluye la determinación de dimensiones fractales y simulaciones sobre otro tipo de red y de geometría del soporte.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de la Srta. Ana Parrondo, alumna de la Licenciatura en Física, quien se ha sumado recientemente a nuestro equipo. Este trabajo se realiza con apoyo parcial de CONICET.

#### REFERENCIAS

1. E.Civit: *Tratamiento Aerobio de Aguas Residuales*, curso dictado en Workshop Internacional de Química Ambiental del Agua (UNAM, México, set/1991).  
B.Atkinson: *Biochemical Reactors* (Pion Ltd, London 1973)  
W.Eckenfelder: *Principles of Water Quality Management* (CBI Publishing Co, Boston 1980)  
E.Schroeder: *Water and Wastewater Treatment* (Mc.Graw - Hill, NY 1977)  
R.Conway y Ross: *Handbook of Industrial Water Disposal* (Van Nostrand-Reidel, NY)
2. R.Jullien y R.Botet: *Aggregation and Fractal Aggregates* (World Scientific, Singapore 1985)  
J.Feder: *Fractals*.