

BIORREMEDIACION DE AMBIENTES IMPACTADOS CON HIDROCARBUROS

M. Leal-Castillo¹, A. Guzmán y J.M. Sánchez-Yáñez^{2*}.

¹Dep. Biotecnología, Facultad de Agroindustrias, Unidad Rhode, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Reynosa, Tam., ²Microbiología Ambiental *(autor correspondiente), Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas, Ed. B-1., CU, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, CP 58030, Morelia, Mich, México.

La contaminación ambiental es parte de la vida moderna, una causa son los combustibles derivados del petróleo, que al oxidarse liberan productos (residuos) tóxicos para la vida (5).

Cuando la producción de residuos supera la velocidad de su eliminación por la naturaleza surge la contaminación; la que se agudiza en las ciudades industrializadas: en el aire, el agua y el suelo (1-3).

De ahí la necesidad de normas que regulen su destrucción para prevenirla (4,12,14).

Un ejemplo son los bifenilos policlorados, o BPC un grupo de 209 hidrocarburos aromáticos clorados. Su fabricación genera una mezcla de compuestos y sus propiedades fisicoquímicas dependen del grado de cloración, en general son térmica y químicamente estables, insolubles en agua, se mezclan con aceites y son resistentes al fuego (3,16).

Por estas características en los últimos 50 años, tienen diversos usos: en transformadores y condensadores como dieléctricos, fluidos transmisores de calor, hidráulicos y componentes de revestimientos para interiores, líquidos de frenos, en la fabricación de adhesivos, selladores, barnices y tintas de imprenta, como plastificadores, en la síntesis de pinturas marinas alguicidas y molusquicidas. Tales propiedades los hacen útiles; estables a la combustión normal, a las reacciones químicas y a la degradación biológica razón de su prolongada permanencia en el ambiente.

Por ello desde los años sesenta, la preocupación de los organismos de protección del ambiente, por su persistencia y acumulación, que en consecuencia daña el ecológico (3,16) especialmente el agua, la que al tratarse por los métodos tradicionales no los elimina, mientras que en los suelos agrícolas afecta negativamente su fertilidad (1,9,11,20,21).

Los suelos son impactados por hidrocarburos (HC), como el petróleo crudo y sus derivados en lugares adyacentes a los pozos de perforación, por fugas en los ductos que contaminan el agua superficial y la subterránea, así el tratamiento apropiado para su eliminación es costoso, lo que limita su aplicación (14,16,19).

En esos sitios, los vegetales desaparecen y la agricultura comercial es imposible. No obstante los suelos poseen una diversidad de los microorganismos, capaces de oxidarlos (eliminarlos), esos desechos del petróleo, de ahí que se recomienda el estimular la actividad biológica oxidativa natural de los HC, una manera efectiva de prevenir el deterioro ambiental (2,16).

Otro ejemplo de HC contaminantes, son los aceites residuales (AR) desechos peligrosos, provenientes de dos fuentes: de la industria que lo confinan y los talleres de cambios de aceite de automóviles (18,24).

Aunado a lo anterior el problema crítico de las ciudades industrializadas: la falta de agua, normalmente utilizada para satisfacer necesidades básicas de la población.

En esos sitios es común que las zonas agrícolas, cercanas a esas ciudades, se irrigen con aguas negras, que contienen desechos industriales como los AR. Según un cálculo estimativo, un taller de servicio de lavado y engrasado en promedio recibe 15 autos diarios, cada uno equivale a 4 litros, esto es 60 litros/ día de AR. Si se multiplica por el número de talleres la cantidad, es importante, pues un litro de AR, contamina 250 mil de agua, o

forma sobre el suelo una película de una extensión de cuatro metros cuadrados, que impide la vida microbiana responsable de reciclaje de la materia orgánica de todo tipo (9,12,15,24).

En resumen los lubricantes y aceites en los cuerpos acuosos o el drenaje sanitario altera su potabilización y reducen la eficiencia de su tratamiento convencional (9,18).

Informes de la subsecretaría de Ecología del estado de Nuevo León; indica que las descargas químicas procedentes de las aguas residuales, solo en 1994, se arrojaron 16,174 toneladas diarias de grasa y aceite, en ese tiempo ya excedían los límites establecidos por la SEDUE (15).

En donde el río Pesquería usado, como vertedero clandestino de esas aguas negras de la zona metropolitana de Monterrey, las cuales llegan a la presa Marte R. Gómez, para su uso en la agricultura en los estados de Nuevo León y Tamaulipas (24), lo que causa, la contaminación de sus suelos y consecuentemente reducen su productividad (12,14,24).

Como se indico una posible solución biológica al problema, es la estimulación de los microorganismos del suelo, con diversa capacidad para oxidar los HC, estos agentes biológicos, destruyen o mineralizan la sustancias recalcitrantes del tipo de los AR, así como los desechos de refinerías, combustibles, y los de derrames de tanques de almacenaje (2,4,5,8).

Cuando al suelo se le adiciona formas de nitrógeno, fósforo y una solución de microelementos, como la fórmula de fertilización aplicada a las plantas, se induce la actividad microbiana de oxidación de los HC, en específico de los AR y con ello la biorremediación del suelo.

La anterior estrategia es aplicable incluso para compuestos organohalogenados (2,5,14,16). Algunos de los microorganismos capaces de mineralizar, total o parcialmente HC se consiguen comercialmente y bajo ciertas condiciones se usan en ambientes impactados con AR, aunque en general no son accesibles económicamente para su aplicación inmediata (16).

Ejemplos de estas bacterias están: *Pseudomonas* y *Burkholderia* de amplia distribución natural y adaptables a la degradación de compuestos sintéticos derivados de HC; al igual que *Pseudomonas sp* F279, aislada de un suelo severamente contaminado, con cerosote esta bacteria lo destruye hasta en un 50%, si se le dan las condiciones nutricionales propicias (10).

A nivel de laboratorio y/o planta piloto esta demostrado, que es posible la degradación coometabólica de tolueno, al igual que la del tricloroetileno, por inducción con soluciones nutritivas, agregadas al suelo de manera única o por aplicaciones programadas de acuerdo con la propiedades fisicoquímicas del suelo o el ambiente específico (4,23).

Otra alternativa para biorremediación ambientes impactados con HC, es mejorar la capacidad de los microorganismos para la oxidación de los HC, por ingeniería genética, aunque esta clase de bacteria, esta sujeta, a un análisis minucioso de su impacto ambiental, por sus posibles repercusiones negativas al liberarse en la naturaleza.

Se reporta que *Burkholderia cepacia* DB01 transformada con ADN plásmido, elimina ácido 2,4 diclorofenoxiacético, cuando lo usa como fuente de alimento a diferentes concentraciones, sin que este hecho se haya demostrado en ambientes abiertos, por ello se considera potencialmente útil para biorremediar sitios contaminados con ese HC (6).

El aislamiento de microorganismos de suelos y de aguas subterráneas contaminadas con nitrobenzeno, facilita la obtención de *Pseudomonas sp.* y otros agentes biológicos con capacidad de crecer en 2-nitrotolueno (11), esta bacteria también destruye solventes orgánicos, con una enzima lipolítica, que rompe anillos aromáticos como el tolueno, o el ciclohexano lo que anterior indica, que para cada clase de HC existe un o una mezcla de microorganismos, que los elimina mediante diferentes estrategias bioquímicas (17).

Sin embargo las bacterias típicas y las archeobacteria no son las únicas con esta capacidad, los actinomicetos, grupo procariote especializado nativo del suelo (22) oxidan alcanos y lignocelulosa así como aromáticos clorados y no clorados como las piridinas, los fenoles, los aromáticos, para lograr su eliminación del ambiente en tiempos y condiciones relativamente cortos sin embargo, no existe suficiente información al respecto por lo que es potencial su posible uso en biorremediación (21,22,23).

Finalmente algunos de los microorganismos, comunes para eliminar HC son las algas microscópicas, como las cianobacterias, que tienden a concentrar los compuestos organofílicos en sus lípidos e inducen su degradación fotoquímica en donde la almacenan, de esta manera reducen el riesgo de daño ecológico (19,20,23).

Para ciertos HC esta demostrado que, los hongos tienen la capacidad de degradar cadenas largas y complejas con mayor eficiencia que las bacterias (21,23), al iniciar la mineralización de compuestos como los BPC.

Por coometabolismo los hongos oxidan HC, alifáticos, un ejemplo es *Phanerochaete chrysosporium* (8), hongo que oxida compuestos organoclorados como el DDT, los BPCs, y clorodioxinas, de esa forma los eliminan de ambiente (1,2,4,7). La explicación a este

hecho, es que el sistema enzimático que participa en la oxidación, es el mismo que el hongo emplea para la mineralización, de la lignina de las plantas en la naturaleza (16,19,23).

Otras estrategias biológicas son las plantas tolerantes a HC (fitoremediación), que se basan en la siembra de vegetales, los cuales que en su rizósfera contienen una amplia gama de microorganismos para oxidar los HC y su derivados (14).

En México y en Michoacán en relación a la biorremediación de suelos agrícolas impactados con hidrocarburos se ha hecho poco, por ello es necesario impulsar este tipo de investigación, para generar biotecnología acordes con nuestros problemas.

Agradecimientos. Al Depto. De Investigación Científica de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, Reynosa, Tam., al programa SUPERA que con una beca apoya al primer autor. A la Coordinación de la Investigación Científica de la UMSNH por medio el proyecto 2.7 (2000-2001) por las facilidades para la publicación de este trabajo.

Literatura consultada

1. Austin, B., J. Calomiris., J.D. Walker and R.R. Colwell. (1977) "Numerical taxonomy and ecology of petroleum-degrading bacteria" Appl. Environ. Microbiol. 34:60-68.

2. Alexander, M. (1980). "Transformación de hidrocarburos" en Microbiología de suelos. AGT Editor pp. 219-238. México.
3. Altamirano, R. 1996. "Incineración de askareles, alternativa de eliminación. Teorema 8:22-23. México.
4. Campbell, R. 1987. "Conversiones microbianas de carbono en el medio" en Ecología microbiana. Ed. Limusa. pp. 45-70. México.
5. Canby, T.Y. 1993. "Bacteria, teaching old bugs new tricks" National Geographic. Agosto.
6. Daugherty, D.D. and S.F. Karel. (1994) "Degradation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid by *Pseudomonas cepacia* DBO1 (pR0101) in a dual substrate chemostat". Appl. Environ. Microbiol. 60: 3261-3267.
7. Duetz, W.A., C.D. Jong, P.A. Williams and J.G. Andel. 1994. "Competition in chemostat culture between *Pseudomonas* strains that use different path/ways for the degradation of toluene". Appl. Environ. Microbiol. 60:2858-2863.
8. Fan, S., and K.M. Scrow. 1993. "Biodegradation of trichloroethylene and toluene by indigenous microbial populations in soil" Appl. Environ Microbiol 59:1911-1918.

9. Flores, L.F.J. 1994. "Falta en México reciclaje de aceites. Reunión Académica sobre Tecnologías Limpias y Manejo de Residuos Peligrosos". El Norte 25 de Nov. Folio 63242. Monterrey, N.L. Mex.
10. Grifoll, M., S.A. Selifonovand P.J. Chapman. 1994. "Evidence for anovel path-way in the degradation of fluorene by *Pseudomonas sp* sp. strain F274". Appl. Environ. Microbiol. 60:2438-2449.
11. Higler, B.E., W.H. Wallace and J.C. Spain. 1994. "Biodegradation of 2-nitrotolueno by *Pseudomonas sp.* strain JS42" Appl. Environ. Microbiol. 60:3466-3469.
12. Instituto Nacional de Ecología.1993. "NOM-052-ECOL-1993" Norma oficial mexicana que establece las características de los residuos peligrosos y el listado de los mismos y los limites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.
13. Landa, A.S., E.M. Spikema., J. Wejima., A.A.C.M. Becnakers., J. Dolfing, and D.B. Janssen. 1974. "Cometabolic degradation of trichloroethylene by *Burkholderia cepacia* G4 in a chemostat with toluene as the primary substrate". Appl. Environ. Microbiol. 60:3368-3374.
14. Leal, C.M., Hinojosa A. y J.M. Sánchez-Yáñez.2001. Biorremediación de un suelo agrícola contaminado con aceite residual. IV Foro Oportunidades de Posgrado en Norteamérica. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, Pue. (Memoria in extenso).

15. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. 1995. quinta edición de Delma. Naucalpan, Edo. De México.
16. Manahan, S.E. 1991. "Environmental chemistry of hazardous wastes" in Environmental chemistry fifth edition. Lewis publishers pp. 427-450 Michigan, U.S.A.
17. Ogino, H., K. Miyamoto, and H. Ishikawa. 1994. "Organic solvent- tolerant bacterium which secrete organic-solvent-stable lipolytic enzyme". Appl. Environ. Microbiol. 60:3884-3886.
18. Rodríguez, M.F: J. 1994. "Piden a armadoras mayor información. Federación Nacional de Asociaciones de Talleres Automotrices A.C." El Norte 7 de Mayo. Folio 24304. Monterrey, N.L. Mex.
19. Videla, H.A., R.C. Salvarezza.1984. "Corrosión Microbiológica" en Introducción a la corrosión microbiológica. Primera edición. Librería agropecuaria pp. 81-127. Buenos Aires, Argentina.
20. Walker, J.D. and R.R. Colwell. 1974. "Microbial degradation of model petroleum at low temperature" Microbiol. Ecol. 1:63-95.
21. Walker, J.D., and R.R. Colwell. 1974. Microbial petroleum degradation: use of mixed hydrocarbon substrates. Appl. Environ. Microbiol. 27:1053-1060.

22. Walker, J.D. and R.R. Colwell. 1975. Factors affecting enumeration and isolation of actinomycetes from Chesapeake Bay and Southeastern Atlantic Ocean sediments. *Mar. boil.* 30:193-201.
23. Yadav, J.S., J.F. Quensen III., J.M. Tiedje and C.A. Reddy. 1995. "Degradation of polychlorinated biphenil mixtures bycongener-specific analysis". *Appl. Environ Microbiol.* 61:2560-2565.
24. Zapata, C.R. 1994. "Dominan descargas químicas. Subsecretaría de Ecología", *El Norte* 3 de Enero. Folio 121 Monterrey, N.L. Mex.

