

INMOVILIZACIÓN DE BIOMAS A ANAEROBIA TERMOFÍLICA EN SOPORTES POROSOS

Pérez García, M., Romero García, L.I. y Sales Márquez, D.¹

RESUMEN: Se ha estudiado el proceso de colonización de un soporte poroso de vidrio sinterizado (perlas de SIRAN) por microorganismos anaerobios en un reactor de lecho fijo (filtro anaerobio de 2L de volumen útil) operando en condiciones termofilicas. Asimismo, se ha estudiado la puesta en marcha y operación del reactor anaerobio termofilico de lecho fijo (con soporte poroso) en el tratamiento anaerobio termofilico de vertidos procedentes de destilerías vinicas (vinazas de vino). Los resultados obtenidos de la operación en régimen discontinuo del filtro anaerobio, utilizando el soporte SIRAN, han demostrado que la sistemática de alimentación por cargas reduce los periodos de adaptación en el proceso de colonización, favoreciendo la adhesión microbiana desde las primeras horas de incubación. La operación del reactor en condiciones de régimen de alimentación por cargas (3,8 kgCOD/m³/d) indican que es posible alcanzar la operación estable del proceso (80% eficacia de eliminación de la DQO total) y una elevada concentración de biomasa inmovilizada sobre el soporte (89,3 kgSVadh/m³relleno) en cortos periodos de puesta en marcha, 75 días. Análisis del soporte por microscopía óptica demuestran que, inicialmente, la biopelícula crece desde los huecos y cavidades del soporte, en donde se encuentra protegida de fuerzas y tensiones del fluido hasta cubrir la totalidad del soporte. El soporte descrito, previamente colonizado, es adecuado para la inmovilización y desarrollo de microorganismos de lenta velocidad específica de crecimiento (ej. microorganismos anaerobios) y, debido a sus propiedades de baja densidad aparente, alta porosidad y elevada área específica, es especialmente adecuado como soporte de reactores de lecho fluidizado para el tratamiento de altas velocidades de carga orgánica.

INTRODUCCIÓN

La digestión anaerobia es el proceso más utilizado en las plantas de tratamiento para la depuración de vertidos industriales. No obstante, para alcanzar una eficiente transformación de la materia orgánica es necesario mantener una alta concentración de microorganismos en el medio. La inmovilización de microorganismos sobre soportes inertes ha sido la alternativa más exitosa (Pérez, 1989; Breitenbucher, 1990; Ugurlu, 1991, 1992, 1993; Pérez, 1995), impulsando el desarrollo de los denominados tratamientos de alta velocidad (Albagnac, 1990; Vos, 1990). Las mejores tecnologías diseñadas bajo el principio de inmovilización de biomasa han sido los filtros anaerobios (Ugurlu, 1993; Nebot, 1995; Pérez, 1995, 1996), los reactores de lecho expandido y fluidizado (Hickey, 1991; Iza, 1991; Balaguer, 1993; Pérez, 1995, 1997) y los sistemas UASB (Lettinga, 1991). Uno de los principales problemas asociados a la operación con reactores de lecho fluidizado es el elevado espacio temporal requerido para el desarrollo inicial de la biopelícula. El periodo de tiempo en que se desarrolla esta etapa está comprendido entre nueve y doce meses (Switzenbaum, 1980, 1983). Tales periodos se pueden

reducir optimizando las variables iniciales del proceso: por adición de compuestos fácilmente metabolizables por la flora metanogénica o aplicando regímenes de alimentación por cargas (Bull, 1983; Balaguer, 1993). Asimismo, la propia naturaleza del material soporte seleccionado juega un papel importante en el proceso de colonización y en la extensión temporal del mismo (Fox, 1990). Piedras, arcillas, materiales cerámicos, piezas o matrices plásticas y vidrio sinterizado son los rellenos comúnmente utilizados para este fin. En el presente trabajo se realiza la optimización y seguimiento del proceso de colonización de un soporte material altamente poroso y elevada área específica en un reactor anaerobio termofilico degradando vinazas de vino.

MATERIAL Y MÉTODOS

Equipo experimental

La colonización del material soporte se realiza en un digestor anaerobio termofilico operando en régimen semicontinuo con vinazas de vino, en el que las perlas de vidrio sinterizado se comportan como un lecho fijo para la adhesión bacteriana

¹Departamento de Ingeniería Química, Tecnología de Alimentos y Tecnologías del Medio Ambiente. Facultad de Ciencias del Mar (Apdo. 40, 11510-Puerto Real, Cádiz) Universidad de Cádiz.

Artículo publicado en Ingeniería del Agua. Vol. 4 Num. 3 (septiembre 1997), páginas 7-12, recibido el 29 de enero de 1997 y aceptado para su publicación el 21 de julio de 1997. Pueden ser remitidas discusiones sobre el artículo hasta seis meses después de la publicación del mismo. En el caso de ser aceptadas, las discusiones serán publicadas conjuntamente con la respuesta de los autores en el primer número de la revista que aparezca una vez transcurrido el plazo indicado.

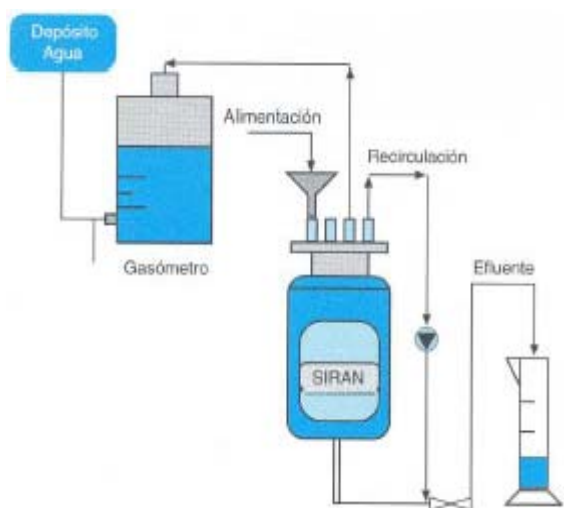


Figura 1: Equipo experimental utilizado en el ensayo de colonización del soporte poroso, SIRAN

un cuerpo central cilíndrico y base redondeada, de 25 cm de altura y un diámetro interno de 12 cm. La capacidad total es de 2,2 litros con un volumen útil en las condiciones de operación de 2 litros. La parte inferior del reactor está provista de una válvula de regulación para la extracción de líquido del mismo. Incorpora una tapa de vidrio acoplada a la cabeza del reactor con cuatro entradas/salidas: una entrada se utiliza para la adición de alimentación; otra para la recirculación del efluente, en sentido ascendente, mediante un sistema de bombeo mecánico que permite la homogeneización interna del reactor; la tercera boca permite la salida del biogás generado durante el proceso y la cuarta se utiliza para controlar la temperatura del reactor mediante un termómetro encamisado que se interna en el seno del reactor. Un baño termostático provisto de termostato de inmersión y bomba impulsora posibilita la termostatización de los reactores mediante circulación de agua caliente a 55°C a través del encamisado externo, revestido con un aislante térmico (Mullita).

Características de la alimentación

La alimentación utilizada es vinaza de vino neutralizada (pH: 7,45) procedente de un destilería de alcohol vínico ubicada en Tomelloso (Ciudad Real, España). La vinaza se diluye con agua fresca desde su concentración inicial de 30 gDQO/L hasta concentraciones de 18 gDQO/L. Ensayos de biodegradación en discontinuo de la vinaza utilizada indican que ésta es un medio complejo formado por dos sustratos de distinta naturaleza y biodegradabilidad: S₁, fracción de sustrato fácilmente biodegradable (80% del sustrato total), y S₂, que representa la fracción de sustrato difícilmente biodegradable en las condiciones en que se lleva a cabo la experimentación. Los polifenoles presentes en la alimentación no superan 0,83 kg/m³.

Características del soporte

El SIRAN ha sido desarrollado y comercializado por la firma Schott Glaswerke. Este soporte se produce por sinterización de una mezcla formada por vidrio y sales pul-

verizadas, seguido de un proceso de lavado en el cual se elimina la sal. La estructura resultante (vidrio poroso) posee una distribución de poros de tamaño bien definido en función del diámetro de la sal inerte utilizada, que puede variar dentro de un amplio espectro y adaptarse a las necesidades de los microorganismos. Una ventaja esencial del relleno de vidrio sinterizado es la estructura de doble poro superficial. Los poros en el rango 1-10 µm facilitan la rápida colonización de los microorganismos que inicialmente se encuentran presentes en el medio (Breitenbucher, 1990). Experimentalmente se comprobó la constancia de peso de este material tras calcinación (a 550°C), lo que permite realizar las determinaciones de concentración de biomasa inmovilizada en el transcurso del proceso de colonización.

Las partículas suministradas por la casa comercial fueron previamente clasificadas en función del tamaño, seleccionándose aquella fracción que presentaba un diámetro aparente comprendido entre 1,5-2 mm. Las características de las perlas de vidrio sinterizado se recogen en la *Tabla 1*.

Diametro	1,5-2
Densidad real (kg/m ³)	1832
Densidad aparente (kg/m ³)	570
Porosidad (%)	55-60
Superficie específica (m ² /m ³)	87000

Tabla 1: Características medias de las perlas de vidrio sinterizado.

Puesta en marcha

El reactor vacío (sin material soporte) fue inoculado con efluente procedente de dos tanques anaerobios termofílicos que operaban en condiciones óptimas en el momento de la inoculación (THR: 4 días, eficacia de depuración superior al 95%). Dicho reactor se mantuvo alimentando inicialmente cargas diarias de 500 mL de vinaza diluida y neutra con una DQO próxima a 18 kg/m³, y, por tanto, un tiempo de retención de 4 días. Cuando el reactor alcanzó condiciones estacionarias para el rendimiento de la depuración y volumen de metano producido (a las 360 horas desde el inicio del experimento), se adicionaron 275 mL del relleno seleccionado al reactor y se continuó alimentando dosis diarias de vinaza de 500 mL, correspondiente a un THR de 3,8 días. Posteriormente, y debido a la evolución del proceso, se redujo la carga orgánica hasta valores de 3,8 kgDQO/m³/d, incrementando el THR hasta 4,7 días.

Técnicas analíticas

La evolución del experimento requirió la cuantificación diaria de los parámetros característicos de un proceso de biodegradación (DQO, pH, STS, SVS, volumen de biogás generado y composición del mismo: porcentaje de CH₄ y CO₂). Las determinaciones de DQO, STS y SVS se realizan de acuerdo con los métodos estandarizados (APHA; AWWA; WPCF, 1989). La composición del biogás se analiza mediante cromatografía gaseosa utilizando un cromatógrafo de gases KONIK 2000 serie C, con programa de temperaturas.

Diariamente, y junto con la determinación de la biomasa suspendida en el medio, expresada como SVS ($\text{kgSVS}/\text{m}^3\text{medio}$), se extrae una cantidad representativa de partículas de soporte de una posición aleatoria del sistema, mediante un dispositivo adecuado para tal fin. Mediante un suave lavado con agua se eliminan las posibles bacterias no adheridas al soporte y se dejan escurrir sobre un papel de filtro durante 10 minutos (evitando cualquier desprendimiento de la biopelícula por rozamiento). La determinación de biomasa adherida se realiza pesando un número concreto de biopartículas previamente secadas en una estufa a 110°C durante 24 horas. Posteriormente estas partículas son sometidas a calcinación, 550°C , durante dos horas y, finalmente, pesadas en una balanza analítica. Por diferencia de pesadas, y considerando la densidad real del SIRAN se evalúan los sólidos volátiles adheridos a cada litro de relleno (o a cada gramo de relleno). Se ha considerado, por tanto, que el contenido en sólidos fijos o minerales es despreciable frente a los sólidos volátiles calculados. Exámenes periódicos por microscopía óptica indicaban que tras el proceso de calcinación las partículas estaban libres de biomasa.

Una pequeña fracción de partículas colonizadas fueron utilizadas para su caracterización morfológica por microscopía óptica, en diferentes etapas del proceso de colonización.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El seguimiento del proceso de depuración se estudia analizando los parámetros más característicos de operación y control de un proceso anaerobio: velocidad de degradación del sustrato, producción de metano y la evolución del contenido de biomasa total en el sistema, tanto en suspensión como inmovilizada.

Los datos de velocidad de carga alimentada y consumida, VCO_0 y VCO_c , eficacia depuradora ($\%\text{DQO}_c$) y caudales volumétricos de biogás y metano ($\text{m}^3/\text{m}^3\text{digestor}/\text{d}$), en cada etapa del proceso de puesta en marcha del reactor anaerobio de colonización, se presentan en la página siguiente, en la *Tabla 2*.

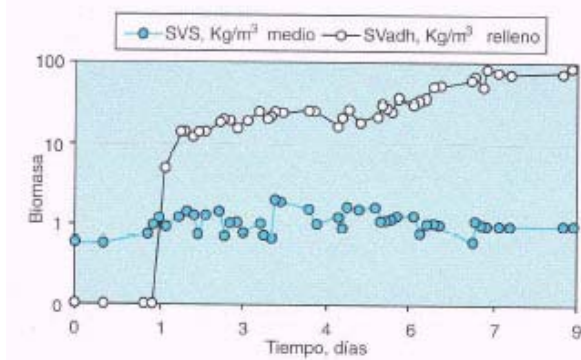


Figura 2: Representación, escala logarítmica, de la evolución en el contenido de sólidos volátiles en suspensión ($\text{kgSVS}/\text{m}^3\text{medio}$) y sólidos adheridos al relleno ($\text{kgSV}_{adh}/\text{m}^3\text{relleno}$) durante el proceso de colonización

Según los resultados presentados, la eficacia de la degradación, para una velocidad de carga suministrada de $4,4 \text{ kgDQO}/\text{m}^3/\text{d}$ se sitúa en valores aproximados del 80% (período T1, reactor sin relleno), correspondiente a la máxima eficacia alcanzable en la degradación del sustrato S_1 contenido en la alimentación. La adición del relleno al reactor (período T2) se produce a los 15 días desde inoculación, quedando un volumen útil del mismo de 1,89 litros y, en consecuencia, una sobrecarga orgánica de $4,7 \text{ kgDQO}/\text{m}^3/\text{d}$. Esto supone un período de adaptación de la flora a las nuevas condiciones de operación que se traduce en una disminución brusca del pH del medio y un descenso de eficacia depuradora hasta valores próximos al 70 % (DQO_{efl} superior a $5 \text{ kgDQO}/\text{m}^3$). La neutralización directa así como la disminución de la carga orgánica aplicada hasta $3,8 \text{ kgDQO}/\text{m}^3/\text{d}$, en el período T3, permiten la estabilización del proceso en valores de eficacia del 81% y pH próximo a 8. En esta situación, la DQO del efluente se estabiliza en valores residuales constantes ligeramente superiores a $3 \text{ kgDQO}/\text{m}^3$.

El volumen de metano generado durante el proceso presentó una tendencia a la estabilización en valores aproximados de $0,9 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{digestor}/\text{d}$. El rendimiento del metano, que disminuye considerablemente desde el período T1 a T2, mejora sensiblemente en T3 hasta alcanzar $0,29 \text{ m}^3/\text{kgDQO}_c$. No obstante, este valor es significativamente inferior al teórico estequiométrico de $0,35 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kgDQO}_c$. En el caso presentado, la síntesis de nuevos microorganismos y los procesos de adhesión bacteriana a la superficie del soporte, que implican la excreción al medio de enzimas extracelulares y sustancias poliméricas (polisacáridos), suponen un gran consumo de materia orgánica por la ruta anabólica de síntesis, disminuyendo, por tanto, la cantidad de sustrato que se transforma en metano. En este sentido, el valor teórico de $0,35 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kgDQO}$ se desvía considerablemente del calculado experimentalmente.

El seguimiento del proceso de colonización e inmovilización de la biomasa sobre el soporte se estudia cuantitativamente evaluando las modificaciones que se producen en el contenido total en sólidos volátiles suspendidos en el medio líquido y en los adheridos al relleno durante toda la extensión temporal del experimento, según el protocolo expuesto por Shieh (1981). La evolución observada se presenta gráficamente en la *Figura 2*. La gráfica recoge, en escala logarítmica, la evolución del contenido en sólidos volátiles suspendidos en el medio ($\text{kgSVS}/\text{m}^3\text{medio}$) y los adheridos sobre el soporte ($\text{kgSV}_{adh}/\text{m}^3\text{relleno}$) en un período de 89 días de operación.

Como se observa en la *Figura 2*, los sólidos suspendidos en el medio presentan un ligero incremento inicial desde $0,6 \text{ kgSVS}/\text{m}^3\text{medio}$ hasta un máximo de $1,9 \text{ kgSVS}/\text{m}^3\text{medio}$ tras 36 días de operación. Posteriormente, los valores de este parámetro descienden suavemente hasta estabilizarse en valores cercanos a $1,0 \text{ kgSVS}/\text{m}^3$. Por tanto, el reactor contiene, aproximadamente, 2 gramos de sólidos volátiles en suspensión.

Período	Tiempo	VC ₀	DQO _{en.}	vco _c	% DQO _c	pH	CH ₄	CO ₂
T1 THR: 4,0 días	0	4,43	2,95	3,69	83,4	7,45	—	—
	2	4,43	2,98	3,68	83,2	7,32	1,28	0,95
	5	4,43	3,05	3,67	82,8	7,38	1,30	1,16
	7	4,39	3,79	3,44	78,4	7,43	—	—
	14	4,32	3,50	3,45	79,8	7,41	1,15	1,08
	15	4,42	3,38	3,58	80,9	7,39	—	—
T2 THR: 3,8 días	16	4,68	3,41	3,78	80,8	7,36	—	—
	19	4,68	3,65	3,72	79,4	6,97	—	—
	20	4,68	3,69	3,71	79,2	6,92	—	—
	21	4,74	3,97	3,69	77,9	6,89	—	—
	22	4,74	4,17	3,64	76,7	6,80	0,87	0,60
	23	4,74	4,47	3,56	75,0	7,64	—	—
	26	4,74	4,86	3,45	72,9	7,89	0,89	0,45
	27	4,74	5,03	3,41	71,9	8,02	0,81	0,54
	28	4,74	5,02	3,41	72,0	8,50	0,91	0,44
	29	4,74	5,00	3,42	72,1	8,32	0,83	0,52
	30	4,74	5,15	3,38	71,3	7,98	0,89	0,55
	33	4,56	5,06	3,22	70,6	7,68	0,76	0,59
T3 THR: 4,7 días	34	3,81	5,51	2,64	69,4	7,52	0,88	0,43
	35	3,81	5,31	2,68	70,5	7,99	0,93	0,57
	36	3,78	5,29	2,66	70,4	7,54	0,73	0,72
	42	3,81	4,84	2,78	73,1	7,04	0,85	1,02
	43	3,72	4,80	2,70	72,7	6,97	1,00	0,71
	47	3,81	4,27	2,91	76,3	7,43	0,82	0,76
	49	3,75	4,30	2,84	75,7	7,23	0,82	0,54
	50	3,63	3,97	2,79	76,8	7,89	0,75	1,00
	56	3,78	3,80	2,97	78,7	8,23	1,01	0,61
	57	3,78	4,11	2,91	77,0	8,43	1,03	0,89
	58	3,78	4,27	2,88	76,1	8,32	0,77	0,61
	62	3,80	3,99	2,95	77,8	7,87	1,25	0,86
	63	3,78	3,98	2,94	77,8	7,45	—	—
	64	3,80	3,97	2,96	77,9	7,95	1,01	1,08
	72	3,80	4,02	2,95	77,6	7,56	0,86	1,23
	73	3,80	4,23	2,91	76,5	7,97	1,01	0,52
	74	3,78	3,25	3,10	81,8	7,99	—	—
	75	3,78	3,65	3,00	79,5	8,06	0,86	0,42
	78	3,78	3,25	3,09	81,8	7,39	0,87	0,76
	87	3,78	3,28	3,09	81,6	7,94	—	—
	89	3,78	3,39	3,06	81,02	8,03	0,91	0,52

Tabla 2: Evolución de los parámetros característicos del reactor:

- a) velocidades de carga orgánica alimentada y consumida, VC_0 y VC_c , expresadas como $kgDQO/m^3/d$;
- b) DQO en el efluente, DQO_{efl} , $kgDQO/m^3$;
- c) eficacia depuradora, $\%DQO_c$, expresada en porcentaje de biodegradación;
- d) volumen de CH_4 y CO_2 , m^3/m^3 digestor/d. Alimentación: vinaza neutra con $18 kgDQO/m^3$.

Por otro lado, las características físicas del soporte utilizado, con su estructura interna de doble poro y elevada área superficial, favorecen las condiciones adecuadas para la adhesión microbiana desde los estadios iniciales del proceso. Así, en tan sólo un día de contacto microorganismos soporte se consiguen cantidades de $1,1 kgSV_{adh}/m^3$ relleno. Esta cantidad evoluciona rápida-

mente hasta alcanzar una ligera estabilización a los 15 días en valores de $20-25 kgSV_{adh}/m^3$ relleno, aumentando suavemente en 75 días a $89,3 kgSV_{adh}/m^3$ relleno. Esto representa una cantidad de biomasa total adherida (considerando $275 mL$ de relleno) de $24,5 gSV_{adh}$ en el digestor. Los resultados obtenidos por Gorris (1988) indican que, independientemente de la naturaleza del inóculo y de la

alimentación utilizados, los procesos de colonización presentan tres etapas diferenciadas:

1. Fase de latencia inicial.
2. Desarrollo de la biopelícula microbiana sobre el soporte.
3. Estado estacionario de la biopelícula y, por tanto, del proceso de colonización. Dichas etapas se observan claramente en el estudio presentado, aunque la sistemática de alimentación por cargas reduce la extensión temporal del período inicial de inducción a pocas horas de operación.

Los valores finales de la concentración de biomasa alcanzada sobre el soporte SIRAN son comparables con los publicados por Fox (1990) en procesos de colonización de GAC (carbón activo granular) en sistemas de lecho fluidizado, presentando perfiles de evolución de la colonización similares aunque el GAC requiere un mayor tiempo para alcanzar la misma concentración de biomasa adherida.

Finalmente, Bull (1983) indica que regímenes de alimentación por cargas, acompañados de la adición de un cosustrato fácilmente metabolizable, favorecen el desarrollo y formación de la biopelícula así como el mantenimiento de una población bacteriana equilibrada. La vinaza utilizada en este estudio es un medio complejo que aporta todos los macro y micronutrientes necesarios para un adecuado proceso de colonización.

La cantidad de biomasa colonizada al final del proceso supone más del 93% del total de sólidos volátiles contenidos en el reactor. En estas condiciones la actividad degradativa del sistema se debe principalmente a la actuación de los microorganismos inmovilizados. En consecuencia, el soporte estudiado es apto para retener y concentrar biomasa, y, por tanto, para actuar como relleno de un reactor de lecho fluidizado para degradar vinazas de vino. Para Chen (1988), que trabajó con un lecho fluidizado degradando vertidos de alto contenido en almidón, la concentración de biomasa finalmente colonizada coincide con la contenida en el reactor. Paralelamente al estudio anterior se realiza el seguimiento morfológico de la biopartículas durante la colonización mediante microscopía óptica. La visualización inicial al microscopio deja manifiesta la estructura rugosa y doblemente porosa, formada por poros de diferente tamaño. Los poros de tamaño comprendido entre 1-10 μm proporcionan a los microorganismos inicialmente en contacto con la superficie, zonas adecuadas para una colonización incipiente. Estas zonas favorecen la posterior extensión de la colonización a todo el volumen del portador. Así, a las 24 horas desde el inicio de la incubación se observa una adhesión microbiana inicial sobre las hendiduras superficiales del material y a los 12 días la colonización es más acusada, extendiéndose desde las zonas internas más protegidas del material, mientras que a los 21 días la colonización se produce, mayoritariamente, sobre la superficie del soporte. Al final del proceso la colonización de biomasa ocupa toda la extensión del material, por lo que la superficie pre-

senta un aspecto menos sinuoso que las partículas vírgenes sin colonizar.

Fox (1990) presenta un esquema hipotético (Fig. 3) de la evolución del proceso de colonización sobre carbón activo granular (GAC), soporte de características físicas comparables a las del SIRAN. Mediante microscopía electrónica, Fox observa que, en los estadios iniciales del proceso, la colonización prolifera en áreas irregulares de la superficie, tales como los intersticios y grietas superficiales del soporte (que suministran las condiciones de protección más favorables para el desarrollo bacteriano) y, más tarde se extiende a toda la superficie material.

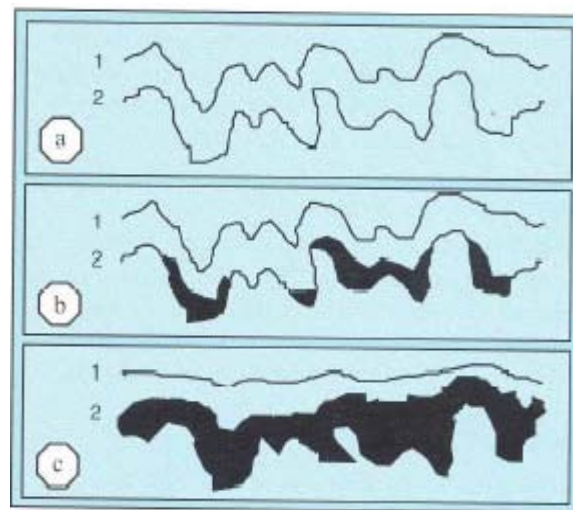


Figura 3: Esquema hipotético del proceso de colonización sobre la superficie del soporte SIRAN (adaptado a partir de Fox, 1990).

El esquema de la Figura 3 puede corresponder, por tanto, a una visualización del proceso superficial de colonización del soporte poroso. La línea 1 representaría la hipotética capa laminar límite del fluido, mientras que la línea 2 representaría la superficie del material de relleno. Las distintas etapas representadas se analizan a continuación:

- a. El crecimiento de la biopelícula comienza desde las zonas más protegidas de la superficie, allí donde las fuerzas tangenciales del fluido sobre el soporte son mínimas.
- b. La colonización se extiende desde los intersticios hacia el exterior presentando una mayor superficie expuesta a las fuerzas de fricción con el medio líquido a medida que evoluciona la adhesión microbiana.
- c. Al final del proceso, la biomasa microbiana se ha desarrollado cubriendo la totalidad de la superficie del SIRAN, de manera que se reduce la superficie expuesta al flujo del fluido.

Como resultado del proceso expuesto, la biopelícula cubre completamente la superficie del soporte, y se establece un régimen de fluido laminar en las cercanías de la misma. En efecto, la visualización secuencial del proceso de colonización del soporte mediante microscopía óptica puso de manifiesto las distintas etapas indicadas.

CONCLUSIONES

Las condiciones de operación seleccionadas en el proceso de degradación termofílica de vinazas de vino en un reactor de lecho fijo a escala de laboratorio favorecen el proceso de colonización de un material soporte poroso de vidrio sinterizado:

- El proceso de alimentación por cargas favorece los estadios iniciales de colonización de la biopelícula y reducen los periodos de latencia: en tan sólo 24 horas de incubación se alcanzan cantidades superiores a 1,09 gramos de sólidos volátiles por cada litro de relleno.
- El soporte empleado presenta una estructura superficial rugosa y porosa, con una estructura interna de doble poro que favorece el desarrollo bacteriano en toda la extensión del soporte, tanto en el seno del mismo como en su superficie. Estas características se traducen en una alta capacidad de concentrar biomasa en periodos de tiempo relativamente cortos: 89,3 kgSVS/m³ relleno en 75 días de incubación.
- Las altas concentraciones de biomasa colonizada alcanzadas por el soporte, junto con las características de alta porosidad y baja densidad aparente hacen que el *SIRAN* sea un soporte adecuado para su utilización como portador en un reactor de lecho fluidizado.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio constituye una parte del plan experimental del Proyecto de Investigación denominado "Utilización de bio-reactores con microorganismos inmovilizados en la degradación anaerobia. Modelización cinética del comportamiento de biopelículas microbianas, financiado por la CICYT (Ref. BIO-92 0859, Madrid, SPAIN).

BIBLIOGRAFÍA

- Albagnac, G. (1990) *Biomass retention in advanced anaerobic reactors*. Wat. Sci. Technol. 22, 17-24.
- Balaguer, M.D., Vicent, M.T. & Paris, J.M. (1993) *Puesta en marcha de un reactor anaerobio de lecho fluidizado. Aplicación a la depuración de vinazas utilizando diferentes soportes*. Ingeniería Química, Enero, 173-177.
- Breitenbucher, K., Siegel M., Knupfer A., Radke M. (1990) *Open-pore sintered glass as a high-efficiency support medium in bioreactors: new results and long term experiences achieved in high-rate anaerobic digestion*. Wat. Sci. Technol. 22, 25-32.
- Bull M.A., Sterritt R.M., Lester J.N. (1983) *An evaluation of four start-up regimes for anaerobic fluidized bed reactors*, Biotechnology Letters. 5 (5), 333-338.
- Chen S.J.; LiT.C.; Shieh W.K. (1988) *Anaerobic fluidized bed treatment of an industrial wastewater*, Journal WPCF. 60, 10, 1826-1832.
- Fox P., Suidan M.T., Bandy J.T. (1990) *A comparison of media types in acetate fed expanded-bed anaerobic reactors*, Wat Res. 24 (7), 827-835.

- Gorris L.G.M., Drift C., Vogels G.D. (1988). *Separation and quantification of cofactors from methanogenic bacteria by high-performance liquid chromatography: optimum and routine analyses*. J. Microbiological Methods. 8, 175-190.
- Hickey R.F., Wu W.M., Veiga M.C., Jones R. (1991) *Start-up, operation, monitoring and control of high-rate anaerobic treatment systems*. Wat. Sci. Technol. 24, 207-255.
- Iza J. (1991), *Fluidized bed reactors for anaerobic wastewater treatment*. Wat. Sci. Technol. 24,109-132.
- Lettinga G., Hulshoff Pol L.W. (1991) *UASB-Process design for various types of wastewaters*. Wat. Sci. Technol. 24. 87-107.
- Nebot, E.; Romero, L.I.; Quiroga, J.M.; Sales, D. (1995). *Effect of the feed frequency on the performance of anaerobic filters*. Anaerobe. 1, 113-120.
- Pérez Rodríguez J.L., Carretero M.I., Maqueda C. (1989), *Behaviour of sepiolite, vermiculite and montmorillonite as support in anaerobic digestors*. Appl. Envir. Microbiol. 44. 1270-1276.
- Pérez, M. (1995) *Utilización de bioreactores avanzados en la degradación anaerobia termofílica de vertidos de alta carga orgánica*. Tesis Doctoral. Serv. Pub. Univ. Cádiz. ISBN: 84-7786-293-1, Cádiz, Spain.
- Pérez, M.; Romero, L.I.; Sales, D. (1996) *Degradación anaerobia termofílica de vinazas de vino: efecto del pH de la alimentación*. Tecnología del Agua. 158(II), 41-45,
- Pérez, M.; Romero, L.I.; Sales, D. (1997) *Thermophilic anaerobic degradation of distillery wastewater in continuous-flow fluidized bed bioreactors*, Biotechnology Progress. 13/1, 33-38.
- Shieh W.K. (1981) *Predicting reactor concentration in a fluidized bed system*. J. Water Poll. Control Fed. 53, 1574.
- Switzenbaum M.S. (1983) *A comparison of anaerobic filter and the anaerobic expanded/fluidized bed processes*. Wat. Sci. Technol. 15, 345.
- Switzenbaum M.S., Jewell W.J. (1980) *Anaerobic attached film expanded bed reactor treatment*. J. Water Pollut. Control Fed. 52 (7), 19953.
- Ugurlu A., Forster C.F. (1991) *Thermophilic anaerobic treatment of ice cream wastes. A comparison of porous and non-porous support media*. Trans Icheme. 69, 37-42.
- Ugurlu A., Forster C.F. (1993) *Mixing patterns in thermophilic upflow anaerobic filters with porous and non-porous packing*. Trans Icheme 71, 129-133.
- Ugurlu A., Forster C.F. (1992) *A comparison of the effects of oleate and palmitate on thermophilic and mesophilic anaerobic sludges*. Trans Icheme 70. 125-130
- Vos HJ., Heederik P.J., Potters J.J.M., Luyben K. Ch. A.M. (1990) *Effectiveness factor for spherical biofilm catalyst*. Bioproc. Engng. 5, 63-72.