



La revista: número 17 (Julio 2004)

Fuentes de energía biológica: empleo del metabolismo microbiano para la descontaminación de aguas

Francisco Fontúrbel R. Carlos Ibañez N.
Universidad Loyola (La Paz, Bolivia)
fonturbel@mbotanica.zzn.com

Resumen

Los microorganismos son una fuente importante de energía biológica por su diversidad metabólica. Para la descontaminación de aguas es posible crear bioreactores y biodigestores empleando microorganismos aerobios y anaerobios. También se han desarrollado tecnologías para emplear microorganismos fotosintéticos para la construcción de fotobioreactores, muy útiles para eliminar nutrientes en exceso de las aguas eutrofizadas. En la actualidad, también se han desarrollado mucho las tecnologías de bioremediación, que no precisan de la construcción de costosa infraestructura y tienen un impacto ambiental secundario mínimo.

Palabras clave: microorganismo, energía, metabolismo, bioremediación, bioreactor.

Introducción

En la actualidad, la contaminación de aguas es uno de los problemas de mayor preocupación y uno de los temas en los que más se ha avanzado en el campo de la ingeniería de medio ambiente.

Los primeros diseños de procesos y plantas de tratamiento, pioneros en la descontaminación de aguas, se basaban en el empleo secuencial de métodos físicos y químicos, por medio de los que se conseguía remover gran parte de los contaminantes de aguas contaminadas, como ser aguas servidas, aguas eutrofizadas o aguas receptoras de desechos industriales, relaves, etc.. Estas tecnologías de descontaminación fisicoquímica son costosas y requieren de infraestructura especial para realizarse, que muchas veces no es factible de construirse por la elevada inversión necesaria.

Hasta hace algunas décadas, los microorganismos eran considerados como perjudiciales y los esfuerzos en tecnologías biológicas se abocaban fundamentalmente a su eliminación, pero recientemente se percibió y se tomó conciencia, que por el contrario, la mayoría de los microorganismos son benéficos para el hombre y que pueden tener varias utilidades, siempre y cuando sepamos dárselas.

Una disciplina que está surgiendo en los últimos años es la microbiología ambiental aplicada, ya que en base a las investigaciones realizadas gracias al vertiginoso desarrollo de la biología molecular, se ha podido determinar la función metabólica de la mayor parte de los grupos de microorganismos existentes, y a partir de ese conocimiento, generar nuevas aplicaciones para ellos.

Es así, que este avance vertiginoso de la ciencia y el desarrollo tecnológico nos ha permitido utilizar microorganismos en la descontaminación de las aguas . El aprovechamiento del metabolismo de los microorganismos ha posibilitado la construcción de reactores biológicos a mucho menor costo que los fisicoquímicos, y también ha posibilitado la construcción de plantas de tratamiento de sistema mixto, para una mayor eficiencia.

Los microorganismos en la descontaminación

El uso de microorganismos como herramientas de descontaminación es bastante reciente. Los avances más grandes en el tema se realizaron luego del derrame de petróleo del Exxon Valdez en las costas de Prince William, en Alaska (1990). Puesto que este desastre ecológico dejó gran cantidad de petróleo en el agua, se buscaron formas alternativas de lidiar con la contaminación.

Los científicos que desarrollaron las primeras experiencias exitosas de bioremediación de petróleo a gran escala en Alaska, se basaron en la premisa de que todos los ecosistemas naturales poseen microorganismos capaces de metabolizar los compuestos tóxicos y xenobióticos, aunque estos suelen encontrarse en proporciones menores al 1% de la comunidad microbiana . Esta premisa se cumplió en Alaska y en casi todos los casos estudiados posteriormente.

Estas experiencias llevaron a los científicos a estudiar más a fondo la bioquímica del metabolismo de los microorganismos . Años de investigación evidenciaron que en el planeta existen microorganismos para producir o degradar prácticamente cualquier tipo de sustancia natural , y que podían ser aprovechados para descontaminar aguas y suelos a menor costo y en menor tiempo, respecto a las técnicas tradicionales .

Los bioreactores y los biodigestores

La construcción de bioreactores y biodigestores se basa en un principio muy sencillo: hacer que los contaminantes se conviertan en el sustrato (alimento) de los microorganismos, y que éstos, al mismo tiempo que se alimentan y aumenta su población, descontaminan el agua.

Para la construcción de un bioreactor o un biodigestor es necesario conocer el tipo de microorganismos con los que estamos trabajando y la curva de crecimiento característica de ellos. Las curvas de crecimiento microbiano, de forma general, poseen cuatro fases en el tiempo (ver Fig. 1):

1. fase de latencia
2. fase de crecimiento logarítmico
3. fase de crecimiento menguante
4. fase endógena

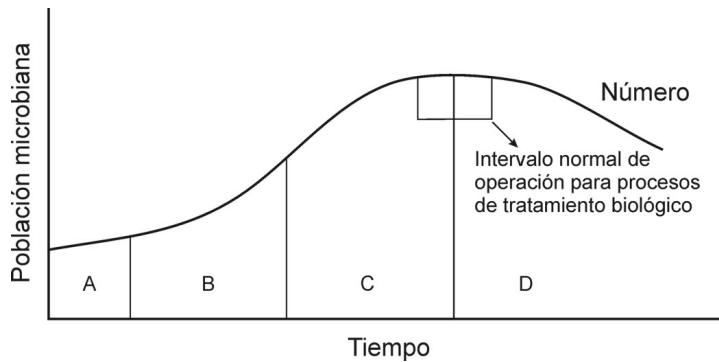


Fig. 1: Curva de crecimiento bacteriano tipo (redibujado a partir de de Henry 1999).

El factor clave de un bioreactor o un biodigestor es lograr mantener a los microorganismos en la fase C la mayor parte del tiempo que sea posible, es decir, mantener a la población microbiana a su máximo nivel, para optimizar la eficiencia de los procesos de degradación. Esto se logra regulando las condiciones del medio (temperatura, pH, aireación, etc.) y los flujos de entrada y salida, de manera que nunca falte alimento y no se llegue a la fase D.

Dentro de los procesos biológicos empleados para la construcción de bioreactores y biodigestores, existen dos tipos fundamentales de procesos: los procesos aeróbicos y los procesos anaeróbicos .

Procesos aeróbicos

Los procesos aeróbicos son aquellos que necesitan de oxígeno. Existen procesos aeróbicos estrictos, que son aquellos que solamente pueden funcionar si hay oxígeno, y los procesos aeróbicos facultativos, que son los que pueden alternar con anaeróbicos, de acuerdo a la concentración de O₂ disponible.

De manera general, los procesos aeróbicos tienen la siguiente reacción:



Como se puede apreciar en la ecuación anterior, el metabolismo aeróbico se encarga de catalizar moléculas más grandes en CO₂ y agua, fundamentalmente. Los diferentes grupos de microorganismos tienen metabolismos diferentes, y por lo tanto son capaces de catalizar una amplia gama de sustancias, aunque algunas veces se obtienen otros productos secundarios además de los mencionados.

Los procesos aeróbicos son muy eficientes, funcionan con una amplia gama de sustancias posibles de degradar, en ciclos relativamente sencillos.

Procesos anaeróbicos

Estos procesos se realizan en ausencia de oxígeno, que son realizados por dos grupos de bacterias heterótrofas, que en un proceso de licuefacción/gasificación convierten un 90% de la materia orgánica, primero en intermediarios y luego en

metano y CO₂ gaseosos .

En los bioreactores se suele aplicar una mayor temperatura los primeros 30 días para facilitar la putrefacción de la materia. La ventaja de este tipo de digestión es que genera energía en forma de metano y la producción de lodos es sólo del 10% .

Simulación para el cálculo de reactores

El calcular las dimensiones de un reactor anaerobio puede ser una tarea difícil. Por esta razón, es que los especialistas de la Universidad Federal de Minas Gerais (MG, Brasil) han diseñado un software de aplicación llamado UasbWare, que asiste a los ingenieros en el pre-diseño del reactor, en función a los parámetros que este defina para la obra.

El software es de distribución y uso gratuito, y puede ser conseguido vía Internet en la siguiente dirección:

<http://www.desa.ufmg.br/prosab/download/download.html>

Los fotobioreactores

La eutrofización cultural o hipertrofia es un proceso antrópico, por el cual se incrementan sustancialmente las concentraciones de nutrientes en lagos y estuarios, rebasando la capacidad de resiliencia y autorregulación del ambiente, ocasionando una degradación del ecosistema por la pérdida de la biodiversidad, los efectos de colapso en cadena y la alteración de los ciclos biogeoquímicos .

El carbono el nitrógeno y el fósforo son los principales responsables del desarrollo de procesos eutróficos y suelen ser bastante difíciles de eliminar de las aguas in-situ, sin afectar a las formas de vida que en ella habitan.

Baumgarten y colaboradores desarrollaron un sistema eficaz y de bajo costo para eliminar una gran parte del carbono y el nitrógeno de aguas eutrofizadas: un fotobioreactor.

Los fotobioreactores se basan en el mismo principio que los bioreactores, pero en este caso se emplean algas verdes y bacterias fotosintéticas para fijar el carbono y el nitrógeno en forma de biomasa, y aprovecharla como fertilizante posteriormente.

Este tipo de bioreactor es más económico que uno convencional, ya que los organismos fotosintéticos necesitan únicamente de luz para funcionar. Se ha determinado que el uso de este tipo de reactores ayuda a reducir los posibles efectos atmosféricos negativos, por la emisión de compuestos volátiles .

La desventaja que se ha percibido, para los fotobioreactores, es que después de un tiempo existe una inhibición mutua entre bacterias y algas verdes, disminuyendo la eficiencia de los procesos.

La bioremediación

La bioremediación es una técnica de biotecnología relativamente reciente, que se basa en el postulado de que en todos los ambientes naturales de la Tierra existen microorganismos capaces de degradar los contaminantes y compuestos xenobióticos , aunque estos normalmente se encuentran en muy poca cantidad, usualmente menos del 1% de la comunidad microbiana.

En base a este postulado, lo que hace la bioremediación es estimular a estos microorganismos, por medio de la adición de fertilizantes químicos específicos (nutrientes), que propicien un aumento del grupo metabólico de interés hasta un 10% de la comunidad microbiana, y de esta manera acelerar considerablemente el proceso de descontaminación.

Se han tenido experiencias muy exitosas con la bioremediación de hidrocarburos utilizando las cepas nativas del lugar, tanto en aguas como en suelos, y esto ha llevado a los científicos y a las compañías biotecnológicas a aislar estos microorganismos y a venderlos como productos comerciales.

El uso de cepas nativas se ha extendido por todo el mundo, ya que de esta forma, el impacto ambiental que se tiene es mínimo, considerando que lo único que se añade al medio son nutrientes, y que luego de haber eliminado el contaminante, los microorganismos retornan a su estado normal por la falta de sustrato para degradar. En el caso particular de la degradación de hidrocarburos, se ha visto que la mayoría de los procesos involucrados son estrictamente aeróbicos.

Ahora bien, en ciertos casos las cepas nativas o no están presentes o bien no son lo suficientemente eficientes como para degradar ciertos contaminantes, y en este caso, se recurre a la ingeniería genética para la obtención de cepas genéticamente modificadas. Los microorganismos genéticamente son capaces de degradar prácticamente cualquier sustancia para la que sea que se construya la cepa, pero la inocuidad de estos microorganismos en el medio y sus efectos colaterales, son temas aun inciertos y que están generando mucha polémica entre los científicos.

Conclusiones

La energía metabólica de los microorganismos es una fuente prácticamente inagotable, ya que éstos, por medio de su amplia diversidad metabólica, son capaces de utilizar cualquier sustrato como fuente de energía.

Esta energía metabólica microbiana puede ser utilizada para la descontaminación de aguas de muchas formas, y de forma secundaria, para la producción de energía por medio de la emisión de gas metano (aunque no es una fuente significativa del gas).

Los reactores biológicos se han constituido en una buena opción frente a los reactores fisicoquímicos clásicos, y las innovaciones en este campo han llevado a construir reactores basados en organismos fotosintéticos para ayudar al difícil proceso de la recuperación de lagos eutrofizados.

La bioremediación también se perfila como la opción ambientalmente más amigable del siglo XXI, para dar una respuesta efectiva a los problemas de contaminación, ya que estimulando las cepas nativas o introduciendo cepas genéticamente modificadas, es posible eliminar contaminantes en lapsos de tiempo mucho menores que los que tomarían los procesos naturales, sin necesidad de infraestructura de ningún tipo y con un impacto ambiental colateral casi nulo.

Referencias

- Achá, D. 2001. Efecto de los hidrocarburos sobre la diversidad de microorganismos en suelos altiplánicos y detección de microorganismos degradadores de hidrocarburos. II Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Cochabamba, p. 11.
- Achá, D. F. Fontúrbel. 2000. Efectos del petróleo y sus derivados sobre los microorganismos del suelo. La Paz, p. Inédito.
- Baumgarten, E., M. Nagel R. Tischner. 1999. Reduction of the nitrogen and carbon content in swine waste with algae and bacteria. *Appl Microbiol Biotechnol*, 52, 281–284.
- Fontúrbel, F. 2003. Algunos criterios biológicos sobre el proceso de eutrofización a orillas de seis localidades del lago Titikaka. *Ecología Aplicada*, 2, 75–79.

- Fontúrbel, F. D. Achá. 2003. Sinopsis de los estudios de bioremediación de petróleo realizados en suelos del Lago Titikaka: una alternativa social y ambientalmente viable a los problemas de contaminación por hidrocarburos. En: Fontúrbel, F. G. García (eds.), *Propuestas Para Un Desarrollo Sostenible: Lago Titikaka Por Estrategas K*. Publicaciones Integrales, La Paz, pp. 93–100.
- Henry, G. 1999. Contaminación del agua. En: Henry, G. G. Heinke (eds.), *Ingeniería Ambiental*. Pearson, México DF., pp. 421–491.
- Ibañez, C. 1994. Colectores sanitarios principales, zonas este y norte de la ciudad de Oruro. *Revista de Ingeniería Sanitaria*, 1, 1–5.
- Ibañez, C. 2003. Líneas de aducción en sistemas de agua potable. FPS, La Paz, p. 14.
- Madigan, M., J. Martinko J. Parker. 1999. *Brock: Biología de los microorganismos*. 8°. Prentice Hall, Madrid, pp. 150–155, 405–408, 465, 523–524, 582–584, 698, 712–713, 774–777.
- Parés, R. A. Juárez. 1996. *Bioquímica de los microorganismos*. Reverté, Barcelona, pp. 380.
- Parrish, P., J. Clark R. Prince. 1999. Alaska oil spill bioremediation monitoring program: an update. US–EPA, NHEERL, Gulf Ecology Division, Sabine Island Drive, Gulf Breeze, FL 32561, p. <http://www.epa.gov/ged/publica/c1756.htm>
- Pieper, D. W. Reineke. 2000. Engineering bacteria for bioremediation. *Current Opinion in Biotechnology*, 11, 262–270.
- Rittmann, B. P. McCarty. 2001. *Biotecnología del medio ambiente: principios y aplicaciones*. McGraw–Hill, Madrid, pp. 745.
- Smith, R.L. T.M. Smith. 2001. *Ecología*. 4º edición. Addison Wesley, Madrid, pp. 639.
- Varnam, A. M. Evans. 2000. *Environmental microbiology*. ASM Press, Washington, pp. 160.
- White, S. 1998. How bioremediation works. p. <http://www.superbugs.com/bio.html>