

ENCUENTROS EN LA BIOLOGÍA

ISSN 1134-8496

Editor: Salvador Guirado. Comité editorial: Ramón Muñoz-Chápuli, Antonio de Vicente, José Carlos Dávila, Francisco Cánovas, Francisca Sánchez Jiménez, Luis Javier Palomo, Antonio Flores, Félix L. Figueroa, Juan A. García Galindo. Editado con la colaboración del I.C.E. de la Universidad de Málaga.

MICROBIOLOGÍA

LA ADHESIÓN BACTERIANA Y LOS BIOFILMS

La adhesión bacteriana es uno de los procesos clave a nivel ecológico para la degradación de la materia orgánica hasta su mineralización. Esta adhesión bacteriana crea los denominados biofilms bacterianos; formados por la inmovilización de microorganismos sobre la superficie de un sustrato biológico o de un soporte inerte, generalmente embebidos en una matriz orgánica polimérica (EPS: sustancias poliméricas extracelulares) [Marshall, K.C., *ASM News*, 58: 202, (1992)]. Dos son los pasos principales en la formación del biofilm: a) Adhesión de los microorganismos a la superficie; y b) Crecimiento de la microbiota adherida.

La colonización de la interfase sólido-líquido puede ocurrir de la siguiente forma: a) Transporte de las células a la superficie. Las bacterias pueden alcanzar la superficie de tres maneras diferentes: 1) Transporte difusivo mediante movimiento browniano ($40 \mu\text{m h}^{-1}$) dependiendo del tamaño de la partícula. Existen durante este movimiento contactos celulares a través de cualquier superficie de difusión sin transporte convectivo. El transporte difusivo es muy lento comparado con el flujo convectivo o con el transporte de células móviles. La sedimentación de las bacterias puede contribuir significativamente al transporte bacteriano. 2) Transporte convectivo de las células debido al flujo del fluido y pudiendo ser incluso de varios órdenes de magnitud superiores al transporte difusivo, existiendo incluso en la ruta final del transporte una difusión controlada. 3) Transporte activo donde las células bacterianas se mueven cerca de la superficie del soporte pudiendo existir un choque casual con la superficie o quimiotaxis en respuesta a un gradiente de concentración en la región interfase.

Una vez se ha producido el transporte hacia la superficie por convección,

sedimentación o difusión, diferentes interacciones fisicoquímicas tienen lugar para la retención celular por parte de la superficie; esta fase constituye la adhesión inicial.

La adhesión reversible es una atracción instantánea por fuerzas de largo alcance entre la bacteria y la superficie, pudiendo ser fácilmente separada de la superficie por corrientes del fluido o por violentos movimientos rotacionales de la bacteria móvil. La mayoría de las superficies que se encuentran en la naturaleza poseen una carga neta negativa, lo cual puede constituir un serio problema para la adhesión bacteriana; ya que las bacterias están cargadas negativamente también. Para contrarrestar la carga superficial, iones de carga opuesta son fuertemente atraídos a la superficie formando una doble capa difusiva de iones. Este efecto depende del grosor de la doble capa que es dependiente de la valencia y de la concentración del electrolito. La extensión de la interacción entre partículas bajo tales condiciones está especificada según la estabilidad coloidal, o la denominada teoría DLVO, desarrollada por Derjaguin y Landau (1943) [Derjaguin, B.V. y Landau, L., *Acta Physicochim. URSS*, 14: 633, (1941)] y Verwey and Overbeek (1948) [Verwey, E.J.W. y Overbeek, J.T.G., *Theory of the stability of lyophobic colloids*, Elsevier, Amsterdam, (1948)]. La teoría DLVO responde a las interacciones de largo alcance entre dos superficies. Estas fuerzas incluyen a las fuerzas electrostáticas y de van der Waals que se aprecian a

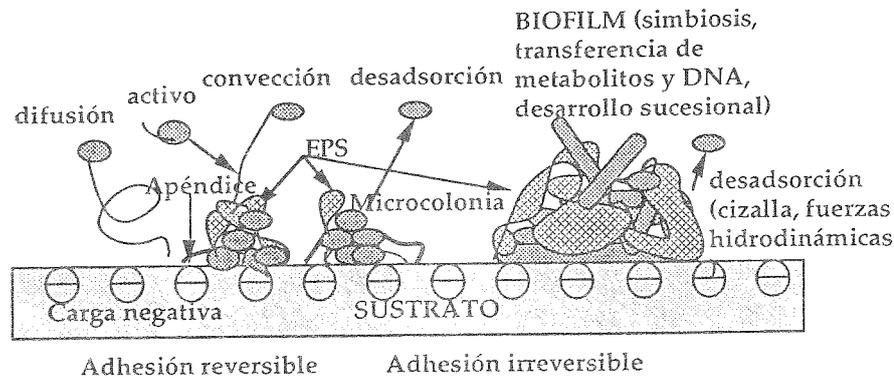
distancias superiores a 10 nm.

Zobell (1943) [Zobell, C.E., *J. Bacteriol.*, 46: 39, (1943)] sugirió que después de la atracción de la bacteria hacia la superficie, le sigue una atracción firme de la bacteria sobre la superficie, como resultado de la síntesis de materiales adhesivos extracelulares. La adhesión irreversible se puede definir como una adhesión firme dependiente del tiempo, donde las bacterias no exhiben movimientos brownianos y resisten el lavado de la superficie, sugiriendo que los puentes poliméricos son los responsables de la firme adhesión sobre la superficie, produciéndose estos polímeros en respuesta a la acumulación de nutrientes sobre la superficie. Así, cualquier componente externo fino de la bacteria, tales como polímeros extracelulares, pilis o fimbrias y flagelos pueden ser los responsables de los puentes de unión entre bacteria y superficie. A cortas distancias entre polímeros y superficie van a intervenir las denominadas fuerzas de corto alcance. El proceso de adhesión crea una nueva interfase célula-superficie, producida por ruptura de dos fases preexistentes, célula-líquido (CL) y superficie-líquido (SL); existiendo un contacto molecular entre las superficies en adhesión. La energía interfases es la suma de varios términos, cada uno corresponde a diferentes interacciones: puentes químicos, covalentes y puentes de hidrógeno; interacciones dipolo: dipolo-dipolo (Keesom), dipolo-dipolo inducido (Debye, e ión-dipolo, así como las interacciones hidrofóbicas. Si la energía superficial de la célula es más baja que la del líquido, la energía libre de adhesión disminuye y la adhesión se ve favorecida con la disminución de la energía superficial del sólido. Lo contrario ocurre, si la energía superficial de la

La adhesión bacteriana y los biofilms.....	1
Selección de presas en el registro fósil.....	2
¿Cómo modulan in vivo las poliaminas la dinámica de las macromoléculas.....	4
¿Se ha encontrado el "gen maestro" para el desarrollo de los ojos?.....	5
Noticias.....	6
Educación ambiental: cuándo, cómo y dónde debe impartirse.....	7

célula es mayor que la del líquido.

La adhesión reversible implica un continuo intercambio de células libres y fijadas, dificultando la distinción entre actividad de células adheridas y libres. La tasa de intercambio disminuye con el aumento de la fuerza de la adhesión



(adhesión irreversible). El proceso fundamental que permite a las bacterias la formación del biofilm es la adhesión bacteriana a las superficies de los soportes. Porque su pequeño tamaño, su baja densidad, su carga neta negativa, y diferentes grados de hidrofobicidad de su superficie, proponen a las bacterias como partículas coloidales vivas. De acuerdo con la teoría coloidal las bacterias pueden ser repelidas electrostáticamente de las superficies a muy bajas concentraciones de electrolitos. A altas concentraciones o valencias, sin embargo, fuerzas de largo alcance de van der Waals pueden superar las fuerzas de repulsión a distancias de 10-20 nm desde la superficie, atrayendo a la bacteria hacia la superficie. El contacto a nivel molecular entre superficie-bacteria puede establecerse por sustancias poliméricas extracelulares (EPS) producidas por la bacteria. Los EPS no están sujetos al mismo grado de repulsión, pudiendo formar puentes entre bacteria y superficie (puentes poliméricos) mediante diversas interacciones: electrostáticas, covalentes, puentes de hidrógeno, interacciones dipolo-dipolo, dipolo-dipolo inducido, ión dipolo e interacciones hidrofóbicas. De esta forma la misma cepa bacteriana, puede adherirse con diferente grado de fuerza adhesiva al sustrato con diferentes propiedades superficiales, porque diferentes tipos de fuerzas de corto alcance están involucradas.

La formación de los biofilms

bacterianos ha sido estudiada desde hace 65 años. La adhesión bacteriana está extendida de manera universal en sistemas naturales e ingenieriles [Hsieh et al., *Biotechnol. and Bioengn.*, 44: 219, (1994)]. Los biofilms pueden crear problemas en sistemas de ingeniería, al

superficie del soporte; 2) transporte de las bacterias hacia la superficie; 3) adhesión al material inerte de las bacterias o a otras células (adhesión reversible, seguida de adhesión irreversible, debido a la acción de expolímeros, o desadsorción debido a las fuerzas de cizalla); 4) elaboración de estructuras de EPS que aseguran la integridad del biofilm (adhesión irreversible); 5) desarrollo del biofilm resultado del crecimiento microbiano; 6) desadsorción de partículas del biofilm producidas por las fuerzas de estrés de cizalla del fluido. El crecimiento neto del biofilm es resultado de un balance entre la colonización microbiana y la multiplicación. Unas condiciones adecuadas de crecimiento son esenciales para un óptimo desarrollo del biofilm [Characklis, W.G. y Marshall, K.C., Eds., *Biofilms*, (1990)]. Los biofilms multiespecíficos están formados por una mezcla de poblaciones bacterianas dentro de una matriz extracelular unida al sustrato. Esta mezcla de poblaciones adherentes están sujetas a interacciones tales como simbiosis o competición por el espacio o un sustrato común; tales interacciones están directamente influenciadas por diversas variables asociadas con el ambiente que las rodea. La distribución espacial microbiana está seleccionada por procesos tales como: intercambio de especies con la fase líquida; eficiencia en la transformación metabólica de sustratos limitantes a biomasa celular viable y polímeros extracelulares; transporte de sustratos limitantes y nutrientes esenciales por mecanismos de transferencia molecular y convectivos; procesos de desadsorción del biofilm a través de mecanismos fisiológicos o como resultado de fuerzas hidrodinámicas. [Bryers, J.D., *Biofouling*, 6: 363, (1993)].

J. M. Sánchez García (Becario de Investigación) y R. Pérez Recuerda (E.M.A.S.A., Málaga).

PALEONTOLOGÍA

SELECCIÓN DE PRESAS EN EL REGISTRO FÓSIL

Los depósitos lacustres del Pliocuaternario de la región de Orce (Granada) se cuentan entre los más importantes de Eurasia por la abundancia, diversidad y excelente estado de conservación de su fauna fósil de grandes mamíferos, así como por el hallazgo en los mismos de las primeras evidencias de ocupación humana en Europa, en edades compren-

didas entre 1,9 y 0,8 millones de años [INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, diciembre de 1994]. El yacimiento de Venta Micena, el más importante excavado sistemáticamente hasta la fecha, se formó hace aproximadamente 1,65 m.a. en una zona de charcas de agua dulce, situadas en torno al lago que por aquel entonces existía en Orce. En él se han