

Películas biológicas: qué son y cómo se forman

Sylian J. Rodríguez Lattuada* y Alberto Uribe Jongbloed**

Las películas biológicas (biopelículas) se han convertido en una herramienta de tratamiento importante. Aunque su uso se remonta a finales del siglo XIX, nuestro conocimiento de cómo operan y qué factores influyen en su formación y estructura se han dilucidado sólo recientemente. Con este artículo se pretende dar a conocer cómo se encuentra el estado del arte con respecto a esta tecnología de tratamiento.

INTRODUCCIÓN

El uso de películas biológicas, conocidas comúnmente como biopelículas, es tal vez una de las más antiguas formas de tratamiento para aguas residuales, cuya aplicación más conocida son los filtros percoladores (Romero Rojas, 2000).

El uso de biopelículas se ha ampliado mucho más allá del tratamiento de aguas residuales. Estas nuevas aplicaciones han generado toda una serie de tecnologías novedosas para su uso, especialmente en el campo conocido como remediación. Entre estas nuevas tecnologías se destacan las biobarreras. Para poder entender cómo es posible usar las biopelículas, es importante primero saber cómo se definen y qué propiedades tienen.

QUÉ ES Y CÓMO DESCRIBIR UNA BIOPELÍCULA

El término biopelícula se puede definir como la unidad estructural que comprende células vivas, células muertas, Sustancias Poliméricas Extracelulares (EPS, del inglés Extracellular Polymeric Substances, compuestas principalmente por proteínas,

azúcares, grasas, ácidos nucleicos y otras sustancias de origen celular), partículas y sustancias de origen inorgánico, la cual está adherida a una superficie sólida. Existen dos tipos de modelos usados para describir biopelículas: el modelo continuo y el modelo de aglomeración (Bishop, 1997).

El modelo continuo se basa en la premisa de un medio continuo, partiendo de que los nutrientes, inhibidores y aceptadores de electrones se difunden hacia dentro de la película a través de una capa de transferencia de masa en la superficie de la misma. Una vez que se encuentran dentro de la biopelícula, éstos son utilizados por las células

vivas para crecer. Al mismo tiempo, el modelo también considera la difusión, en dirección opuesta, de los productos de la reacción y el desprendimiento de las células. Todo esto ocurre mientras la biopelícula se extiende hacia fuera. Cabe anotar que el modelo asume homogeneidad a través de la profundidad de la biopelícula. Es decir, el modelo supone que la porosidad, la distribución de tamaño de poro, la población microbiana y la densidad varían

El uso de biopelículas se ha ampliado mucho más allá del tratamiento de aguas residuales. Estas nuevas aplicaciones han generado toda una serie de tecnologías novedosas para su uso, especialmente en el campo conocido como remediación.

* Ingeniera civil especialista en saneamiento ambiental de la Escuela Colombiana de Ingeniería, Master of Science in Environmental Engineering de la Universidad de Cincinnati. Instructora de la Escuela. Cursa estudios de doctorado en ingeniería ambiental en la Universidad de Cincinnati.

** Ingeniero civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería, Master of Science in Environmental Engineering de la Universidad de Cincinnati. Instructor de la Escuela. Cursa estudios de doctorado en ingeniería ambiental en la Universidad de Cincinnati.

muy poco en relación con la profundidad y que el valor promedio de estos parámetros podría utilizarse para cuestiones de cálculo. Esta suposición principal ha sido desmentida (Bishop *et al.*, 1995). Investigaciones recientes han observado que la densidad de la biopelícula aumenta con respecto a la profundidad y que la porosidad y el tamaño del poro disminuyen. También se ha demostrado que los microorganismos con una tasa de crecimiento mayor (organismos que se reproducen más rápido) se encuentran en la superficie de la biopelícula, mientras que aquellos que se reproducen más lentamente se encuentran en los estratos más bajos (Van Loosdrecht *et al.*, 1995). Estudios recientes han registrado que la relación entre la cantidad de células vivas contra biomasa total es más alta en la superficie de la biopelícula que en los estratos más bajos (Bishop, 1997).

Aunque se ha comprobado la heterogeneidad de las biopelículas, la mayor parte de los modelos mecanicistas están representados por una aproximación unidimensional bajo el supuesto de una biopelícula continua.

Aunque se ha comprobado la heterogeneidad de las biopelículas, la mayor parte de los modelos mecanicistas están representados por una aproximación unidimensional bajo el supuesto de una biopelícula continua. Esto quiere decir que se aplican ecuaciones unidimensionales de balance de masa. El modelo puede corregirse para tomar en cuenta cierto grado de heterogeneidad, siempre y cuando la variabilidad de las propiedades de la biopelícula con respecto a la profundidad pueda predecirse (Bishop, 1997).

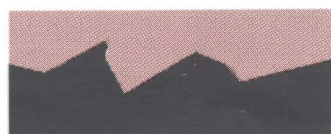
Por otro lado, el modelo de aglomeración parte de la suposición de que las biopelículas no crecen como un continuo sino más bien separadamente en forma de microcolonias, cada una de ellas compuesta de células, EPS y partículas. El modelo considera, además, que los vacíos entre colonias forman la estructura de poros de la biopelícula. Esta hipóte-

sis implica que, para poder modelar el transporte de nutrientes y productos finales desde la biopelícula y hacia ella, se tiene que usar una aproximación tridimensional, ya que para cada microcolonia individual el valor de los parámetros podría ser diferente y, además, para cada una de ellas la variabilidad es diferente en relación con la profundidad, el ancho y el largo de la microcolonia misma. Esto da a la estructura de la biopelícula una importancia mayor (Eberl *et al.*, 2000).

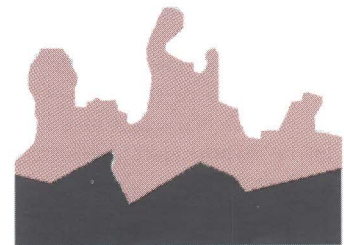
FACTORES QUE AFECTAN LA FORMACIÓN DE BIOPELÍCULAS

Sin importar qué modelo descriptivo se adopte vale la pena anotar que, para todos los casos, la estructura de la biopelícula (su densidad, porosidad y las características de su superficie) está fuertemente influida por la carga orgánica y de nutrientes (la cantidad de comida disponible), por las condiciones hidrodinámicas a las que está sometida (el esfuerzo al corte alto o bajo) y por el tipo de organismos que crean la biopelícula (Sharp *et al.*, 1999; Van Loosdrecht *et al.*, 1995; Van Loosdrecht *et al.*, 1997). Por ejemplo, en el modelo

Carga nutricional baja
Esfuerzo cortante alto



Carga nutricional alta
Esfuerzo cortante bajo



Relación de carga superficial contra esfuerzo cortante



Figura 1. Representación esquemática de la influencia de la carga nutricional y los esfuerzos de corte sobre la estructura de una biopelícula (adaptada de Van Loosdrecht *et al.*, 1995).

bidimensional propuesto por Hermanowicz (1998, 1999) se sugiere que el espesor de la capa de transferencia de masa tiene una influencia mayor en la estructura de la biopelícula que la que ejerce la concentración de nutrientes en sí. Esto quiere decir que la estructura de la biopelícula depende más de qué tan fácilmente pueden ser llevados estos nutrientes y productos hacia la biopelícula y desde ésta, que la misma cantidad de nutrientes y productos en solución. El modelo predice que cuando la capa límite de transferencia de masa es gruesa (la transferencia es difícil) ésta genera biopelículas abiertas (baja densidad y alta porosidad) y que capas límite más delgadas (los nutrientes y productos se mueven relativamente fácil de un lado a otro) generan biopelículas más compactas (Hermanowicz, 1998; Hermanowicz, 1999).

En estudios realizados en un reactor de biopelícula suspendida por aire (Biofilm Airlift Suspension Reactor, BAS), investigadores encontraron que la rugosidad de la superficie de la fase sólida tiene una gran influencia sobre la adherencia, y posterior crecimiento, de una biopelícula bacteriana. Los autores sostienen que un material con alta rugosidad ofrece, en cierta forma, alguna protección al organismo colonizador en contra de fuerzas de corte, aumentando la probabilidad de formación de una biopelícula. Esto es especialmente útil para organismos de crecimiento lento.

El crecimiento de la biopelícula depende de la tasa de transferencia de comida hacia la biopelícula y su subsecuente conversión en biomasa. El crecimiento, entonces, será una función de qué tan rápido se les puede llevar la comida a los organismos (la velocidad de transferencia de masa), qué tan eficientes son ellos en convertir la comida en biomasa (el rendimiento de la biomasa) y qué tan densa se convierte la biopelícula. De acuerdo con este supuesto, mientras más comida disponible haya, más rápido crecerá la biopelícula. De modo semejante, las biopelículas creadas por organismos con un rendimiento alto suelen tener un espesor mayor y una densidad menor que las obtenidas para organismos de rendimiento menor en las mismas condiciones. Aunque se considera que la densidad de la biopelícula está relacionada con el tipo de organismos presente, las condiciones hidrodinámicas son también importantes (Van Loosdrecht *et al.*, 1995; Van Loosdrecht *et al.*, 1997). Los esfuerzos cortantes pueden ser el parámetro más importante que se debe tener en cuenta para el desprendimiento celular en las biopelículas, pero según Van Loosdrecht *et al.*, (1995), el desprendimiento de la biomasa de una biopelícula está fuertemente correla-

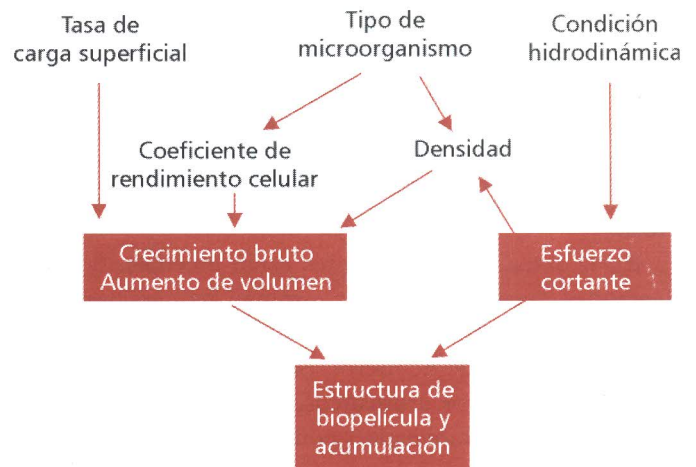


Figura 2. Procesos que afectan la estructura de una biopelícula (adaptado de Van Loosdrecht *et al.*, 1995).

cionado con la tasa de crecimiento de los microorganismos que la componen. Esto quedó demostrado en un experimento en el cual se redujo la tasa de crecimiento de la biopelícula al detener la alimentación, al mismo tiempo que se mantuvieron constantes las condiciones hidrodinámicas. Los resultados mostraron una reducción en la tasa de desprendimiento correspondiente con la disminución de la tasa de crecimiento. Aunque la tasa de desprendimiento está fuertemente ligada con la tasa de crecimiento, los esfuerzos de tipo cortante tienen un efecto morfológico en la biopelícula. Se ha observado que la rugosidad de la superficie de biopelículas heterotróficas aumenta con esfuerzos al corte bajo; en condiciones de esfuerzo al corte alto la superficie de las biopelículas tiende a ser más suave y, por consiguiente, menos susceptible a las fuerzas de tipo cortante. Este efecto se muestra esquemáticamente en la figura 1.

En resumen, los diversos factores y condiciones que influyen la estructura de una biopelícula pueden verse en forma esquemática en la figura 2.

En la figura 3 se muestra una microfotografía de una biopelícula tomada con un microscopio con focal de barrido laser.

USO DE BIOPELÍCULAS

El uso de biopelículas se ha ampliado considerablemente, más allá del tratamiento de aguas residuales. Las películas biológicas ofrecen una serie de ventajas que los tratamientos con biomasa suspendida (como los lodos activados) no poseen. Por ejemplo, los sistemas de

biomasa suspendida no se pueden utilizar para el tratamiento *in situ* de aguas subterráneas. Las Sustancias Poliméricas Extracelulares (EPS) pueden actuar como una barrera protectora, haciendo las biopelículas más resistentes a sustancias tóxicas. Los mecanismos que explican por qué sucede esto están aún en investigación.

En la actualidad, los autores están efectuando investigaciones encaminadas a determinar las características de biopelículas en suelo para su uso como técnica de biorremediación de acuíferos contaminados por hidrocarburos policíclicos aromáticos, tanto en forma aerobia (usando oxígeno molecular) como anaerobia (en ausencia de oxígeno molecular).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bishop, P. L. (1997), "Biofilm Structure and Kinetics", *Water Science and Technology*, 36(1), 287-294.
- Bishop, P.L., Zhang, T.C., and Fu, Y.C. (1995), "Effects of Biofilm Structure, Microbial Distributions and Mass Transport on Biodegradation Processes", *Water Science and Technology*, 31(1), 143-152.
- Eberl, H.J., Picioreanu, C., Heijnen, J.J., and Van Loosdrecht, M.C.M. (2000), "A Three-Dimensional Numerical Study on the Correlation of Spatial Structure, Hydrodynamic Conditions, and Mass Transfer and Conversion in Biofilms", *Chemical Engineering Science*, 55, 6209-6222.
- Hermanowicz, S.W. (1998), "Model of Two-Dimensional Biofilm Morphology", *Water Science and Technology*, 37(4-5), 219-222.
- Hermanowicz, S.W. (1999), "Two-Dimensional Simulations of Biofilm Development: Effects of External Environmental Conditions", *Water Science and Technology*, 39(7), 107-114.
- Romero Rojas, J.A. (2000), *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*, Bogotá, D.C., Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sharp, R.R., Cunningham, A.B., Kolmos, J., and Billmeyer, J. (1999), "Observation of Thick Biofilm Accumulation and Structure in Porous Media and Corresponding Hydrodynamic and Mass Transfer Effects", *Water Science and Technology*, 39(7), 195-201.
- Van Loosdrecht, M.C.M., Eikelboom, D., Gjaltema, A., Mulder, A., Tjihuis, L., and Heijnen, J.J. (1995), "Biofilm Structures", *Water Science and Technology*, 32(8), 35-43.
- Van Loosdrecht, M.C.M., Picioreanu, C., and Heijnen, J.J. (1997), "A More Unifying Hypothesis for Biofilm Structures", *FEMS Microbiology Letters*, 24, 181-183

Figura 3. Secciones ópticas de biopelículas cultivadas en presencia de hidrocarburos policíclicos aromáticos, después de 130 días (lentes de objetivo: 10x, 20x y 40x, respectivamente).

