

UNIVERSIDAD DEL MAR

Campus Huatulco

División de Estudios de Posgrado



Maestría en Relaciones Internacionales: Medio Ambiente

Líneas de Investigación:

- Conflictos Internacionales y Medio Ambiente
- Consecuencias socio-ambientales del cambio climático
- Delitos ambientales internacionales
- Legislación y normatividad internacional
- Política ambiental internacional



Maestría en Mercadotecnia Turística

Líneas de Investigación:

- Nuevas Tendencias del Turismo
- Mercadotecnia de Destinos Turísticos
- Perfil del Turista en Bahías de Huatulco
- Ética del Turismo



Maestría en Derecho Internacional Penal

Líneas de Investigación:

- Crímenes Internacionales
- Jurisdicción Universal
- Instancias Internacionales y Procedimientos Penales Internacionales
- Problemas Actuales de Derecho Internacional Penal, Dogmática y Perspectiva Político-Criminal
- Responsabilidad Internacional por Incumplimiento al Derecho Humanitario

Informes

Dra. María del Rosario Enríquez Rosado
Jefa de la División de Estudios de Posgrado
Tel. (958) 584 3057 Ext. 111
Fax. (958) 584 3078
posgrado@huatulco.umar.mx

www.umar.mx

¿Cianobacterias que comen petróleo?

Idelett Calderon-Díaz¹, Ma. Nieves Trujillo-Tapia²
& Eustacio Ramírez-Fuentes^{3*}

Resumen

Las cianobacterias o algas verde azules son microorganismos fotoautótrofos, acostumbradas a vivir sin demasiadas exigencias nutricionales, pueden crecer en medios minerales y el CO₂ atmosférico constituye una excelente fuente de carbono (alimento) para ellas. En su morfología las cianobacterias pueden ser unicelulares, coloniales o filamentosas. Su origen data de hace más de 3,500 millones de años, tiempo en el cual han desarrollado la capacidad para adaptarse y establecerse en todo tipo de climas y condiciones ambientales; inclusive en ambientes contaminados. En México, al igual que en el resto del mundo, las principales actividades, como la minería, la extracción y refinación del crudo, la petroquímica y la industria química, han traído grandes beneficios a la población humana; sin embargo, también se han ocasionado graves problemas ambientales. De las actividades que realiza la industria petrolera, uno de los principales problemas de contaminación del medio ambiente es ocasionado por la refinación del petróleo y productos petroquímicos. En años recientes la biorremediación es la tecnología emergente para el tratamiento de sitios contaminados por hidrocarburos, se basa principalmente en la biodegradación biológica completa de los contaminantes orgánicos, produciendo dióxido de carbono (CO₂) y agua. Las cianobacterias han ganado mucha atención en los últimos años debido a su aplicación en la bioreme-

Abstract

Cyanobacteria or blue-green algae are photoautotrophs microorganisms, used to living without much nutritional requirements, can grow in mineral media and atmospheric CO₂ is an excellent source of carbon (food) for them. Cyanobacteria in morphology can be unicellular, colonial or filamentous. Its origin dates back more than 3,500 million years ago, at which time have developed the ability to adapt and settle in all types of weather and environmental conditions; even in contaminated environments. In Mexico, as in the rest of the world, major activities such as mining, oil extraction and refining, petrochemical and chemical industry, have brought great benefits to the human population; however, they have also caused serious environmental problems. The activities of the oil industry, one of the main problems of environmental pollution is caused by oil refining and petrochemicals. In recent years bioremediation is the emerging technology for treating hydrocarbon contaminated sites, mainly based on the full biological biodegradation of organic pollutants, producing carbon dioxide (CO₂) and water. Cyanobacteria have gained much attention in recent years due to its application in the remediation of soils contaminated with hydrocarbons. In this paper a definition is given of cyanobacteria and sorting; some benefits they provide to humans and their application in hydrocarbon contaminated sites listed. Finally he discussed the research

¹Maestría en Ciencias Ambientales. Universidad del Mar, campus Puerto Ángel. Laboratorio de Biotecnología Ambiental. Cd. Universitaria s/n, Pochutla, Oaxaca. CP 70902. E-mail: cadi.ide@gmail.com

²Profesora-Investigadora. Universidad del Mar, campus Puerto Ángel. Instituto de Ecología. Laboratorio de Biotecnología Ambiental. Cd. Universitaria s/n, Pochutla, Oaxaca. CP 70902. E-mail: nieves@angel.umar.mx

³Profesor-Investigador. Universidad del Mar, campus Puerto Ángel. Instituto de Recursos. Laboratorio de Biotecnología Ambiental. Cd. Universitaria s/n, Pochutla, Oaxaca. CP 70902. E-mail: eustacio@angel.umar.mx *Autor para correspondencia

diación de suelos contaminados con hidrocarburos. En el presente trabajo se da una definición de las cianobacterias, así como de su clasificación; se mencionan algunos beneficios que aportan a los seres humanos, y su aplicación en sitios contaminados con hidrocarburos. Por último se comenta del trabajo de investigación realizado en la Universidad del Mar campus Puerto Ángel sobre la aplicación de las cianobacterias como biodegradadoras de hidrocarburos.

Palabras clave: bioremediación, cianobacterias, contaminación, crudo, hidrocarburos.

work carried out at the UMAR campus Puerto Angel on the implementation of cyanobacteria as hydrocarbons biodegradation.

Key words: bioremediation, cyanobacteria, contamination, crude hydrocarbons.

¿Qué son las cianobacterias?

Las cianobacterias, también denominadas cianofíceas o algas verde-azules son microorganismos fotoautótrofos (producen su propio alimento), tienen una larga historia evolutiva; la mayoría de geólogos y geoquímicos están de acuerdo en que su origen se extiende 3,500 millones de años atrás en la Era Proterozoica, conocida también como era de las cianobacterias. Las cianobacterias son clasificadas dentro del Reino Monera, compartiendo características comunes con las demás procariontes¹, como la ausencia de un núcleo, poseen pared celular de peptidoglicano² parecida a la de las bacterias gram negativas. Presentan la capacidad de realizar fotosíntesis oxigénica, proceso por el cual se convierte la energía lumínica en química, liberándose oxígeno procedente de la ruptura de moléculas de agua (Gupta *et al.* 2013). Pueden mostrar una variedad de colores debido a diferentes combinaciones de los pigmentos fotosintéticos (clorofila a, carotenoides y ficobiliproteínas). El nombre inicial se lo deben a la ficocianina, por el color azul (cyano- kuavo).

Las cianobacterias acostumbran vivir sin demasiadas exigencias nutricionales; solo algunas especies marinas requieren algún factor de crecimiento (temperatura, pH,

condiciones de luz, etc.). Con luz pueden crecer en medios minerales, cuyas sales nitrogenadas inorgánicas y bicarbonato aprovechan para abastecerse de nitrógeno y carbono; también el CO₂ atmosférico constituye una excelente fuente de carbono para ellas. Debido a los pocos requerimientos y a su enorme capacidad de adaptación a condiciones ambientales cambiantes a lo largo de la evolución, las cianobacterias han colonizado casi todos los rincones del planeta.

Diversidad morfológica y clasificación

Las cianobacterias presentan una gran variabilidad morfológica y estructural (Tabla I) debido a que han desarrollado estrategias eco-fisiológicas de adaptación a diferentes condiciones ambientales de temperatura, humedad, salinidad, irradiación solar, pH, entre otras (Whitton & Potts 2000). Pueden ser unicelulares, coloniales o filamentosas. El sistema más simple de clasificación, basado casi por completo en el limitado número de cianobacterias en cultivo es el de Rippka *et al.* (1979). Los criterios para la clasificación incluyen: morfología, modo de reproducción, ultraestructura, fisiología, química y a veces genética. El aislamiento, base de datos e historial de la mayor parte de cepas incluidas en el Manual de Bergey's se encuentran en Rippka

¹ Procarionte: células que no poseen en su composición un núcleo celular diferenciado y su ADN se encuentra disperso en el citoplasma.

² Peptidoglicano: macromoléculas constituidas por cadenas polisacáridas paralelas entre si y unidas transversalmente mediante sus cadenas laterales peptídicas.

et al. (1979). Rippka divide a las cianobacterias en cinco secciones, las dos primeras secciones, I y II, como "unicelulares", las células aisladas o formando agregados coloniales unidas por otras capas de la pared exterior de la célula. Sus otras tres secciones, de la III a V, son descritas como "filamentosas", formadas por tricomas (cadenas de células) que crecen por división intercalar de las células. La sección I (unicelulares) agrupa cianobacterias que se reproducen por fisión binaria o por gemación y pueden ser células cilíndricas u ovoides. En la sección II las cianobacterias unicelulares que se reproducen solamente por fisión múltiple,

la sección III (filamentosas) son cianobacterias filamentosas sin heterocitos que se dividen en un solo plano, en la sección IV (filamentosas) cianobacterias con heterocitos que se dividen en un solo plano y su reproducción se da por la rotura de tricomas al azar, algunas germinan de acinetos; tricomas vegetativos. La sección V (filamentosas) contiene cianobacterias filamentosas con heterocitos que se dividen en más de un plano por la rotura de tricomas al azar, por la formación de hormogonios y (si se producen) por la germinación de acinetos (Rippka *et al.* 1979).

Tabla I.- Grupos morfológicos y géneros representativos de cianobacterias planctónicas marina con sus características (Modificado de Whitton & Potts 2000).

Grupos	Géneros	Fijadoras de nitrógeno	Características
Unicelulares			
Solitarias	<i>Synechococcus prochlorococcus</i>	La mayoría (-)	Solitaria, común en océanos oligotróficos, pueden formar "blooms" en aguas hipersalinas
Solitarias	<i>Synechocystis</i>	(-)	Solitarias formando "blooms" en lagunas y bahías hipersalinas
	<i>Aphanothece</i>	Algunas (+)	Solitarias, ficocoplactónicas, oligoalinas
Coloniales	<i>Merismopedia</i>	(-)?	Prefieren aguas enriquecidas con nutrientes
Filamentosas			
Sin heterocistos	<i>Lyngbya</i>	Algunas (+)	Agregados, frecuentemente asociados con protistas, metazoos
	<i>Oscillatoria</i>	Algunas (+)	Unas pocas reportadas en "blooms", algunas asociadas con macroalgas y plantas superiores
	<i>Phormidium</i>	(-)	Solitarias, y asociadas con otros protistas
	<i>Spirulina</i>	(-)	Solitaria, hipersalina y agua enriquecida con nutrientes.
	<i>Trichodesmium</i>	(+)	Agregadas forman "blooms" en aguas tropicales y subtropicales asociadas con protistas
Con heterocistos	<i>Anabaena</i>	(+)	Solitaria, en lagunas y bahías.
	<i>Aphanizomenon</i>	(+)	Agregados formadores de "blooms" en aguas enriquecidas con nutrientes.
	<i>Nodularia</i>	(+)	Formadores de "blooms" en las costas, aguas enriquecidas con nutrientes.
	<i>Richelia</i>	(+)	Endosimbionte en las diatomeas <i>Rizostenia</i> y <i>Hemiaulus</i> en aguas tropicales y subtropicales.

Beneficios de las cianobacterias a los seres humanos

Las cianobacterias han ganado mucha atención en los últimos años debido a su aplicación en biotecnología (como biofertilizantes, rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas, como agentes de control biológico). Son utilizadas en la alimentación humana y animal, en la obtención de compuestos bioactivos (metabolitos secundarios) con diversa actividad biológica antiviral, antibacterial, antifúngico, antitumoral, antiinflamatorio; en la biorremediación de suelo y agua residual, removiendo metales pesados o degradando hidrocarburos, entre otras aplicaciones (Prasanna *et al.* 2008). Varios géneros representantes de las cianobacterias como *Spirulina*, son una fuente rica en proteínas, aminoácidos, vitaminas, minerales y otros nutrientes; algunos de los cuales no pueden ser sintetizados por el cuerpo humano, por lo que, uno de sus principales usos es como suplemento alimenticio en diferentes presentaciones: ya sea en polvo, encapsulado, en tabletas, como sustituto de harina (en diferentes sabores), en pastas para sopa, botanas, salsas, barras de granola, golosinas o bebidas instantáneas de frutas o vegetales. En años recientes, el hidrógeno producido por las cianobacterias se ha considerado como una fuente de energía alternativa, y ahora se ha hecho comercialmente disponible.

¿Qué son los hidrocarburos?

Los hidrocarburos son compuestos orgánicos, formados por átomos de carbono e hidrogeno, que se extraen directamente de formaciones geológicas en estado líquido, y se conocen comúnmente como "petróleo crudo" ó "crudo" debido a la forma en la que se encuentran. Se clasifican en hidrocarburos alifáticos, aromáticos y poli-aromáticos; los compuestos de carbono e hidrógeno que carecen de un anillo aromático (alifáticos) se pueden clasificar en alcanos (compuestos de un solo enlace sencillo C-C), alquenos (compuestos de dobles enlaces C=C) y alquinos (compuestos de triple enlace C≡C); los compuestos aromáticos son aquellos que presentan al menos una

estructura cíclica (contienen el anillo aromático del benceno). Los compuestos poli-aromáticos son aquellos constituidos por la unión de dos o más anillos bencénicos (Fig.1).

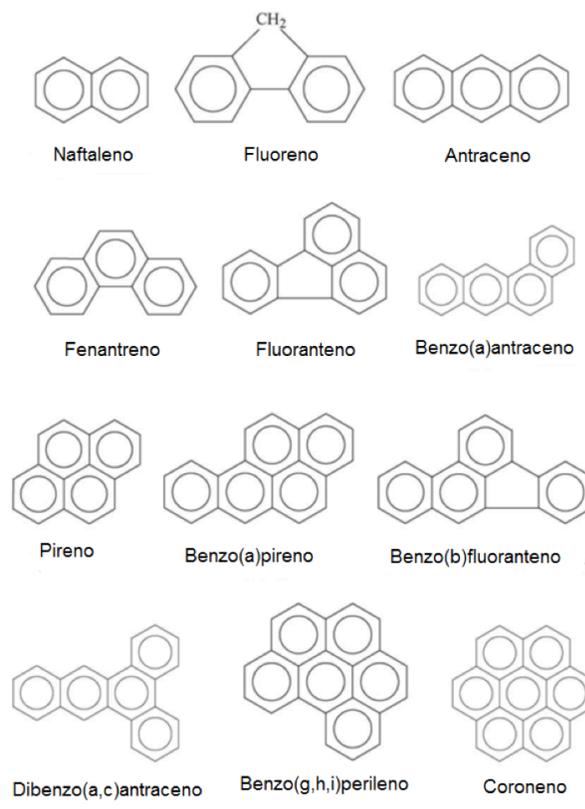


Figura 1.- Estructura química de los hidrocarburos más comúnmente estudiados. (Haritash & Kaushik 2009).

Cómo afectan los hidrocarburos al ambiente

En México, al igual que en el resto del mundo, las principales actividades, como la minería, la extracción y refinación del crudo, la petroquímica y la industria química, han traído grandes beneficios a la población humana; sin embargo, también se han ocasionado graves problemas ambientales. De las actividades que realiza la industria petrolera, uno de los principales problemas de contaminación del medio ambiente es ocasionada por la refinación del petróleo y productos petroquímicos, sobre todo cuando se presentan incendios y derrames durante la operación, exploración y traslado del crudo; como resultado, las consecuencias son graves y de difícil reparación.

Los compuestos más comúnmente involucrados en emergencias ambientales se encuentran el petróleo (42.1%) y sus derivados: gasolina, combustóleo, diesel (20.02%); el gas licuado de petróleo (3.19%), el gas natural (2.3%), y otras sustancias (27.7%) (Sarmiento et al. 2003). Los accidentes pueden ocurrir y afectar el suelo y el mar; en ambos ambientes se impacta negativamente sobre los seres vivos, las cadenas tróficas y los procesos biológicos -como el ciclo biogeoquímico de los nutrientes-, el flujo de energía o las interacciones entre organismos.

Métodos de remediación de hidrocarburos

La remediación es la eliminación de compuestos tóxicos del suelo. Las tecnologías de remediación de suelos contaminados con hidrocarburos se clasifican en tratamientos físico-químicos, térmicos y biológicos (biorremediación). Cada uno de ellos presenta ventajas y desventajas. Los tratamientos físico-químicos y térmicos, se utilizan para eliminar los hidrocarburos de zonas contaminadas; son poco eficientes y muy costosos. En años recientes, la biorremediación es la tecnología emergente para el tratamiento de sitios contaminados por hidrocarburos, se basa principalmente en la biodegradación completa de los contaminantes orgánicos, produciendo dióxido de carbono (CO₂) y agua. Los agentes biológicos como microorganismos (bacterias, hongos, algas, levaduras y cianobacterias) o plantas, transforman los contaminantes orgánicos complejos a compuestos más simples, mediante su capacidad metabólica de degradación del contaminante. La velocidad de biodegradación depende de varios factores: pH, temperatura, oxígeno, población microbiana, grado de aclimatación del organismo, disponibilidad de nutrientes, estructura química del contaminante, entre otras. Antes de considerar el uso de una tecnología de remediación para un sitio en particular, es indispensable contar con información del sitio y llevar a cabo su caracterización, así como la del contaminante a tratar.

Cianobacterias degradadoras de hidrocarburos

Cada vez existen más pruebas de que

microorganismos fotosintéticos, particularmente las cianobacterias, pueden contribuir a la oxidación y degradación de hidrocarburos (Chaillan et al. 2006, Gupta et al. 2013), como el naftaleno, acenafteno, antraceno, fluoranteno, pireno, n-octadecano y criseno. Ibraheem (2010) aisló y probó la eficiencia de degradación de hidrocarburos de cinco especies de cianobacterias (*Phormidium* sp., *Nostoc* sp. (Bornet, É & Flahault, C, 1886'1888'), *Anabaena* sp. (Bornet, É & Flahault, C, 1886'1888'), *Aphanothece conferta* (Ritcher, P. 1893) y *Synechocystis aquatilis* (Sauvageau, C. 1892) en dos compuestos alifáticos (n-octadecano y pristino) y dos aromáticos (fenantreno y dibenzotiofeno). El mayor porcentaje de degradación se midió en *Aphanothece conferta* y *Synechocystis aquatilis* (78 y 90 %, respectivamente). En otro estudio El-Sheekh & Hamouda (2014), llegaron a la conclusión que *Nostoc punctiforme* y *Spirulina platensis* son capaces de degradar compuestos alifáticos contenidos en el crudo (petróleo).

En el laboratorio de Biotecnología Ambiental de la UMAR (Puerto Ángel), se está trabajando con dos géneros de cianobacterias: *Fischerella* y *Synechocystis* (Fig 2.) aisladas de suelo de la costa oaxaqueña, con el objetivo de probar su actividad biodegradadora de hidrocarburos. Hasta el momento, de los resultados obtenidos, las cianobacterias de ambos géneros crecieron favorablemente cuando se adicionó hidrocarburo al medio de cultivo, lo anterior, podría deberse a que las cianobacterias utilizan al hidrocarburo como fuente de carbono para su crecimiento, y por lo tanto, poseen la capacidad biodegradadora.



Figura 2.- Cultivo de la cianobacteria *Synechocystis* sp. y *Fischerella* sp.; de izquierda a derecha: control (cianobacterias + BG11); tratamiento 1 (cianobacteria + tween 80); tratamiento 2 (cianobacteria + tween 80 + hidrocarburos). Foto: Idelett C.D (04/01/15).

Referencias

- El-Sheekh, M. M. & R. A. Hamouda. 2014. Biodegradation of crude oil by some cyanobacteria under heterotrophic conditions. *Desalination and Water Treatment* 52 (7-9):1448-1454.
- Gupta, V., R. S. Kumar, A. Sood, V. Chaudhary & R. Prasanna. 2013. New insights into the biodiversity applications of cyanobacteria (blue-green algae) Prospects and challenges. *Algal Research*: 279-97.
- Haritash, A. K. & C. P. Kaushik. 2009. Biodegradation aspects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): A review. *Journal of Hazardous Materials* 169 (1-3): 1-15.
- Ibraheem, B. M. I. 2010. Biodegradability of hydrocarbons by cyanobacteria. *Journal of Phycology* 46:818-824.
- Prasanna, R., P. Jaiswal & B. D. Kaushik. 2008. Cyanobacteria as potential options for environmental sustainability-promises and challenges. *Indian Journal of Microbiology* 48(2):89-94.
- Rippka, R., J. Deruelles, J. B. Waterbury, M. Herdman & R. Y. Stanier. 1979. Generic Assignments, Strain Histories and Properties of Pure Cultures of Cyanobacteria. *Journal of General Microbiology* 111:1-61.
- Sarmiento, M. R., E. Ortiz., J. Alvares. 2003. Emergencias Ambientales Asociadas a sustancias Químicas en México. *Gaceta Ecológica*, No. 66, pp.54-63.
- Whitton, B. & M. Potts. 2000. *The Ecology of cyanobacteria*. Kluwer Academy Publisher, Netherlands.

Recibido: 30 de marzo de 2016

Aceptado: 27 de abril de 2016