

Fuentes de carbono económicas para la producción de bioplásticos bacterianos

Economic carbon sources for bacterial bioplastic production

LUIS ROBERTO RIVERA-MACKINTOSH¹, GUADALUPE VIRGINIA NEVÁREZ-MOORILLÓN^{2,3}

Resumen

Los plásticos, particularmente aquellos producidos a partir del petróleo, son utilizados ampliamente debido a sus propiedades mecánicas y fisicoquímicas. Sin embargo, estos materiales son poco biocompatibles y muestran resistencia a procesos de degradación, por lo que tienden a acumularse ocasionando efectos detrimentales al ambiente. Como sustituto a los petroplásticos (plásticos derivados del petróleo) se pueden emplear polímeros de origen biológico, que poseen propiedades similares a sus contrapartes sintéticas, pero una mayor biocompatibilidad. La mayoría de los bioplásticos (plásticos de origen biológico) muestran costos de producción más elevados que petroplásticos similares, lo que constituye una gran desventaja. En esta revisión se presenta una breve reseña de la biosíntesis bacteriana de polihidroxibutiratos (PHB) y polihidroxivaleratos (PHV) a partir de fuentes de carbono consideradas como subproductos o desechos de actividades agrícolas o industriales. La selección de una fuente de carbono económica puede cerrar parcialmente la brecha económica entre la producción de bioplásticos y la producción de petroplásticos.

Palabras clave: Polihidroxibutirato, polihidroxivalerato, bioplásticos, biocompatibilidad, biosíntesis.

Abstract

Plastics, particularly those produced from crude oil, are widely used due to their mechanical, physical and chemical properties. Nevertheless, these materials are poorly biocompatible and show resistance to degradation processes; therefore, they tend to accumulate, causing detrimental effects on the environment. Polymers of biological origin that have similar properties but higher biocompatibility, can be used as a substitute to petroplastics (petroleum-based plastics). Most bioplastics (biologically obtained plastics) have higher production costs than similar petroplastics, which represents a great disadvantage. In this review, a brief account of bacterial polyhydroxybutirate (PHB) and polyhydroxyvalerate (PHV) biosynthesis using carbon sources deemed as byproducts or waste of agricultural or industrial activities is presented. Choosing an economical carbon source can partially close the economic gap between bioplastic and petroplastic production.

Keywords: Polyhydroxybutirate, polyhydroxyvalerate, bioplastics, biocompatibility, biosynthesis.

Introducción

El uso de plásticos obtenidos a partir del petróleo (petroplásticos) es parte fundamental del *modus vivendi* contemporáneo, en gran medida gracias a sus propiedades mecánicas y fisicoquímicas, que permiten sustituir el uso de otros materiales más caros o menos resistentes. Sin embargo, estos compuestos acarrearán también desventajas de manera inherente: se obtienen a partir de un recurso no renovable como lo es el petróleo, por lo que su producción se ve

¹ Estudiante de posgrado. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Chihuahua

² Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Campus II, Apdo. Postal 1542-C. Chihuahua, Chih., México 31125 Tel. (614) 236-6000

³ Dirección electrónica del autor de correspondencia: vnevare@uach.mx

afectada por el incremento al precio del mismo debido a la disminución en las reservas, el aumento en el consumo y cambios geopolíticos críticos para la industria petrolera (Masuda, 2008).

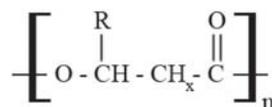
Otra desventaja se observa en el impacto al ambiente, donde la acumulación de petroplásticos interfiere con la dinámica natural de los ecosistemas, constituyendo un problema severo. Esta acumulación, netamente antropogénica, debe su origen a la cantidad extraordinaria de actividades y procesos que involucran el uso de petroplásticos, además que la mayoría de estos compuestos poseen estructuras químicas que les confieren resistencia a la degradación biológica o química. Si bien se han explorado procesos para reciclar o eliminar petroplásticos del ambiente, las tendencias hacia los modelos socioeconómicos de desarrollo sostenible han impulsado la investigación sobre la generación de bioplásticos como los polihidroxicanoatos (Verlinden *et al.*, 2007), que ofrecen una mejor biocompatibilidad, es decir, que ocasionan menores impactos a los ecosistemas. El reto radica en obtener bioplásticos con propiedades similares a los petroplásticos existentes, pero a un costo similar o menor. Esta revisión tiene como objetivo mostrar la producción de bioplásticos a partir de fuentes de carbono económicas, presentes en grandes cantidades por ser desechos agroindustriales, o carentes de valor agregado actual, reduciendo así los costos asociados a su producción.

Polihidroxicanoatos

Los polihidroxicanoatos (PHA) son poliésteres termoplásticos sintetizados por diversos organismos, incluyendo microorganismos procariotes y algunas plantas, bajo condiciones de crecimiento específicas. Constituyen biopolímeros importantes por su capacidad para ser producidos a partir de fuentes renovables, así como por su biodegradabilidad. Identificados en 1926 por Maurice Lemoigne (Trotsenko y Belova, 2000), los PHA son poliésteres alifáticos constituidos por monómeros de entre 1000 y 3000 unidades (Patnaik, 2005). Los monómeros de hidroxialcanoatos poseen una estructura general como se muestra en la Figura 1. Cuando R = CH₃, se tienen monómeros de hidroxibutirato, que da como resultado el poli-β-hidroxibutirato (PHB). Si R = CH₂-CH₃, se tienen monómeros de hidroxivalerato, que da como resultado el poli-β-hidroxivalerato (PHV). Estos dos compuestos, ya sea en forma de homopolímeros o en

heteropolímeros ocupan los lugares predominantes de los polihidroxicanoatos comercialmente disponibles la actualidad (Patnaik, 2005).

Figura 1: Fórmula general de los polihidroxicanoatos.



Los PHA poseen, en general, características fisicoquímicas similares a las de los poliésteres sintéticos (Khanna y Srivastava, 2007; Patnaik, 2005). Los homopolímeros como el PHB suelen ser materiales muy cristalinos y rígidos, pero los heteropolímeros de hidroxibutirato – hidroxivalerato son más dúctiles y resistentes. La adición de monómeros de hidroxivalerato disminuye el punto de fusión, pero aumenta su biodegradabilidad (Khanna y Srivastava, 2007). Los copolímeros PHBV suelen formarse cuando se utilizan mezclas de sustratos, como glucosa y valerato (Verlinden *et al.*, 2007).

El Cuadro 1 presenta una comparación de algunas propiedades entre el polipropileno, un homopolímero polihidroxibutirato (PHB) y un heteropolímero hidroxibutirato – hidroxivalerato (PHBV). En contraste con los polímeros de cadena corta, como el PHB o el PHBV, los polihidroxicanoatos de cadena mediana son menos cristalinos y más elásticos (Madison y Huisman, 1999).

Cuadro 1. Comparación de algunas propiedades entre poliésteres sintéticos (polipropileno) y polihidroxicanoatos.

Propiedad	Polipropileno	PHB	PHBV(20% HV)
Punto de fusión (°C)	176	177	145
Cristalización (%)	50 - 70	60	56
Fuerza de tensión (MPa)	38	43	20
Extensión hasta quiebre (%)	400	5	50
Biodegradación	Prácticamente nula	Buena	Muy buena

Además de las diferencias en los costos de producción, los poliésteres sintéticos poseen, en general, mejores propiedades mecánicas que los PHA. Convertir a los biopoliésteres en plásticos atractivos para fines industriales tiene, entonces, una connotación especial. Para este fin se puede jugar con la composición

del medio de cultivo (Anderson y Dawes, 1990) o con la composición del polímero ya sintetizado, adicionándolo con arcillas u otros compuestos que mejoren sus propiedades mecánicas o su facilidad para ser biodegradado (Maiti *et al.*, 2007). Si bien existen reportes sobre la producción de PHA en plantas, las células vegetales solo obtienen rendimientos menores al 10 % (10 % del peso seco atribuido al PHA), mientras que algunas bacterias logran acumular estos biopolímeros, de manera que hasta un 80-90 % del peso seco es atribuible al PHA, convirtiéndolas en candidatos idóneos para la producción de polihidroxialcanoatos a nivel industrial (Verlinden *et al.*, 2007).

Microorganismos productores de PHA

Los PHA son producidos por una gran diversidad de bacterias, siendo *Cupriavidus necator* (antes *Alcaligenes eutrophus*) una de las más estudiadas (Verlinden *et al.*, 2007). Otras bacterias conocidas por su producción de PHA incluyen especies de *Bacillus*, *Alcaligenes*, *Pseudomonas*, y *Halomonas* (Cuadro 2).

Cuadro 2. Bacterias productoras de PHA, fuentes de carbono utilizadas y polímeros obtenidos.

Bacteria	Fuentes de carbono	Polímero(s) producido(s)	Referencia
<i>Alcaligenes latus</i>	Savia de maple	PHB	(Yeza <i>et al.</i> , 2007)
<i>Azotobacter vinelandii</i>	Agua de desecho (crianza de cerdos)	PHBV	(Cho <i>et al.</i> , 2001)
<i>Bacillus spp.</i>	Caldo nutritivo, sucrosa, alcanoatos	PHB, PHBV	(Kalircioglu <i>et al.</i> , 2003; Shamala <i>et al.</i> , 2002)
<i>Burkholderia sacchari</i>	Arabitol, fructosa, lactosa, mallosa, sorbitol, trehalosa.	PHB, PHBV	(Brämer <i>et al.</i> , 2001)
<i>Comamonas spp.</i>	Aceite de palma	PHBV	(Zakaria <i>et al.</i> , 2008)
<i>Escherichia coli (mutantes)</i>	Suero de leche, licor de remojo del maíz	PHB	(Nikel <i>et al.</i> , 2006)
<i>Halomonas boliviensis</i>	Salvado de trigo hidrolizado, almidón hidrolizado	PHB	(Van-Thuoc <i>et al.</i> , 2007; Quillaguanan <i>et al.</i> , 2005)
<i>Pseudomonas oleovorans</i>	Ácido octanoico	PHA de cadenas medianas	(Durner <i>et al.</i> , 2000)

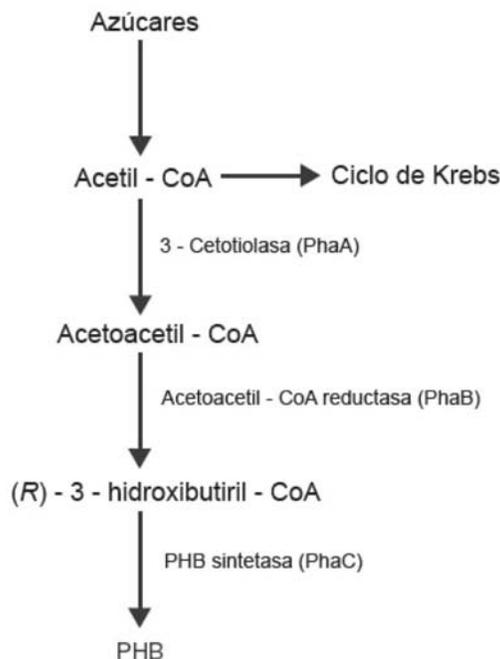
Se conocen más de cien especies bacterianas productoras de PHA (Trotsenko y Belova, 2000). Los PHA se acumulan en vesículas intracelulares y su formación está asociada a la deficiencia de algunos nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, entre otros) cuando existe un exceso en la fuente de carbono y como respuesta a diversos factores de estrés ambiental (Nikel *et al.*, 2006). Cepas mutantes de

Cupriavidus necator pueden acumular hasta un 80 % (peso – peso) de PHB al utilizar glucosa como fuente de carbono. Algunas de esas cepas, al cultivarse en un medio conteniendo glucosa y ácido propiónico, producen un copolímero de hidroxibutirato – hidroxivalerato, en el que la proporción entre hidroxibutirato e hidroxivalerato varían en relación directa con la relación entre glucosa y ácido propiónico (Anderson y Dawes, 1990).

Biosíntesis de PHB

Dentro de los polihidroxialcanoatos el PHB ha sido el más estudiado, por lo que su mecanismo de síntesis es conocido (Verlinden *et al.*, 2007). De manera general para todo microorganismo productor de PHB, su biosíntesis ocurre como se describe en la Figura 2.

Figura 2: Ruta metabólica general para la síntesis de PHB.



Las cetotiolasas catalizan la adición reversible de un grupo acetil a una molécula de acetil-CoA. La enzima acetoacetil – CoA reductasa reduce (de manera reversible) las moléculas de acetoacetil – CoA en hidroxibutiril – CoA. Por último, las PHB sintetasas catalizan la reacción de polimerización entre moléculas de hidroxibutirato (Trotsenko y Belova, 2000).

Producción de PHA y la relación costo - beneficio

Aún cuando las ventajas ecológicas de los polihidroxicanoatos son notables, una serie de factores limitan su adopción plena como sustitutos a los poliésteres sintéticos. Los costos de producción de PHA son, hasta el momento, mayores que los costos en la producción de poliésteres sintéticos. En este sentido, la optimización del proceso global debe darse en cada operación unitaria: selección de sustratos económicos, optimización del proceso de fermentación y en la optimización de la extracción y purificación del producto (Verlinden *et al.*, 2007; Patniak, 2005; Nonato *et al.*, 2001). Otra opción puede ser utilizar microorganismos genéticamente modificados para producir PHA en cantidades mayores a las encontradas en cepas ambientales (Jo *et al.*, 2006; Nikel *et al.*, 2006).

Sustratos económicos = ¿sustratos de desecho?

Se conoce que, para la mayoría de los microorganismos, la producción de PHA está ligada a la escasez de nitrógeno o algún otro nutriente en relación a una abundante fuente de carbono, generalmente mono- y disacáridos o ácidos grasos (Verlinden *et al.*, 2007; Kadouri, 2005; Patniak, 2005; Trotsenko y Belova, 2000). Una de las áreas de oportunidad para mejorar el proceso global se centra en encontrar fuentes de carbono económicas, provenientes muchas veces de material considerado como desecho o como subproducto abundante que ofrece por sí mismo poco valor agregado.

El uso de material de desecho para producir PHA se ha estudiado de manera particular en varios trabajos, como el de Cho *et al.* (2001), en el que utilizan agua desechada de la crianza de cerdos en la producción de PHA por *Azotobacter vinelandii* ATCC 53799. El agua desechada utilizada como fuente de carbono es rica en acetato, propionato y butirato. Al diluir el agua a la mitad, *Azotobacter vinelandii* logró producir y almacenar PHA hasta un 34 % (peso - peso) y la adición de 20 g / L de glucosa elevó este porcentaje hasta 63 %. Cho y colaboradores (2001) reportaron que la cantidad de nitrógeno en el agua de desecho sobrepasa la relación óptima de C:N y sugieren como corrección la adición de compuestos ricos en carbono para desequilibrar la relación entre nutrientes (como lo sugiere la adición de glucosa).

Van–Thuoc *et al.* (2007) utilizaron residuos agrícolas para producir PHB por medio de *Halomonas boliviensis*. Los residuos consistían en salvado de trigo hidrolizado, que resulta en una acumulación de PHA de 33.8 % (peso–peso). Al adicionar el hidrolizado con acetato de sodio y ácido butírico, se eleva la acumulación hasta un 50 %. Estos autores proponen la hidrólisis de los residuos agrícolas, lo que acarrea el costo extra de la hidrólisis (parcial o total) del material. Como una forma de sobrellevar ese nuevo inconveniente, se propone utilizar un extracto enzimático crudo de origen microbiano en lugar del uso de enzimas purificadas, abatiendo así el costo extra.

También se ha propuesto la producción de PHA a partir de aceite comestible gastado, utilizando *Pseudomonas sp.* DR2 que fue originalmente aislada de un campo de arroz. El microorganismo acumuló hasta un 23.52 % (peso - peso) de PHA de media cadena utilizando el aceite gastado como fuente de carbono. Con ello, se sugiere que otros residuos no agropecuarios pueden ser utilizados para la producción de polihidroxicanoatos (Song *et al.*, 2008).

Otra forma de abordar la problemática búsqueda de sustratos económicos consiste en aprovechar materia prima abundante para una región. Yezza *et al.* (2007) eligieron al microorganismo *Alcaligenes latus* para producir PHB, usando savia de maple como fuente de carbono. La savia de maple contiene 10-30 g/L de sacarosa, es abundante en países del hemisferio norte, como Canadá, y puede representar una fuente renovable de carbono para producir polihidroxitiratos. En el trabajo antes mencionado, *Alcaligenes latus* logró acumular hasta 77 % (peso - peso) de PHB, bajo concentraciones limitadas de nitrógeno. Nonato *et al.* (2001) van un paso mas allá y sugieren la incorporación del proceso de producción de PHB a la producción de azúcar y etanol. Tal incorporación involucraría modificaciones a los ingenios azucareros en el orden de millones de dólares, pero daría como resultado un valor agregado muy importante a los subproductos de la industria azucarera.

Conclusión

Los polihidroxicanoatos, como el PHB o el PHBV, son poliésteres con características importantes de biodegradabilidad, que comparten algunas propiedades con los poliésteres sintéticos, pero que aún no se encuentran listos para sustituirlos. En la medida en que se optimice el proceso general de

producción (selección de microorganismo, fuentes de nutrientes, parámetros de fermentación y operación eficiente en la extracción y purificación), los precios de producción de los bioplásticos serán más competitivos, haciendo de ellos una opción viable para sustituir a los petroplásticos. La optimización de la fermentación por la elección de sustratos baratos y fácilmente disponibles en el entorno es, sin lugar a dudas, un primer paso en la dirección correcta.

En México, residuos agroindustriales como el bagazo de plantas agaveáceas o de caña de azúcar, son candidatos interesantes para la producción de bioplásticos, al igual que los residuos provenientes de la elaboración y procesamiento de alimentos, e incluso aquellos desechos provenientes del sector doméstico. Si bien la búsqueda de fuentes de carbono económicas es fundamental para el abaratamiento en los costos de producción, es tan sólo una pieza de un rompecabezas que abarca múltiples disciplinas, como la microbiología, la ingeniería bioquímica, la ecología y la economía. Los bioplásticos deben ser más baratos y por lo menos igual de resistentes que sus contrapartes tradicionales para ser considerados sustitutos viables para los petroplásticos. Si bien, el reto de sustituir tecnologías agresivas al ambiente por tecnologías «verdes» sin un impacto económico negativo es grande, es un reto que la humanidad debe resolver para su beneficio e intrínsecamente ligado a éste, para beneficio del planeta Tierra.

Literatura citada

- ANDERSON J., E. A. Dawes. 1990. Occurrence, metabolism, metabolic role and industrial uses of bacterial Polyhydroxyalkanoates. *Microbiol. Rev.* 54(4):450-472.
- BRÄMER C. O., P. Vandamme, L. F. Da Silva, J. G. C. Gomez, A. Steinbüchel. 2001. *Burkholderia sacchari* sp. nov., a polyhydroxyalkanoate-accumulating bacterium isolated from soil of a sugar-cane plantation in Brazil. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 51:1709-1713.
- CHO K. S., H. W. Ryu, C. H. Park, P. R. Goodrich. 2001. Utilization of swine wastewater as a feedstock for the production of polyhydroxyalkanoates by *Azotobacter vinelandii* UWD. *J. Biosci. Bioeng.* 91(2):129-133.
- DURNER R., B. Witholt, T. Egli. 2000. Accumulation of Poly[(R)-3-Hydroxyalkanoates] in *Pseudomonas oleovorans* during growth with octanoate in continuous culture at different dilution rates. *Appl. Environ. Microbiol.* 66(8):3408-3414.
- JO S. J., M. Maeda, T. Ooi, S. Taguchi. 2006. Production system for biodegradable polyester polyhydroxybutyrate by *Corynebacterium glutamicum*. *J. Biosci. Bioeng.* 102(3):233-236.
- KADOURI D., E. Jurkevitch, Y. Okon. 2005. Ecological and Agricultural significance of bacterial polyhydroxyalkanoates. *Crit. Rev. Microbiol.* 31:55-67.
- KHANNA S., A. K. Srivastava. 2007. Production of poly(3-hydroxybutyric-co-3-hydroxyvaleric acid) having a high hydroxyvalerate content with valeric acid feeding. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 34:457-461.
- KATIRCIOGLU H., B. Aslim, Z. N. Yuksekdao, N. Mercan, Y. Beyatli. 2003. Production of poly-b-hydroxybutyrate (PHB) and differentiation of putative *Bacillus* mutant strains by SDS-PAGE of total cell protein. *Afr. J. Biotechnol.* 2(6):147-149.
- MADISON L. L., G. W. Huisman. 1999. Metabolic engineering of Poly(3-Hydroxyalkanoates): from DNA to plastic. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 63(1):21-53.
- MAITI P., C. A. Batt, E. P. Giannelis. 2007. New biodegradable polyhydroxybutyrate / layered silicate nanocomposites. *Biomacromolecules.* 8:3393-3400.
- MASUDA T. Geopolitics of Oil and Gas Pipelines. 2008 Extraída de <http://www.dauphine.fr/cgemp/masterindustrie/cours%20geopolitics/geopolitics%202008/Presentation%20Masuda%207feb/pdf/Geopolitics%20of%20Oil%20and%20Gas%20Pipelines.pdf>.
- NIKEL P. I., A. De Almeida, E. C. Melillo, M. A. Galvagno, M. J. Pettinari. 2006. New Recombinant *Escherichia coli* Strain Tailored for the Production of Poly(3-Hydroxybutyrate) from Agroindustrial By-Products. *Appl. Environ. Microbiol.* 72(6):3949-3954.
- NONATO R. V., P. E. Mantelatto, C. E. V. Rossell. 2001. Integrated production of biodegradable plastic, sugar and ethanol. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 57:1-5.
- PATNAIK P. 2005. Perspectives in the modeling and optimization of PHB production by pure and mixed cultures. *Crit. Rev. Microbiol.* 25:153-171.
- QUILLAGUAMÁN J., S. Hashim, F. Bento, B. Mattiasson, R. Hatti-Kaul. 2005. Poly(b-hydroxybutyrate) production by a moderate halophile, *Halomonas boliviensis* LC1 using starch hydrolysate as substrate. *J. Appl. Microbiol.* 99:151-157.
- SHAMALA T. R., Chandrashekar A., Vijayendra S. V. N., Kshama L. 2002. Identification of polyhydroxyalkanoate (PHA)-producing *Bacillus* spp. using the polymerase chain reaction (PCR). *Jour. Appl. Microbiol.* 94: 369-374.
- SONG J. H., Jeon C. O., Choi M. H., Yoon S. C., Park W. J. 2008. Polyhydroxyalkanoate (PHA) Production using waste vegetable oil by *Pseudomonas* sp. DR2. *J. Microbiol. Biotechnol.* 18(8):1408-1415.
- TROTSSENKO Y. A., L. L. Belova. 2000. Biosynthesis of Poly(3-hydroxybutyrate) and Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) and its regulation in bacteria. *Microbiology.* 69(6):635-645.
- VAN-THUOC D., Quillaguaman J., Mamo G., Mattiasson B. 2007 Utilization of agricultural residues for poly(3-hydroxybutyrate) production by *Halomonas boliviensis* LC1. *Journal of Applied Microbiology.* 104:420-428.
- VERLINDEN R. A. J., D. J. Hill, M. A. Kenward, C. D. Williams, I. Radecka. 2007. Bacterial synthesis of biodegradable polyhydroxyalkanoates. *Journal of Applied Microbiology.* 102:1437-1449.
- YEZZA A., A. Halasz, W. Levadoux, J. Hawari. 2007. Production of poly-b-hydroxybutyrate (PHB) by *Alcaligenes latus* from maple sap. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 77:269-274.
- ZAKARIA M. R., S. Abd-Aziz, H. Ariffin, N. A. A. Rahman, P. L. Yee, M. A. Hassan. 2008. *Comamonas* sp. EB172 isolated from digester treating palm oil mill effluent as potential polyhydroxyalkanoate (PHA) producer. *Afr. J. Biotechnol.* 7(22): 4118-4121. 

Este artículo es citado así:

Rivera-Mackintosh L.R. y G. V. Nevárez-Moorillón. 2009: *Fuentes de carbono económicas para la producción de bioplásticos bacterianos*. *TECNOCENCIA Chihuahua* 3(2): 58-63.

Resúmenes curriculares de autor y coautores

LUIS ROBERTO RIVERA MACKINTOSH. Es titulado de la carrera de Químico Bacteriólogo Parasitólogo de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua en el año 2003, así como titulado de la carrera de Químico Industrial de la misma Facultad en el 2007. Ha sido instructor del Diplomado de Tutorías (2006-2007) en la Universidad Autónoma de Chihuahua, así como docente en la Universidad Regional del Norte (2000). Actualmente es estudiante de posgrado de la Maestría en Ciencias en Biotecnología que se ofrece en la Universidad Autónoma de Chihuahua.

GUADALUPE VIRGINIA NEVÁREZ MOORILLÓN. Cursó su licenciatura en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), recibiendo en 1987 el título de Químico Biólogo Parasitólogo. Realizó estudios de doctorado en la University of North Texas con la tesis «Biodegradación de componentes de petróleo contaminantes en aguas y suelos por bacterias del suelo»; en 1995 se le otorgó el grado de PH.D., especialidad Biología. Ha recibido más de siete distinciones y premios, siendo el más reciente el Premio Nacional en Ciencia y Tecnología de Alimentos en la Categoría Profesional; este premio le fue otorgado en 2006 por la Industria Mexicana de Coca-Cola y CONACYT, promotores del citado concurso. Por su destacada labor científica, ha sido reconocida como Investigador Nacional Nivel I por el Sistema Nacional de Investigadores. Desde 1995 ha sido maestra de la Facultad de Ciencias Químicas (UACH) y su productividad científica incluye treintaydos artículos en revistas arbitradas; ha editado más de cuatro libros y dirigido más de 60 tesis (licenciatura, maestría y doctorado). La Dra. Nevárez pertenece a diversas sociedades científicas, citándose entre algunas de ellas la American Society for Microbiology, la Society for Microbial Ecology y la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería.