

Biocombustibles: estrategias limpias para combatir la crisis energética

Biofuels: clean strategies to fight the energy crisis

NIDIA PAOLA CASTILLO-VÁZQUEZ¹, TANIA SIQUEIROS-CENDÓN¹
Y QUINTÍN RASCÓN-CRUZ^{1,2}

Resumen

México se encuentra ante una eventual crisis energética debido a la reducción en sus reservas probadas del petróleo, lo que ha tenido como consecuencia un incremento en los precios de los combustibles. Además, la utilización de este hidrocarburo ha generado emisión de gases con efecto invernadero, contribuyendo al cambio climático. Para solucionar este problema se requiere desarrollar tecnologías alternativas que nos permitan sustituir los combustibles derivados del petróleo. Estos hechos hacen evidente la necesidad de utilizar fuentes alternas de energía. Los biocombustibles son recursos energéticos producidos por el ser humano a partir de materias generadas por seres vivos, a las cuales se les denomina "biomasa". Esta segunda generación de biocombustibles plantea el uso de lignocelulosa, que es el polímero más abundante sobre la superficie del planeta; para lograrlo se requiere del desarrollo biotecnológico que permita la despolimerización efectiva de la biomasa vegetal.

Palabras clave: asdf.

Abstract

Mexico is facing a possible energy crisis due to the reduction in proven reserves of oil and consequently, it has resulted in the increase in fuel prices. To solve this problem it requires developing alternative technologies that allow us to replace fuels from petroleum. Besides that, the use of this fuel has generated greenhouse gases emissions, contributing to the climate change. These facts make clear the need for alternative energy sources. Biofuels are a type of fuel whose energy is derived from living organisms called "biomass" and produced by human beings. These second-generation biofuels require the use of lignocellulose that is the most abundant polymer on the surface of the planet, to get this, it is required the development of a biotechnology process that allows the effective depolymerization of plant biomass.

Keywords: asdf.

Introducción

El uso de biocombustibles ofrece muchos beneficios, incluyendo la reducción en la emisión de gases de efecto invernadero, el desarrollo económico de zonas agropecuarias-rural, además de un incremento en la sustentabilidad energética (Zhu *et al.*, 2009). Desde el punto de vista ambiental, los biocombustibles superan a los derivados de petróleo, de los cuales su extracción, procesamiento y combustión contribuyen a la contaminación del suelo, aire y agua (Carere *et al.*, 2008), contrario al uso de bioetanol, el cual representa un ciclo cerrado de dióxido de carbono, debido a que, después de su combustión, el dióxido de carbono liberado es reciclado por las plantas durante el proceso de la fotosíntesis, ya que las plantas integran en su estructura el CO₂ en la forma de celulosa (Chandel *et al.*, 2007; Maas *et al.*, 2008).

¹ Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Campus II, Apdo. Postal 1542-C. Chihuahua, Chih., México 31125 Tel. (614) 236-6000

² Dirección electrónica del autor de correspondencia: grascon@uach.mx

La utilización de biocombustibles implica una reducción en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), como muestran los valores calculados por Havlik *et al.* (2010), de acuerdo a los parámetros de CONCAWE/JRC/EUCAR y Renewable Fuels Agency, presentados en la Cuadro 1.

Estos datos revelan que el reemplazo de combustibles fósiles por biocombustibles representa una reducción del impacto negativo que provoca el uso de combustibles en el ambiente; reducción originada por la disminución en la cantidad de dióxido de carbono emitida al ambiente, lo cual es el principal factor antropogénico que contribuye al calentamiento global (Maas *et al.*, 2008).

Cuadro 1. Ahorro en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) a partir de la sustitución de combustibles fósiles por biocombustibles. Se expresa en gramos de CO₂ equivalente por MegaJoules de combustible utilizado.

Biocombustible	Materia prima	Ahorro en GEI (gCO ₂ eq/MJ)
Etanol	Maíz	35.58
Etanol	Caña de azúcar	59.99
Biodiesel	Canola	41.18
Biodiesel	Soya	38.79
Etanol	Biomasa lignocelulósica	63.10
Metanol	Biomasa lignocelulósica	77.60

Adaptado de Havlik *et al.*, 2010.

Económicamente hablando, la importación de petróleo o sus derivados ha llevado a la alza de precios lo que genera un círculo vicioso (Yang y Wyman, 2007), además de provocar conflictos bélicos debido a la demanda de petróleo extranjero (Sheehan y Himmel, 1999), razón de alarma mundial. Dichos problemas pueden evitarse mediante la producción y utilización de biocombustibles, los cuales suponen la superación de dicha dependencia al petróleo, viéndose reflejada en la satisfacción de la demanda interna de combustibles en el país, prescindiendo de la importación de petróleo de otros países. Adicionalmente, la producción de biocombustibles

proporciona nuevos ingresos y oportunidades de empleo en zonas agropecuarias (Naik *et al.*, 2010), con lo cual se puede evitar la migración del campo a las ciudades, evitando la sobrepoblación, provocando un efecto positivo en la calidad de vida tanto de la comunidad rural como de la urbana.

Clasificación de los biocombustibles.

Dependiendo de la materia prima utilizada para la obtención de biocombustibles, éstos se clasifican en: primera generación, aquellos obtenidos de cultivos alimenticios como maíz, sorgo, trigo, cebada; segunda generación, a los producidos a partir de residuos de procesos agroindustriales o forestales (Antizar-Ladislao y Turrió-Gómez, 2008); y los de la tercera generación, que abarcan el biocombustible extraído a partir de microalgas y otras fuentes microbianas (Chisti, 2007; Patil *et al.*, 2008;).

Además de estos tipos de biocombustibles, existe la clase denominada biocombustibles de cuarta generación, la cual solamente existe en fase teórica, ya que solamente se conoce la posible ruta de síntesis, y se fundamenta en la utilización de bacterias genéticamente modificadas, capaces de transformar anhídrido carbónico (CO₂) en biocombustibles (Álvarez-Maciel, 2009). Actualmente, sólo se encuentra disponible a nivel comercial la tecnología de biocombustibles de primera generación, siendo los mayores productores de bioetanol: Brasil, que emplea caña de azúcar principalmente, y Estados Unidos, que utiliza maíz (Foust *et al.*, 2009; Martínez *et al.*, 2009;), lo cual provoca preocupación por el precio y el suministro de alimentos; por lo tanto, existe un interés mundial en el desarrollo de tecnologías para la producción de biocombustibles de segunda generación (Foust *et al.*, 2009). En México se deberán proponer programas de largo plazo para la utilización de caña de azúcar para la producción de bioetanol y su escalamiento progresivo para la sustitución de la gasolina por mezclas que contengan bioetanol (Viniegra, 2007).

Se espera que la tecnología de producción de etanol a partir de biomasa lignocelulósica esté completamente desarrollada en un lapso de cinco a diez años, reemplazando parcialmente al bioetanol de primera generación (Gnansounou y Dauriat, 2010).

De acuerdo a la composición final del biocombustible, se distinguen los siguientes: 1) Bioetanol: producido de la fermentación de azúcares, el cual constituye un sustituto de la gasolina y también puede servir como materia prima para el etil terbutil éter (ETBE) (Naik *et al.*, 2010). Es utilizado como un aditivo oxigenado para reducir las emisiones de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, tiene un índice de octano más alto que los combustibles derivados del petróleo y permite a los motores funcionar a mayores relaciones de compresión y por lo tanto dar un rendimiento neto superior. Además, presenta mayor presión de vapor y calor de vaporización que la gasolina, por consiguiente se presenta un aumento en la potencia de salida (Carere *et al.*, 2008). Puede emplearse de forma pura, o en disoluciones con gasolina, denominado con la letra E, combinada con un subíndice que indica el porcentaje de alcohol en la mezcla. Así, E100 designa alcohol puro (etanol azeotrópico consistente en 96% etanol puro con 4% de agua, la concentración más alta obtenible por destilación), mientras que E20 representa una mezcla de 20% etanol, 80% gasolina y así sucesivamente (Freudenberger, 2009). 2) Biodiesel: sustituto del diesel, producido mediante la transesterificación de aceites vegetales. 3) Biogás o biometano: puede ser producido por digestión anaeróbica de materia orgánica (abono) líquida, y puede ser utilizado en vehículos de gasolina con ligeras adaptaciones (Naik *et al.*, 2010).

Biocombustibles producidos a partir de biomasa vegetal.

La producción de bioetanol de segunda generación a partir de materiales lignocelulósicos y residuos de procesos agrícolas, forestales o industriales resulta prometedor para la producción de bioetanol como combustible, ya que muestra mayores ventajas en comparación con el bioetanol de primera generación en el ámbito ambiental y energético, y por ser residuos innecesarios en los procesos, tienen muy bajo costo, y además su utilización como materia prima no conduce a la competición por las fuentes de alimento (Olofsson *et al.*, 2008; Fujii *et al.*, 2009). Una importante característica de la biomasa celulósica es que es mucho más barata que la mayoría de las otras fuentes

de energía, además debe estar disponible en una escala muy grande para tener un impacto significativo sobre los retos de energía y sostenibilidad (Lynd *et al.*, 2008). Los residuos lignocelulósicos están compuestos por celulosa, hemicelulosa y lignina (Guarnizo-Franco *et al.*, 2009). La celulosa es un homopolímero de unidades repetidas de glucosa unidos por enlaces β -glucosídicos. La longitud de una molécula de celulosa se determina por el número de unidades de glucano presentes en el polímero, referido como grado de polimerización. El grado de polimerización de la celulosa, depende del tipo de planta, típicamente se estima que se encuentra entre 2000 y 27000 unidades de glucano (Taherzadeh *et al.*, 2007). La hemicelulosa es un heteropolímero compuesto por azúcares en cadenas cortas, lineares y altamente ramificadas. A diferencia de la celulosa compuesta solo por glucosa, la hemicelulosa está compuesta con D- xilosa, D- glucosa, D- galactosa, D- manosa y L- arabinosa. (Chandel *et al.*, 2007), además contiene cantidades menores de compuestos como grupos acetilo (Hamelinck *et al.*, 2005). La lignina es un polímero de subunidades aromáticas generalmente derivadas de fenilalanina. Sirve como una matriz alrededor de los polisacáridos que componen la pared celular de algunas plantas, proporcionando rigidez y fuerza de compresión, así como permeabilidad (Whetten y Sederof, 1995). La producción de etanol a partir de biomasa lignocelulósica incluye tres procesos principales: pretratamiento, hidrólisis y fermentación (Zheng *et al.*, 2010). El pretratamiento consiste en el rompimiento del escudo de lignina que limita la accesibilidad de las enzimas a la celulosa y hemicelulosa (Yang *et al.*, 2008), y altera el tamaño y estructura para facilitar la hidrólisis rápida y eficiente; puede llevarse a cabo mediante métodos físicos, químicos o biológicos (Zheng *et al.*, 2010). Es un punto crítico, ya que pueden formarse inhibidores como el 5-hidroximetil-furfural (HMF) y furfural (productos de degradación de hexosas y pentosas, respectivamente), además de ácidos orgánicos débiles y compuestos fenólicos por la degradación de la lignina (Erdei, 2010). Desde el punto de vista económico esta etapa es crítica, puesto que representa aproximadamente el 20% del costo total de producción de bioetanol (Kootstra *et al.*,

2009). La hidrólisis se refiere a los procesos que convierten los polisacáridos en azúcares monoméricos; la degradación eficiente de la biomasa lignocelulósica requiere la acción sinérgica de las enzimas celulolíticas endoglucanasa (EG), celobiohidrolasa (CBH) y b-glucosidasa (BGL), y algunas enzimas hemicelulósicas (Yamada *et al.*, 2011); los azúcares obtenidos son fermentados por microorganismos etanolgénicos (Zheng *et al.*, 2010). La levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la bacteria *Zymomonas mobilis* son los microorganismos convencionales para la fermentación de azúcares derivados de celulosa y hemicelulosa respectivamente (Saha *et al.*, 2005); de igual forma, se utilizan cepas recombinantes capaces de fermentar tanto pentosas como hexosas. Pueden aplicarse distintas configuraciones en el proceso de producción de etanol, incluyendo la hidrólisis y fermentación separadas (SHF), sacarificación y fermentación simultáneas (SSF), sacarificación y co-fermentación simultáneas (SSCF), y bioprocesamiento consolidado (CBP). Después de la fermentación, el etanol puede ser recuperado por destilación o destilación combinada con la adsorción o filtración (Zheng *et al.*, 2010).

Perspectivas futuras.


En la Unión Europea se ha ordenado que los biocombustibles cubran el 10% del consumo de combustible para el transporte para el año 2020. Además, Estados Unidos ha establecido como objetivo a corto plazo, que para el 2017 exista una reducción del 20% de la gasolina utilizada en el 2007, objetivo que debe cumplirse principalmente con el aumento de la producción de biocombustibles; de igual forma, se estableció el objetivo a largo plazo «30 x 30», que consiste en reemplazar el 30% de la demanda de gasolina del 2006 con biocombustibles para el año 2030 (Foust *et al.*, 2010). En México, se padece un rezago en materia de bioenergética, debido a que la producción de biocombustibles es prácticamente inexistente, es necesario trabajar a marchas forzadas para alcanzar el desarrollo en este rubro de países como Brasil o Estados Unidos, para satisfacer las demandas energéticas y evitar recurrir a la importación de recursos extranjeros.

Conclusiones

A pesar de que sustituir los combustibles fósiles por la alternativa sustentable sea un objetivo muy ambicioso, es imperativo que se lleve a cabo antes de ser alcanzados por la crisis energética y ecológica, y no sea posible abastecer las demandas y restaurar el daño ambiental ocasionado por el uso intensivo de dichos combustibles. La producción a gran escala de biocombustibles puede tener repercusiones positivas en el desarrollo económico y social del país; asimismo, el uso de estos recursos evita favorecer el cambio climático a diferencia de su análogo derivado del petróleo. Actualmente, la comercialización del bioetanol ya se realiza en varios países, sin embargo, el mercado está dominado por la producción de primera generación. La producción de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica tiene potencial para competir en el campo energético, sin embargo se encuentra aún en progreso, y aunque se han logrado avances en investigación en esta área, falta camino por recorrer; por tal razón es primordial hacer uso de la biotecnología para establecer procesos rentables y ecológicamente sustentables, que lleven a la producción de biocombustible de segunda generación, y así evitar la competición con fuentes de alimento y la sobreexplotación de tierras de cultivo. En nuestro país no se han logrado avances significativos con relación al tema de biocombustibles; desde febrero de 2008 se cuenta con la “Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos” (Reglamento de la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos, 2009), con la cual se espera promover y desarrollar la producción de estos recursos, para lograr estar a la vanguardia en materia de bioenergética y desarrollo sustentable.

Literatura citada

- ÁLVAREZ-MACIEL, C. 2009. Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico, mercados actuales y comercio internacional. *Economía Informa*. 359:63-89.
- ANTIZAR-LADISLAO, B., y J.L. Turión-Gómez. (2008) Second generation biofuels and local bioenergy systems. *Biofrp*. 2:455-469.
- CARERE, C.R., R. Sparling, N. Cicek, y D.B. Levin. 2008. Third generation biofuels via direct cellulose fermentation. *Int. J. Mol. Sci*. 9: 1342-1360.
- CHANDEL, K. A., E.S. Chan, R. Rudravaram, M.L. Narasu, V. Rao y P. Ravindra. 2007. Economics and environmental impact of bioethanol production technologies: an appraisal. *Biotechnol. Mol. Biol. Rev.* 2:14-32.

- CHISTI, Y. 2007. Biodiesel from microalgae. *Biotechnol Adv.* 25:294-306.
- ERDEI, B., Z. Barta, B. Sipos, K. Réczey, M. Galbe, y G. Zacchi. 2010. Ethanol production from mixtures of wheat straw and wheat meal. *Biotechnol. Biof.* 3:16-25.
- FOUST, T.F., A. Aden, A. Dutta y S. Phillips. 2009. An economic and environmental comparison of a biochemical and a thermochemical lignocellulosic ethanol conversion processes. *Cellulose.* 16:547-565.
- FREUDENBERGER, R. 2009. Alcohol fuel: a guide to small-scale ethanol: making and using ethanol as a renewable fuel. Gabriola Island, BC, *New Society Pub.* 13-15 Pp
- FUJII, T., X. Fang, H. Inoue, K. Murakami y S. Sawayama. 2009. Enzymatic hydrolyzing performance of *Acremonium cellulolyticum* and *Trichoderma reesei* against three lignocellulosic materials. *Biotechnol. Biofuels.* 2:24-32.
- GNANSOUNOU, E. y A. Dauriat. 2010. Techno-economic analysis of lignocellulosic ethanol: A review. *Biores. Technol.* 101:4980-4991.
- GUARNIZO-FRANCO, A., P.N. Martínez-Yépes y H.A. Valencia-Sánchez. 2009. Pretratamientos de la celulosa y biomasa para la sacarificación. *Scientia et Technica.* 42: 284-289.
- HAMELINCK, C.N., G. Van-Hooijdonk y A.P.C. Faaij. 2005. Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short-, middle- and long-term. *Biomass Bioenergy.* 28:384-410.
- HAVLIK, P., U.A. Schneider, E. Schmid, H. Bottcher, S. Fritz, R. Skalský, K. Aoki, S. DeCara, G. Kindermann, F. Kraxner, S. Leduc, I. McCallum, A. Mosnier, T. Sauer y M. Obersteiner. 2010. Global land-use implications of first and second generation biofuel targets. *Energy Policy.* 102-104 pp.
- KOOTSTRA, A.M.J., H.H. Beefink, E.L. Scott y J.P.M. Sanders. 2009. Optimization of the dilute maleic acid pretreatment of wheat straw. *Biotechnol. Biofuels.* 2:31-45.
- LI, Y., M. Horsman, N. Wu, C.Q. Lan y N. Dubois-Calero. 2008. Biofuels from microalgae. *Biotechnol. Prog.* 24:815-820.
- LYND, L.R., M.S. Laser, D. Bransby, B.E. Dale, B. Davison, R. Hamilton, M. Himmel, M. Keller, J.D. McMillan, J. Sheehan y C.E. Wyman. 2008. How biotech can transform biofuels. *Nat. Biotechnol.* 26:169-172.
- MAAS, R., R.R. Bakke, A.R. Boersma, I. Bisschops, J.R. Pels, E. Jong, R.A. Weusthuis y H. Reith. 2008. Pilot-scale conversion of lime-treated wheat Straw into bioethanol: quality assessment of bioethanol and valorization of side streams by anaerobic digestion and combustion. *Biotechnol. Biofuels.* 1:1-13.
- MARTÍNEZ, A.L., E. Ocaranza-Sánchez y E. López-López. 2009. Alternativas para la producción de biocombustibles en México. *Ide@s CONCYTEG.* 54:1234-1245.
- NAIK, S.N., V.V. Goud, P.K. Rout y A.K. Dalai. 2010. Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review. *Renewable Sustainable Energy Review.* 14:578-597.
- OLOFSSON, K., M. Bertilsson y G. Lidén. 2008. A short review on SSF- an interesting process option for ethanol production from lignocellulosic feedstocks. *Biotechnol. Biofuels.* 1:7.
- Reglamento de la ley de promoción y desarrollo de los bioenergéticos. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Reglamento publicado en el Diario Oficial de la Federación el 18 de junio de 2009. 20 pp.
- SAHA, B.C., L.B. Iten, M.A. Cotta y Y.V. Wu. 2005. Dilute acid pretreatment, enzymatic saccharification and fermentation of wheat straw to ethanol. *Proc. Biochem.* 40:3693-3700.
- SANDERS, J., E. Scott, R.A. Weusthuis y Mooibroek. 2007. Bio-refinery as the bio-inspired process to bulk chemicals. *Macromol. Biosci.* 7:105-117.
- SHEEHAN, J. y M. Himmel. 1999. Enzymes, energy, and the environment: A strategic perspective on the U.S. department of energy's research and development activities for bioethanol. *Biotechnol. Prog.* 15: 817-827.
- SUN, Y. y J. Cheng. 2002. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Biores. Technol.* 83: 1-11.
- TAHERZADEH, M.J. y K. Karimi. 2007. Acid-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials: a review. *BioRes.* 2:472-479.
- WHETTENA, R. y R. Sederoffa. 1995. Lignin biosynthesis. *Plant Cell.* 7:1001-1013.
- YAMADA, R., N. Taniguchi, T. Tanaka, C. Ogino, H. Fukuda y A. Kondo. 2011. Direct ethanol production from cellulose materials using a diploid strain of *Saccharomyces cerevisiae* with optimized cellulase expression. *Biotechnol. Biof.* 4:8-16.
- YANG, B. y C.E. Wyman. 2008. Pretreatment: The key to unlocking low-cost cellulosic ethanol. *Biofpr.* 2:26-40.
- ZHENG, Y., Z. Pan y R. Zhang. 2009. Overview of biomass pretreatment for cellulosic ethanol production. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 2:51-68.
- ZHU, Z., N. Sathitsuksanoh, T. Vinzant, D.J. Schell, J.D. McMillan y Y.-H.P. Zhang. 2009. Comparative study of corn stover pretreated by dilute acid and cellulose solvent-based lignocellulose fractionation: enzymatic hydrolysis, supramolecular structure, and substrate accessibility. *Biotechnol. Bioengineering.* 103:715-724. 

Este artículo es citado así:

Castillo-Vázquez, N. P., T. Siqueiros-Cendón y Q. Rascón-Cruz. 2011: *Biocombustibles: estrategias limpias para combatir la crisis energética*. *TECNOCENCIA Chihuahua* 5(1): 61-66.

Resúmenes curriculares de autor y coautores

PAOLA CASTILLO VÁZQUEZ. Terminó su licenciatura en el 2008, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero Bioquímico especialidad en alimentos por el Instituto Tecnológico de Durango. Actualmente es pasante de Maestría en Ciencias en Biotecnología de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Ha participado en congresos como el VII Encuentro Latinoamericano y del Caribe sobre biotecnología agropecuaria 2010, Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería 2011, y en el Simposio Internacional sobre tecnologías convencionales y alternativas en el procesamiento del maíz 2011.

TANIA SIQUEIROS CENDÓN. Terminó su licenciatura en 2002, recibiendo el título de Química Bacterióloga Parasitóloga con Mención Honorífica por la Facultad de Ciencias Químicas de la UACH. Obtuvo el grado de Maestra en Ciencias en Biotecnología también con mención Honorífica en el 2006. Desde el 2002 labora en la Facultad de Ciencias Químicas de la UACH como responsable del departamento de secuenciación y en 2010 se incorporó a la Facultad como Profesor de Tiempo Completo. En 2009 recibió por parte de Gobierno del Estado de Chihuahua el premio Chihuahua en la categoría de Ciencias Biológicas. Su área de especialidad es la Biología Molecular, Inmunología y Microbiología. Ha sido asesora de 6 tesis de Licenciatura y 10 Tesis de Maestría. Ha presentado varios trabajos de investigación a nivel Nacional e Internacional. Es autora de aproximadamente 4 artículos científicos, más de 15 ponencias en congresos, y 1 capítulo de libro científico.

QUINTÍN RASCÓN CRUZ. Terminó su licenciatura en 1992, como Químico Bacteriólogo Parasitólogo por la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Realizó estudios de posgrado como Maestro en Ciencias en Inmunología en UACH/FCQ y obtuvo el doctorado en Biotecnología de Plantas por el CINVESTAV Irapuato en 2003. Actualmente labora en la Facultad de Ciencias Químicas de la UACH y posee la categoría de Académico titular C. Ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel I desde 2003. Su área de especialización es Biotecnología en plantas. Ha dirigido 11 tesis de licenciatura, 16 de maestría y 2 de doctorado. Es autor de aproximadamente 25 artículos científicos, más de 45 ponencias en congresos, y 2 capítulos de libros científicos; además ha recibido distinciones nacionales y estatales por sus trabajos de investigación (Premio Chihuahua 1997 y 2003), Premio Alfredo Sánchez Marroquín 2004; ha dirigido 5 proyectos de investigación financiados por fuentes externas. Es evaluador de proyectos de investigación del Conacyt (Fondos institucionales, mixtos y sectoriales) y Fundación Produce Chihuahua, es revisor del seguimiento de los Fondos sectoriales Sagarpa-Conacyt, y es coordinador del Consejo Consultivo Científico de la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados 2009-2011.