

Sergio Olarte Avellaneda** - Juliet Cristiano Sánchez***

Aplicación de microorganismos asociados a biopelículas*

Applications of microorganisms associated with biofilms
Aplicação de microorganismos associados com biofilmes

Revista LOGOS CIENCIA & TECNOLOGÍA ISSN 2145-549X,
Vol. 4. No. 1, Julio – Diciembre, 2012, pp. 153-163

Resumen

Las biopelículas son comunidades microbianas y su formación ocurre por un sistema de comunicación celular conocido como *Quorum sensing* en el cual conforman una matriz que les confiere una mayor resistencia frente al medio; por eso, el estudio de los microorganismos asociados a biopelícula se postula como una estrategia interesante para ser utilizados en procesos de biorremediación y en este caso en la búsqueda de alternativas para la consolidación de un tratamiento secundario de aguas residuales.

Fecha de Recepción: 2 de junio de 2012

Fecha de Aceptación: 18 de julio de 2012

* Este artículo es producto del Semillero de Investigación. Grupo de investigación Plan en Gestión Ambiental Eficiente (PGAE). Ciencias básicas, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. Clasificado en D, año 2009.

** Estudiante de Bacteriología y Laboratorio Clínico, Facultad de las Ciencias de la Salud, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Bogotá, D. C. Correo: solarte@unicolmayor.edu.co

*** Estudiante de Bacteriología y Laboratorio Clínico, Facultad de las Ciencias de la Salud, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Bogotá, D. C. correo: jcristiano@unicolmayor.edu.co

Palabras clave: Biopelículas, quorum sensing, biorremediación y tratamiento secundario de aguas residuales.

Abstract

The biofilm are microbial communities and their formation occurs by a cellular communication system known as Quorum sensing in which make up a matrix that confer a higher resistance to the environment; therefore, the study of microorganisms associated to biofilm is postulated as a interesting strategy for be used in biorremedation processes and in this case the search of alternatives for the consolidation of a secondary treatment of wastewater.

Key words: Biofilm, Quorum sensing, bioremediation and secondary treatment of wastewater.

Resumo

Biofilmes são comunidades microbianas e sua formação ocorre por um sistema de comunicação celular conhecido como detecção de quórum no qual conformam uma matriz que lhes confere maior resistência ao meio ambiente, por conseguinte, o estudo de microorganismos associados com biofilme é postulado como uma estratégia interessante para

uso em processos de biorremediação, é neste caso, na procura de alternativas para a consolidação de tratamento secundário das águas residuais.

Palavras chave: Biofilmes, Quorum sensing, biorremediação e tratamento secundário das águas residuais.

INTRODUCCIÓN

Biopelículas

Las biopelículas son comunidades microbianas con gran capacidad de adherencia a una superficie donde producen una matriz de exopolisacáridos, su formación es dada por procesos de expresión génica dependientes de una alta densidad celular regulada por medio de señales químicas del sistema *Quorum Sensing* (QS). Estas comunidades bacterianas en cierta medida son análogas a las asociaciones pluricelulares, presentándose con una gran superioridad sobre bacterias aisladas o solitarias, el vivir dentro de una matriz les confiere grandes ventajas, puesto que la proximidad física de los microorganismos favorece interacciones sinérgicas incluso entre miembros de especies distintas, para realizar procesos de transferencia horizontal de material genético, presentar una mayor tolerancia a los antimicrobianos, obtener un amparo ante los cambios del entorno y protección frente al sistema inmunitario de un huésped infectado o frente a depredadores (Beloin, *et al.*, 2008; Betancourth, *et al.*, 2004; Choudhary y Schmidt-Dannert, 2010; Harrison, *et al.*, 2006; Kruppa, 2008; López, *et al.*, 2009; López, *et al.*, 2010; Nazar, 2007 y Otero, *et al.*, 2005).

La formación de la biopelícula comprende ciclos básicos que inician con la percepción de una superficie, en la que los microorganismos utilizan los factores externos de su pared como lo son adhesinas y pili para poder adherirse a la superficie a colonizar; la motilidad activa dependerá del aparato flagelar que permite superar o contrarrestar las fuerzas electrostáticas e hidrodinámicas, aumentando las interacciones con la superficie y terminando con una adhesión por medio de fimbrias, que son prolongaciones proteicas de la pared celular bacteriana más cortas que los flagelos, que permiten la culminación de la etapa de reconocimiento de la superficie con una adherencia irreversible, mientras que las proteí-

nas de superficie suelen jugar un papel importante en la defensa contra el huésped y la interadherencia entre microorganismos que conforman la biopelícula como lo son Ag 43, adhesinas y proteínas auto-transportadoras (Beloin, 2008; Diamond y Miranda, 2007; Harrison, *et al.*, 2006 y López, *et al.*, 2010).

Las características de la superficie parecen jugar un papel importante en la adherencia de microorganismos; de esta forma, la adhesión de los microorganismos ocurrirá más fácilmente en aquellas superficies más ásperas, en hidrofóbicas no polarizadas y las recubiertas por biopelículas condicionantes. (Nazar, 2007).

Una vez finaliza la adherencia por parte de la bacteria, sigue la etapa de crecimiento en la que se inicia el proceso de reproducción, el aumento considerable de especies que llevan a la formación de microcolonias y a la expresión de genes regulados por QS para la elaboración de la matriz de exopolisacáridos, que también contiene proteínas, minerales y ADN que recubren a las microcolonias, pero los polisacáridos secretados parecen ser los compuestos claves que le dan forma y estructura a la biopelícula. Según el tipo de exopolisacáridos la matriz va a tomar una carga negativa de tipo polianiónico, lo cual influye en la adherencia; de igual forma la composición química y la estructura también inciden en ese factor, por lo tanto cualquier alteración en estos aspectos puede afectar la conformación de la biopelícula (Beloin, 2008; Harrison, *et al.*, 2006 y Serrano y Herrera, 2005). Por otro lado, esta alteración es interesante cuando se busca evitar la formación de estas comunidades como es en el caso de biopelículas implicadas en procesos de patogénesis o afectando en el campo de la industria alimentaria, ya que causan serios problemas que dificultan y perjudican los procesos ocasionando grandes pérdidas a las industrias y existe el riesgo de contaminación de los productos, generando casos o brotes de enfermedades transmitidas por alimentos. (Navia, *et al.*, 2010).

Dentro de las biopelículas el QS regula los procesos de comunicación y logra coordinar un comportamiento comunitario a través de moléculas de señalización. Igualmente, regula los cambios que ocurren al interior de esta para dar paso al proceso de maduración mediante el control de la formación

de canales y estructuras que permiten el transporte y garantizan la entrega eficiente de nutrientes a los microorganismos, facilitando la disponibilidad de carbono que es esencial para promover la síntesis de exopolisacáridos y completar la matriz. Estos canales funcionan como un sistema de circulación permitiendo el acceso de nutrientes, la excreción o eliminación de sustancias y también facilita la comunicación con otras microcolonias. Después de que la biopelícula ha terminado la etapa de maduración, es decir, cuando la etapa de adherencia es irreversible y se ha consolidado la matriz de exopolisacáridos, empieza un proceso de dispersión de la comunidad por la expresión y liberación de moléculas señaladoras del QS que origina el desprendimiento de la biopelícula, para establecer nuevas microcolonias y el desarrollo de nuevas comunidades que garantizan la colonización de toda la superficie. Además, se promueven consorcios entre distintas especies, ya que en circunstancias normales, las biopelículas son comunidades polimicrobianas (Beloin, 2008; Diamond y Miranda, 2007; Federle y Bassler, 2003; Harrison, *et al.*, 2006 y Singh, *et al.*, 2006).

Se ha descrito en López, *et al.*, 2010 y Nazar, 2007 que la constitución de la matriz es diferente en cada especie bacteriana, por ejemplo, alginatos y ácido desoxirribonucleico en *Pseudomona aeruginosa*, celulosa en *Salmonella typhimurium*; exopolisacáridos ricos en glucosa y galactosa en *Vibrio cholerae*; poli-N-acetil- glucosamina en *Staphylococcus aureus* o *Escherichia coli* y poli-D-glutamato en *Bacillus subtilis*.

A su vez, (Honigberg, 2011), describe que la matriz extracelular que recubre la biopelícula los protege de la tensión ambiental y es necesaria para la señalización celular, dejando claro que las señales de QS son esenciales para la asociación en estas comunidades, por ejemplo, para la constitución de la biopelícula de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*.

Para el proceso final de dispersión de la biopelícula hay enzimas que degradan la matriz de exopolisacáridos como las desoxirribonucleasas (DNasas) y dispersin B. (Boles y Horswill, 2008) menciona que para esta función se conocen diez proteasas extracelulares que incluyen la metaloproteasa aureolisi-

na, dos proteasas de cisteína y siete serinproteasas en el caso de *S. aureus* que permiten la liberación y dispersión de la biopelícula con el objetivo de colonizar nuevas superficies.

Como se señaló anteriormente, la formación de la biopelícula es un proceso polimicrobiano, es decir, no es exclusivo de bacterias. Recientemente (Kruppa, 2008) describe este proceso en *Candida albicans* un hongo patógeno asociado con infecciones nosocomiales y un gran número de micosis. En *C. albicans* el proceso de formación de la biopelícula inicia por medio de fibrillas que desencadenan la adherencia de la levadura, se fijan

y empiezan la colonización de una superficie, después de esto ocurre un mecanismo no común entre las bacterias, pues comienza la formación de tubos germinales en las levaduras, estas son extensiones filamentosas que realizan las blastoconidias para originar hifas verdaderas y pasar de un estado unicelular a uno pluricelular; en este caso la comunidad en estado de maduración consiste en una densa red de levaduras, seudohifas e hifas donde se intercalan las blastoconidias y el micelio, así se favorecen los procesos de dimorfismo ejecutado por hongos para desarrollarse en forma filamentosas y de levadura, lo que facilita su adaptación dentro del huésped y aumenta su patogenicidad, ya que con frecuencia están asociadas a bacterias. Finalmente, todo el conjunto es rodeado por una matriz extracelular dando paso a la dispersión o difusión de la biopelícula con el fin de seguir expandiendo la comunidad, como ya se había mencionado para el caso de las bacterias. (Chen, H., *et al.*, 2004; y Douglas, L. J., *et al.*, 2006).

Por otro lado (Federle y Bassler, 2003 y López, *et al.*, 2009), manifiestan que la función de cada microorganismo dentro de la biopelícula es diferente y que su patrón de expresión génica es distinto, mientras

Cuáles funcionan como un sistema de circulación permitiendo el acceso de nutrientes, la excreción o eliminación de sustancias y también facilita la comunicación con otras microcolonias. Después de que la biopelícula ha terminado la etapa de maduración

que unos sintetizan los componentes de la matriz, otros lo hacen para factores de virulencia, adherencia o motilidad, entre muchas otras actividades. La

Estas comunidades microbianas pueden formarse albergando solo una especie o un conjunto de microorganismos de distintos géneros, esto depende del sistema que utilicen las bacterias, debido a que existen dos tipos de comunicación reguladas por el QS.

bacterias o tener función antimicrobiana sobre microorganismos competidores. Debido a que pueden haber cambios en los potenciales de óxido-reducción- y coexistir diferentes metabolismos bacterianos, se pueden encontrar bacterias aerobias, anaerobias facultativas y anaerobias generando todo una pequeña ecología microbiana que podrían ser utilizadas en interesantes aplicaciones biotecnológicas (López, *et al.*, 2010).

Estas comunidades microbianas pueden formarse albergando solo una especie o un conjunto de microorganismos de distintos géneros, esto depende del sistema que utilicen las bacterias, debido a que existen dos tipos de comunicación reguladas por el QS. El primer tipo de comunicación es distinto para bacterias Gram negativas de Gram positivas, pero es específico para cada especie bacteriana, en el QS existen unos autoinductores que permiten censar la población bacteriana y establecer fenómenos dependientes de la densidad celular, en Gram negativos se utilizan unas moléculas señal denominadas *acil homoserina lactona*, mientras que las bacterias Gram positivas utilizan oligopéptidos, estas moléculas al alcanzar una alta concentración se unen a su receptor activando la expresión de genes regulados por el sistema QS que modulan la formación de la biopelícula.

El segundo tipo de comunicación es interespecífica y es un lenguaje universal que le permite a distintas especies bacterianas trabajar en comunidad para realizar una función establecida, en este caso es por medio de la molécula AI-2 y sus homólogos. Este sistema QS se encuentra tanto en bacterias Gram negativas como en Gram positivas, evidenciando los múltiples lenguajes que utilizan las bacterias para llevar a cabo fenómenos tan increíbles como la bioluminiscencia, la producción de metabolitos secundarios con actividad antimicrobiana, regular los procesos de competencia - esporulación y la formación de biopelículas, entre otros. (Federle y Bassler, 2003; Miller y Bassler, 2001 y Otero, *et al.*, 2005).

Aplicaciones en problemáticas ambientales

(Harrison, *et al.*, 2006), plantea que la formación de estas comunidades proporciona a la vida microscópica que la habita notables beneficios, resaltando que los microorganismos en la naturaleza se hallan con mayor frecuencia en biopelículas y por eso se hace interesante reconocer la aplicabilidad de estos microorganismos asociados a estas comunidades en actividades biotecnológicas como la biorremediación, una técnica que ha permitido la interacción de sistemas biológicos con sustancias contaminantes para el ambiente, logrando transformar la carga contaminante en sustancias benéficas o menos tóxicas y contaminantes, para así recuperar escenarios deteriorados, estas técnicas han sido implementadas tanto en suelos como aguas y no sería posible generarlas sin los microorganismos, que son capaces de soportar la polución del medio (Demnerova, *et al.*, 2005).

A sí mismo Singh, *et al.*, 2006). plantea las diferentes aplicaciones de las biopelículas en biorremediación donde menciona su uso en biorreactores para el tratamiento de grandes volúmenes de soluciones acuosas diluidas tales como aguas residuales industriales y municipales. Así mismo, menciona que la mejora de cepas, sus vías metabólicas y el aumento en el número de copias de genes que codifican para enzimas implicadas en la degradación o transformación de sustancias, podrían mejorar aún más las estrategias, biorremediación mediada por microorganismos presentes en las biopelículas. A su vez, plantea

sus implicaciones en la inmovilización, eliminación de ácidos y la degradación de contaminantes. Actualmente varias de las sustancias que llegan a la naturaleza se encuentran en mínimas cantidades pero causan un efecto tóxico y se hace necesario eliminarlas, siendo las técnicas biológicas una solución favorable para la remoción de compuestos tóxicos, materia orgánica e inorgánica, donde bacterias, hongos, plantas nativas del medio y las enzimas que estos producen transforman esas microsustancias en unas menos tóxicas para el ambiente. (Garzón, D.J., *et al.*, 2009).

Según Barrionuevo M., D., *et al.*, 2009, los estudios con biopelículas en los que la utilización de microorganismos aislados a partir de los ecosistemas afectados resultan en un beneficio adicional, debido a que en sus ambientes naturales estos ya se encuentran íntimamente relacionados con superficies de diferentes orígenes formando las biopelículas que mejorarían favorablemente los procesos de biorremediación.

Por consiguiente, el uso de estos para controlar la contaminación ambiental, en el caso de los metales pesados, en los que cabe aclarar que lo que genera su toxicidad es la carga no el metal como tal, puesto que se ionizan a cationes y son altamente tóxicos. Debido a que la alta resistencia de las biopelículas a concentraciones elevadas de estos puede servir para la remoción de metales contaminantes en suelos y fuentes de agua, además del aprovechamiento de sistemas microbianos de tolerancia a metales, entre los que se pueden nombrar, los componentes celulares que capturan iones, los sistemas de expulsión de cationes o aniones que neutralizan la toxicidad de los metales, transportadores de membrana y enzimas que modifican el estado redox de los metales convirtiéndolos en formas menos tóxicas que pueden ser utilizados en procesos biotecnológicos para la remoción de contaminantes ambientales (Cervantes, *et al.*, 2006).

Así como se plantea la aplicación del QS en procesos de biorremediación por medio del uso de microorganismos asociados a biopelícula, los estudios e investigaciones que contemplen la interrupción

de la formación de estas comunidades también son importantes si se enfocan, por ejemplo, en prevenir la afectación de las plantas; lo cual acarrearía una importante aplicabilidad en el sector agrícola y ambiental, en el diseño de biosensores para la medición de posibles contaminantes en suelos, aire y agua, también en la prevención de biopelículas que afectan los procesos industriales y las que se asocian con infecciones en humanos y animales. La solución abarcaría la búsqueda de enzimas que disuelvan los polímeros de la matriz de exopolisáridos de la biopelícula y la interrupción de la expresión de genes que sintetizan para proteínas de competencia, factores de virulencia, el sistema flagelar como posibilidad para combatir la formación de estas comunidades por la alteración de los sistemas de comunicación celular del QS (Federle y Bassler, 2003, y Miller y Bassler, 2001).

Un sistema que se debe estudiar a fondo es el *Quorum Quenching* (QQ) que en pocas palabras es un sistema inhibidor del QS. En el QQ varios microorganismos segregan enzimas o moléculas químicas que degradan o son análogos a las señales de QS, interrumpiendo el proceso de expresión génica, siendo importante para el control de cepas patógenas que utilizan este sistema para producir enfermedad sobre plantas, animales y humanos. Por ejemplo, *Agrobacterium tumefaciens* induce la proliferación de la célula huésped por la producción de tumores en las plantas por la expresión de opinas y fitohormonas (Choudhary y Schmidt-Dannert, 2010; Miller y Bassler, 2001; y Raina S., *et al.*, 2009). La interrupción de las señales de QS puede evitar procesos de patogenicidad, es decir, la identificación y estudio de enzimas microbianas que alteren los mecanismos de expresión génica regulados por QS es importante para el descubrimiento de nuevos antimicrobianos. (Rueda, N., *et al.*, 2012).

Por otro lado, la formación de biopelículas por bacterias estimulantes del crecimiento vegetal les permite adherirse fuertemente a la raíz en un proceso de simbiosis planta-microorganismo mediado por el sistema QS, por lo tanto estos microorganismos no solo estarían involucrados en procesos de patogénesis, sino que el QS está presente en procesos

benéficas asociadas al ambiente, por ejemplo, en la formación de biopelículas por parte de microorganismos fijadores de nitrógeno que aumentan la concentración de este elemento, como en el caso de *Rhizobium leguminosarum* que el QS le facilita la interacción con la raíz al ser dependiente de la densidad celular para formar nódulos que ayudan a captar y fijar el nitrógeno o para la bacteria Gram negativa *Sinorhizobium meliloti* y plantas leguminosas alfalfa (*Medicago sativa*) que establecen una relación simbiótica, siendo favorable para el crecimiento y asimilación de nutrientes por parte de la planta. (Harrison, *et al.*, 2006; Marquina y Santos, 2010; y Raina S., *et al.*, 2009).

Biopelículas y residuos de hojas de sisal

Las biopelículas también se han estudiado en la producción de biogás a partir de residuos de hoja de sisal, una planta que es implementada para obtener fibra y material textil, no obstante, tras su uso se generan residuos lixiviados de la hoja de sisal que generan contaminación en el ambiente y pueden afectar la salud, se ha evaluado la capacidad de

La efectividad de las biopelículas ha sido analizada mediante biorreactores que poseen ovillos, estructuras de acero inoxidable que favorecen el crecimiento de la biopelícula, y una vez pasa por estos el agua contaminada las comunidades interactúan con los radionúclidos presentes en el agua, acumulándolos.

formación de biopelículas en biorreactores donde se han colocado los residuos de la hoja de sisal y se ha visto que crecen biopelículas de bacterias anaerobias que degradan estos lixiviados y a la vez generan la producción de biogás. (Mshandete, *et al.*, 2008a).

La digestión anaerobia para la producción de biogás y la biodegradación de los lixiviados se divide en dos etapas; en la primera intervienen bacterias anaerobias que generan metano y dióxido de carbono, donde

juntos forman el biogás, y la segunda etapa se basa en la biodegradación de los lixiviados de la hoja de sisal mediante una biopelícula anaerobia de lecho

fijo disminuyendo así la contaminación del medio por parte de los lixiviados.

La aplicabilidad y beneficio que muestran las biopelículas en diferentes campos por su resistencia y versatilidad aumentan la necesidad de indagarlas, conocerlas en sus campos de acción para así proporcionar soluciones favorables ante las problemáticas ambientales actuales. (Mshandete, *et al.*, 2008b).

Biopelículas y agua de centros nucleares

Recuperar el agua empleada en gran cantidad en las centrales nucleares se hace cada vez más necesario, allí usan material radioactivo como el uranio enriquecido (235U), el cual es utilizado como combustible para generar energía eléctrica (Sarro, *et al.*, 2005), estos materiales radioactivos necesitan estar inmersos en unas piscinas que están elaboradas con láminas de acero inoxidable o titanio y poseen agua que es calificada como químicamente pura cuya función es mantener refrigerado y estable el material radioactivo, se creería que por las características del medio y la alta carga radioactiva la vida microbiana sería inusual; sin embargo, se ha hallado que en estas piscinas, alrededor de la placa de acero o titanio se ha generado biopelículas, los microorganismos que crecen sobre estas superficies resisten altas cargas de radionúclidos y se han visto como una alternativa para descontaminar las aguas radioactivas, disminuyendo su peligrosidad y los efectos adversos que tendría para con la vida misma. El tratamiento del agua radioactiva se hace por medio de un intercambio iónico pero el auge que ha tomado implementar la biorremediación en este campo es muy alto ya que es más económica, efectiva y elimina una cantidad elevada de contaminantes. (Chicote, 2005, y Demnerova, 2005).

La efectividad de las biopelículas ha sido analizada mediante biorreactores que poseen ovillos, estructuras de acero inoxidable que favorecen el crecimiento de la biopelícula, y una vez pasa por estos el agua contaminada las comunidades interactúan con los radionúclidos presentes en el agua, acumulándolos; así se hace más fácil recuperar material radioactivo y disminuye la tasa de toxicidad de la radiación, se ha hecho interesante identificar los microorganismos

mos que hacen parte de estas biopelículas y se ha encontrado que debido a las condiciones que los microorganismos tienen hay una serie de cambios en sus características morfofisiológicas, siendo difícil su cultivo por lo que se ha extraído DNA de los microorganismos para técnicas moleculares y se amplifica la región 16S DNA, que es una región del material genético conservado en los microorganismos que al ser secuenciado permite identificar el microorganismo presente tras comparar con datos de las secuencias reportadas en el National Center for Biotechnology Information (NCBI), identificando géneros como *Proteobacteria*, *Actinobacteridae* y *Firmicutes*, encontrando bacterias Gram negativas y Gram positivas especialmente *Bacillus cereus*, los cuales resisten la radioactividad y tras analizar los radionúclidos acumulados se encontró concentraciones de cobalto, cesio, manganeso, zinc y cromo. También por microscopía electrónica de barrido se evalúa la capacidad de adherencia de estos microorganismos a las superficies de acero inoxidable y titanio. (Sarro, *et al.*, 2007).

Biopelículas y aguas residuales

Las aguas residuales se forman tras el uso de agua a nivel doméstico, industrial y comercial; estas contienen desechos sólidos, materia orgánica biotransformable, como son los carbohidratos, las proteínas y los lípidos; contienen además, nitrógeno, fósforo, carbono, calcio, sodio, sulfato; gases como el oxígeno, puede contener también dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, gas amoníaco, materiales tóxicos como metales pesados, entre los que destacan el cromo, níquel, cobre, zinc, cadmio, mercurio y plomo; además de radionúclidos e hidrocarburos, también puede llevar grasas, aceites y otros compuestos como detergentes y jabones, también contienen microorganismos patógenos, siendo uno o varios de estos componentes, lo que hace que las aguas residuales sean un problema de contaminación ambiental. La aplicabilidad de las aguas residuales se ha visto en las prácticas agrícolas, con mayor frecuencia en lugares donde los abastecimientos de agua potable son escasos y generan problemas de salud pública y asociada a enfermedades transmitidas por los alimentos. (Rivas, *et al.*, 2003; y Silva, *et al.*, 2008).

A partir de esta problemática frente a las aguas residuales se ha diseñado el tratamiento de las mismas, que consta de un tratamiento primario en el que se aplican procesos de filtración, sedimentación y precipitación que buscan eliminar los desechos sólidos contenidos en el agua residual, un tratamiento secundario en el cual se utilizan microorganismos para eliminar la materia orgánica disuelta en el agua, y finalmente un tratamiento terciario que consiste en el uso de químicos que llevan a la desinfección (Gómez Saravia, 2003 y Gonzales, *et al.*, 2002). Haciendo énfasis en el tratamiento secundario de aguas residuales en este se implementan biorreactores que evalúan la capacidad de los microorganismos para degradar los compuestos tóxicos en el agua. Sin embargo, se han desarrollado diferentes clases de biorreactores que se basan en la formación de la biopelícula sobre un material, que puede ser plástico como el polietileno de alta densidad, plásticos porosos, que permiten el crecimiento dentro del material y en su superficie estando siempre en contacto los microorganismos con los nutrientes. (Gonzales, *et al.*, 2002).

Las biopelículas se muestran como una alternativa amigable, de gran aplicabilidad en el tratamiento de aguas residuales antes de su disposición final, que se basa en sus propios sistemas biológicos para degradar contaminantes, por medio de las interacciones que existen entre los microorganismos que la conforman, previniendo así la contaminación de ríos, mares y océanos para que no haya perjuicio alguno sobre vida y el ambiente. (Betancourth, 2000, y Singh, 2006).

Alternativa para la consolidación de un tratamiento secundario de aguas residuales

Mediante el estudio de microorganismos asociados a biopelícula aislados del medio a biorremediar se posibilitan nuevas alternativas en biotecnología ambiental en las que es realmente importante conocer el mecanismo químico, bioquímico y molecular de las interacciones realizadas por los microorganismos presentes en la biopelícula; entender aún más su proceso de formación, analizar los sistemas que le permite establecer interacciones de sinergismo tales como la relación microorganismo-medio,

microorganismo-contaminantes y microorganismo-microorganismo, al interior de la biopelícula para mejorar la eficacia de estos procesos y en este caso ser aprovechado para la formulación de estrategias en el tratamiento secundario de aguas residuales. (Barrionuevo M. D., *et al.*, 2009).

Por lo anterior, el estudio de estas comunidades microbianas es muy interesante y plantea la posibilidad de generar investi-

Se busca establecer relaciones que puedan llegar a posibilitar procesos para el tratamiento secundario de aguas residuales, con el fin de contribuir y generar un impacto positivo sobre el ambiente, aportando herramientas de estudio y fomentando el interés por la gestión ambiental.

gación; en torno a esto se propone la identificación de microorganismos asociados a biopelículas en trampas de aguas residuales urbanas. Esto contemplaría identificar biopelículas en trampas de aguas residuales urbanas, a las cuales se les realizaría un análisis microbiológico y la caracterización química de las especies asociadas a la biopelícula, como dos factores que constituyen las variables del estudio, planteándose como tema de investigación el interrogante ¿cuáles microorganismos presentes en aguas residua-

les están asociados a la formación de biopelículas? Atendiendo a esta temática se haría necesario dividir el proyecto en varias fases: la primera, centrada en aislar los microorganismos asociados a biopelículas en trampas de aguas residuales; la segunda, enfocada en determinar los compuestos que actúan al interior de la biopelícula; y la tercera, se centra en entender la relación que existe entre los microorganismos de la biopelícula y los compuestos con el fin de proponer su posible aplicación en el tratamiento secundario de aguas residuales como una alternativa de biorremediación². (Cristiano, *et al.*, 2011).

Por último, hay que tener en cuenta que el inadecuado uso de la biorremediación puede ocasionar una serie de impactos negativos, por lo tanto se debe buscar un vínculo entre la gestión ambiental y la biorremediación por medio de herramientas como la ética, la educación ambiental y planes de manejo que permiten alcanzar procesos amigables con el ambiente enfocados hacia el desarrollo sustentable.

De esta forma se busca establecer relaciones que puedan llegar a posibilitar procesos para el tratamiento secundario de aguas residuales, con el fin de contribuir y generar un impacto positivo sobre el ambiente, aportando herramientas de estudio y fomentando el interés por la gestión ambiental; de esta forma se evidencia el importante papel que juega el profesional de bacteriología dentro del enfoque ambiental y cómo la investigación formativa es fuente de solución de problemáticas ambientales (Olarde, 2010).

RESULTADOS

Los microorganismos asociados a biopelículas son más resistentes ante el medio; esta es una interesante ventaja. El aislar estos microorganismos de sus ambientes naturales, identificarlos y conocer las interacciones que realizan con el entorno, es necesaria para la búsqueda de aplicaciones en procesos biotecnológicos como la biorremediación. Optimizar esta metodología y el uso de estos microorganismos en el tratamiento secundario de aguas residuales se hace importante para mejorar los procesos que actualmente se realizan sobre esta, buscando su recuperación, una menor contaminación y aprovechamiento. La consolidación de estrategias y aplicaciones con microorganismos asociados a biopelículas debe ser manejado primero desde la gestión y la educación ambiental para generar un conjunto armónico.

lizado en la Universidad San Buenaventura; en el XIV Encuentro Nacional y VIII Internacional de Semilleros de Investigación en la Universidad CorHuila en Neiva y en el XII Encuentro Científico del Instituto Nacional de Salud (2011).

² La presentación de esta propuesta de investigación se realizó, a través de la modalidad de poster, en el IX Encuentro Regional de Semilleros de Investigación rea-

Agradecimientos

Para nuestros docentes y amigos Liliana Caycedo, Sonia Marcela Rosas y Juan Alberto Blanco.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARRIONUEVO, M. D., *et al.*, (2009). Tratamiento biológico de efluentes industriales con contenido en metales: factores a tener en cuenta para un diseño eficiente. Buenos Aires: *Química viva*, 106-124.

BELOIN, C. ROUX, A. Y GHIGO, JM. (2008). *Escherichia coli* biofilms. *Rev. Curr Top Microbiol Immunol*, N° 322, 249-289.

BETANCOURTH, M. Botero, JE. Y RIVERA, SP. (2004). Biopelículas: una comunidad microscópica en desarrollo. Colombia: Corporación editora médica del Valle, *Rev. Colombia Médica*, Vol. 35, N° 3, 34-39.

BOLES, BR. y HORSWILL AR. (2008). Agr-Mediated Dispersal of *Staphylococcus aureus* Biofilms. San Francisco: *Rev. PLoS Pathogens*, Vol. 4, N° 4, 1-13.

CAÑIZARES, O.R., *et al.* (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *Rev. Latinoamericana de Microbiología*, 131-143.

CERVANTES, C., *et al.* (2006). Interacciones microbianas con metales pesados. México: *Rev. Latinoamericana de microbiología*, Vol. 48, N° 2. 203-210.

CERTUCHA, M.T., *et al.* (2010), Bioadsorción de cobre utilizando lodo anaerobio acidogénico. *Rev. Internacional de Contaminación Ambiental*, No. 2, 101-108.

CHEN, H., *et al.* (2004). Tyrosol is a quorum-sensing molecule in *Candida albicans*. Washington, DC: *Rev. Proceedings of the National Academy of Sciences PNAS*, Vol. 101, N° 14, 5048-5052.

CHICOTE, E., *et al.* (2005). Isolation and identification of bacteria from spent nuclear fuel pools. *Rev. J Ind Microbiol Biotechnol*, 155-162.

CHOUHDARY, S. y SCHMIDT-DANNERT, C. (2010). Applications of quorum sensing in biotechnology. Germany: *Appl Microbiol Biotechnol*, 1267-1279.

CRISTIANO, JS. SÁNCHEZ, LA. y OLARTE, S. (2011). Identificación de microorganismos asociados a biopelícula en trampas de aguas residuales urbanas como alternativa en procesos de biorremediación. Memorias del XII encuentro científico del Instituto Nacional de Salud. Bogotá: *Rev. Biomédica*, Vol. 31, N° 2, 115-116.

DEMNEROVA, K., *et al.* (2005). Two approaches to biological decontamination of groundwater and soil polluted by aromatics-characterization of microbial populations. *Rev. International Microbiology*, 205-211.

DÍAZ PULIDO, A., *et al.* Desarrollo sostenible y el agua como Derecho en Colombia. *Rev. Estudios sociojurídicos*, Vol. 11, No.1, 84-116.

DIEMOND, JB y MIRANDA GN. (2007). Biofilm: ¿amenaza latente o factor de protección? *Rev. Enf inf microbiol*, Vol. 27, No.1, 22-28.

DOUGLAS, LJ., *et al.* (2006). Production of Tyrosol by *Candida albicans* Biofilms and Its Role in Quorum Sensing and Biofilm Development. Washington, DC: *Rev. Eukaryotic cell*, Vol. 5, No. 10, 1770-1779.

FEDERLE, MJ y BASSLER, BL. (2003). Interspecies communication in bacteria. United States: *Rev. The Journal of Clinical Investigation*, Vol. 112, No. 9, 1291-1299.

GARZÓN, DJ., *et al.* (2009). Aproximaciones biológicas y fisicoquímicas en el tratamiento de contaminantes. Un resumen del aporte de la Universidad de los Andes. *Revista de Ingeniería*, No. 30, 100-111.

GÓMEZ DE SARAIVA, S. y FERNÁNDEZ, L. (2003). Non invasive methods for monitoring biofilm growth in industrial water system. *Rev. Latin American Applied Research*, No. 33, 353-359.

GONZALES, BM. y LÓPEZ, IF. (2008). Comportamiento de un reactor de biopelícula para el tratamiento de agua residual a diferentes velocidades de flujo. *Rev. Mexicana de Ingeniería Química*, No. 3, 183-193.

GONZALES, S., *et al.* (2002). Tratamiento de aguas residuales utilizando biopelículas sobre un material poroso. XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancún, México, 1-8.

HARRISON, JJ., *et al.* (2006). Biopelículas. *Rev. Investigación y Ciencia*, 76-83.

HONIGBERG, SM. (2011). Cell Signals, Cell Contacts, and the Organization of Yeast Communities. Washington, DC: *Rev. Eukaryotic cell*, Vol. 10, No. 4, 466-473.

JAMES P. O'GARA. (2007). Ica and beyond: biofilm mechanisms and regulation in *Staphylococcus epidermidis* and *Staphylococcus aureus*. Federation of European Microbiological Societies, *Rev. FEMS Microbiol Lett*, 179-188.

KRUPPA, M. (2008). Quorum sensing and *Candida albicans*. *Rev. J compilation Mycoses*, 1-10.

LÓPEZ, D., *et al.* (2009) Paracrine signaling in a bacterium. *Rev. Genes & development*, 1631-1638.

LÓPEZ, D. VLAMAKIS, H. y KOLTER, R. (2010). Biofilms. United States: *Rev. Cold Spring Harb Perspect Biol*, 1-11.

MARQUINA, D y SANTOS, A. (2010). Sistemas de quorum sensing en bacterias. España: *Rev. Reduca Biología*, Vol. 3, No. 5, 39-55.

MILLER, MB. y BASSLER, BL. (2001). Quorum Sensing in Bacteria. United States: *Rev. Annual Reviews Microbiol*, 165-199.

MSHANDETE, MA., *et al.* (2008a). Performance of biofilm carriers in anaerobic digestion of sisal leaf waste leachate. *Rev. Electronic Journal of Biotechnology*, No. 1, 1-8.

MSHANDETE, MA., *et al.* (2008b). Two-stage anaerobic digestion of aerobic pre-treated sisal leaf decorations residues: hydrolases activities and biogas production profile. *Rev. African Journal of Biochemistry Research*. No. 11, 211-218.

MUSSATI, M., *et al.* (2003). Optimizing load policy in anaerobic biofilm reactors for wastewater treatment, *Rev. Latin American Applied Research*, No. 33, 301-305.

NAVIA, DP. VILLADA, HS. y MOSQUERA, SA. (2010). Las biopelículas en la industria de alimentos. Cauca: Facultad de Ciencias Agropecuarias, Vol. 8, No. 3, 118-128.

NAZAR, JC. (2007). Biofilms bacterianos. Chile: *Rev. Otorrinolaringol. Cir. Cabeza Cuello*, 61-72.

OLARTE, S. (2010). La investigación como herramienta para la solución de problemas ambientales. Bogotá: *Rev. Pensamiento Universitario*, Boletín No. 27, 39-43.

OTERO, A., *et al.* (2005). Quorum sensing, el lenguaje de las bacterias. España: Editorial Acirbia. Zaragoza.

RAINA, S., *et al.* (2009). Microbial quorum sensing: a tool or a target for antimicrobial therapy? *Rev. Biotechnol. Appl. Biochem*, No. 54, 65 – 84.

RIVAS, A.B., *et al.* (2003). Tratamiento de aguas residuales de uso agrícola en un biorreactor de lecho fijo. *Rev. Agrociencia*, No. 002, 157-166.

RUEDA, N., *et al.* (2012). Identificación de lactonasa y acilasas a partir de aislamientos de microorganismos de suelo colombiano. Bogotá: *Rev. Hechos microbiológicos*, Vol. 2, No. 2, 95.

SARRO, MI., *et al.* (2005). Biofilm formation in spent nuclear fuel pools and bioremediation of radioactive water. *Rev. International microbiology*, No. 8, 223-230.

SARRO, MI., *et al.* (2007) Development and characterization of biofilms on stainless steel and titanium

in spent nuclear fuel pools. *Rev. J Ind Microbiol Biotechnol*, 433-441.

Serrano-Granger, J. y HERRERA, D. (2005). La placa dental como biofilm. ¿Cómo eliminarla?. Madrid: *Rev. Colegio de odontólogos y estomatólogos de España*, Vol. 10, No. 4, 431-439.

SILVA, J., et al. (2008). Reúso de aguas residuales domésticas en agricultura, Una revisión. *Rev. Agronomía Colombiana*, No. 2, 347-359.

SINGH, R. Paul, D. y Jain, RK. (2006). Biofilms: implications in bioremediation. *Rev. Trends in Microbiology*, Vol. 14, No. 9, 389-397.