PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A BASE DE BIOMASA LIGNOCELULÓSICA

ELVA LORENA VÁZQUEZ MONTOYA[1], EUSEBIO NAVA PÉREZ[1], SILVIA LUNA SUÁREZ[2], CLAUDIA CASTRO MARTÍNEZ[1].

[1] CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa, Depto. Biotecnología Agrícola, Blvd. Juan de Dios Bátiz Paredes Num.250, Col. San Joachin, Guasave, Sin. C.P. 81101, México. Tels.: 01-687-87296-25 y 26, Ext. 87684.

[2] CIBA-IPN Tlaxcala, Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal Tecuexcomac-Tepetitla Km 1.5, Tlaxcala C.P. 90700, México. Tels.: 01-248-48707-65 y 66 Conmutador IPN: 5729 6000, Ext. 87814.

RESUMEN

En la actualidad a nivel comercial el bioetanol se obtiene como producto de fermentación de materias azucaradas y amiláceas, es una alternativa como combustible líquido para el sector del transporte aunque de momento no puede sustituir totalmente a la gasolina, pero si puede ser incluido en mezclas con esta y su combustión es amigable con el ambiente. La producción de bioetanol se puede clasificar en base a la materia prima utilizada como: primera, segunda y tercera generación. Los de primera generación dependen de cultivos alimenticios, esto genera la necesidad de producir bioetanol de segunda generación el cual requiere de insumos a base de biomasa lignocelulósica incluyendo los residuos industriales, de cultivos y madera, así como cultivos energéticos, los cuales son abundantes y no pone en riesgo la seguridad alimentaria. En la actualidad producir bioetanol con biomasa lignocelulósica es un gran reto tecnológico para llevar a cabo los cuatro pasos principales en su producción: 1) pretratamiento para deslignificar y exponer la celulosa, 2) hidrólisis celulolítica, 3) fermentación alcohólica y 4) purificación/ separación del producto. Un inconveniente en el proceso es la baja actividad específica y eficacia de las enzimas comercializadas para degradar la celulosa, aumentando el costo de producción de estos complejos enzimáticos. A nivel mundial se está realizando investigación para solucionar los desafíos de producir bioetanol de segunda generación y llevarlo a nivel comercial para cubrir la escases del combustible fósil con un recurso renovable.

PALABRAS CLAVE : Biocombustible, bioetanol, biomasa lignocelulósica

ABSTRACT

Currently commercially bioethanol is produced as a product of fermentation of sugary and starchy materials, as an alternative liquid fuel for the transport sector but for now cannot fully replace gasoline, but it can be included in mixtures with this and its combustion is environmentally friendly. Bioethanol production described above is classified in first generation feedstock depends on food crops, this creates the need to produce second-generation bioethanol which requires inputs based on lignocellulosic biomass including industrial waste, crop and wood and energy crops, which are plentiful and not put food security at risk. Currently bioethanol with lignocellulosic biomass is a major technological challenge to perform the four major steps in its production: 1) pretreatment for expose the cellulose, 2) cellulolytic hydrolysis, 3) alcoholic fermentation and 4) purification/ separation product. A disadvantage of the process is the low specific activity and effectiveness of the enzymes to degrade cellulose marketed, increasing the cost of production of these enzyme complexes. Worldwide research is being done to solve the challenges of producing second-generation bioethanol and take commercially to meet a renewable resource with the scarcity of fossil fuel.

KEY WORDS: Biofuel, bioethanol, lignocellulosic biomass.

Bioenergía

La bioenergía ha sido el gran recurso bioenergético de la humanidad en su evolución a lo largo de los siglos, hasta la llegada de la revolución industrial, y sigue siendo un recurso esencial en los países menos desarrollados. Este tipo de energía se replantea como apuesta tecnológica de futuro a escala global, principalmente para suplir el vacío de los combustibles fósiles y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. La bioenergía derivada de materias primas celulósicas (incluyendo los residuos industriales, de cultivos y madera, así como cultivos energéticos y no sustratos alimenticios, como maíz o caña de azúcar) es particularmente prometedor para aumentar el suministro de energía renovable (Carroll y Somerville, 2009; Liang *et al.*, 2012). La biomasa lignocelulósica es una fuente de materia prima renovable, abundante e inagotable, es rica en azúcares complejos, que pueden ser convertidos a combustible líquido para el transporte y otros productos químicos utilizando estrategias que incluyen la degradación de los carbohidratos complejos y una subsiguiente fermentación de los azúcares simples. La mayoría de la biomasa lignocelulósica (70% aproximadamente) esta compuesta de: celulosa, hemicelulosa, y lignina (O'Donovan *et al,* 2013; Abramson et al, 2010.; Somerville *et al.*, 2010).. Particularmente, la celulosa se propone como materia prima para la producción de bioetanol, sustituto de la gasolina producida a partir del petróleo.

La organización estructural de estos polímeros en la pared celular vegetal hace que tales materias primas sean de difícil conversión en la producción de bioetanol en comparación con el almidón. No obstante, la biomasa lignocelulósica es prácticamente inagotable y es ahora el objetivo primordial para la producción comercial de biocombustibles y requiere de avances en muchas áreas de la ciencia y de la ingeniería. (Sarkar *et al.*, 2012, O'Donovan et al., 2013).

Biocombustibles

La Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos en México define como biocombustibles a los carburantes obtenidos de la biomasa provenientes de materia orgánica de las actividades agrícola, pecuaria, silvícola, acuacultura, algacultura, residuos de la pesca, domésticos, comerciales, industriales, de microorganismos y de enzimas, así como sus derivados producidos por procesos tecnológicos sustentables (SAGARPA, 2011). La producción mundial de biocombustibles líquidos destinados al transporte aumentó de 16 mil millones de litros en el año 2000 a más de 100 mil millones de litros en el año 2011. En la actualidad, alrededor del 3% del combustible utilizado en el transporte por carretera, proviene de los biocombustibles biodiésel y bioetanol, y la proporción de estos es considerablemente más alta en algunos países (por ejemplo: en 2009 Brasil produjo el 23%); según la Agencia Internacional de Energía (AIE), en el 2050 hasta el 27 % del total del combustible para transporte podría provenir de biocombustibles (FAO, 2013).

Según la AIE los biocombustibles líquidos se pueden clasificar en:

1) Primera generación. Son los que actualmente se producen a nivel comercial a partir de azúcar de caña y maíz. En general, dependen de cultivos que utilizan técnicas similares a las cosechas agrícolas alimenticias.

2) Segunda generación o lignocelulósicos. No compiten por la utilización de suelos agrícolas, sino que son producidos a partir de biomasa lignocelulósica como la contenida en la paja, hierba, tallos, caña, raíces, madera, cáscaras, etc. Estos biocombustibles se encuentran en la fase pre-comercial.

3) Tercera generación. Son los biocombustibles provenientes de algas y otros microorganismos, así como el hidrógeno procedente de la biomasa. Aún se encuentra en la fase de desarrollo, muy lejos de su producción a gran escala y comercialización a corto plazo.

Uno de los biocombustibles que ha cobrado mayor importancia en los últimos años a nivel mundial es el bioetanol, producto principalmente a base de maíz y caña y cuya producción encabezan Estados Unidos y Brasil. El biodiesel en cambio se obtiene principalmente en Europa a partir por lo general de cultivos oleaginosos como colza, soya, canola y girasol. Actualmente en México el mercado para los biocombustibles tiene dos grandes vías de comercialización, la primera es la demanda que Petróleos Mexicanos (PEMEX) generara al comenzar a adquirir bioetanol o biodiesel para la oxigenación y venta de sus combustibles al público en general, la segunda es la exportación a mercados donde la demanda será superior a su capacidad instalada de producción; en este caso, Estados Unidos representa un mercado potencial por la alta demanda que existe para bioetanol, la cual obedece a la necesidad de cumplir con los mandatos establecidos en su legislación vigente en materia de uso de energías y combustibles de origen renovable (SAGARPA, 2011).

Bioetanol

El etanol o alcohol etílico (CH3-CH2-OH) es el más común de los alcoholes líquidos y se caracteriza por ser un compuesto líquido, incoloro volátil, inflamable y soluble en agua. Este puede ser obtenido sintéticamente a partir del petróleo, o por conversión de materiales derivados de la biomasa, a través de la fermentación de sus azúcares o de ingredientes que se convierten en azúcar como el almidón, éste es el método más simple de producirlo y se le llama bioetanol. En Brasil y otros países tropicales que actualmente producen etanol, la materia prima más utilizada es la caña de azúcar, mientras que los países de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) utilizan la

remolacha azucarera y el componente feculento de los cereales como maíz, trigo, cebado, centeno, además de las papas y la yuca. No obstante, esta materia prima representa solo una pequeña parte de la masa vegetal total. En la mayoría de los casos, la materia vegetal se compone de celulosa, hemicelulosa y lignina; las dos primeras se pueden convertir en alcohol una vez convertidas en azúcar, aunque este procedimiento es más difícil que el de convertir almidón en azúcar simple por ejemplo, glucosa. Actualmente se utilizan una amplia gama de cultivos como materia prima para producir bioetanol y biodiésel (Figura 1). Aunque, la producción mundial de bioetanol se deriva de la caña de azúcar o el maíz compitiendo con la producción alimentaria (Cuadro 1). A pesar de que el bioetanol se ha utilizado mayoritariamente como base en la producción de bebidas alcohólicas, tales como cervezas, vinos, licores, etc. tiene además una serie de aplicaciones en la industria química, farmacéutica, y más recientemente como combustible para automóviles. El bioetanol ha sido usado como combustible automotor desde el nacimiento de los automóviles. En 1894, mientras Louis Renault, Armand Peugeot, Herbert Austin, Henry Ford, Karl Benz y otros intentaban adaptar el motor de combustión interna recientemente inventado en vehículos, simultáneamente en Francia y Alemania se investigaba como llevar a cabo la utilización del etanol en estos motores. Desde entonces y hasta nuestros días, el uso de este alcohol en vehículos automotores ha tenido un considerable avance, principalmente porque su uso reduce la dependencia del petróleo, disminuye emisiones contaminantes y se amplían las fuentes de energía alternativas para uso automotor (CONAE, 2014).

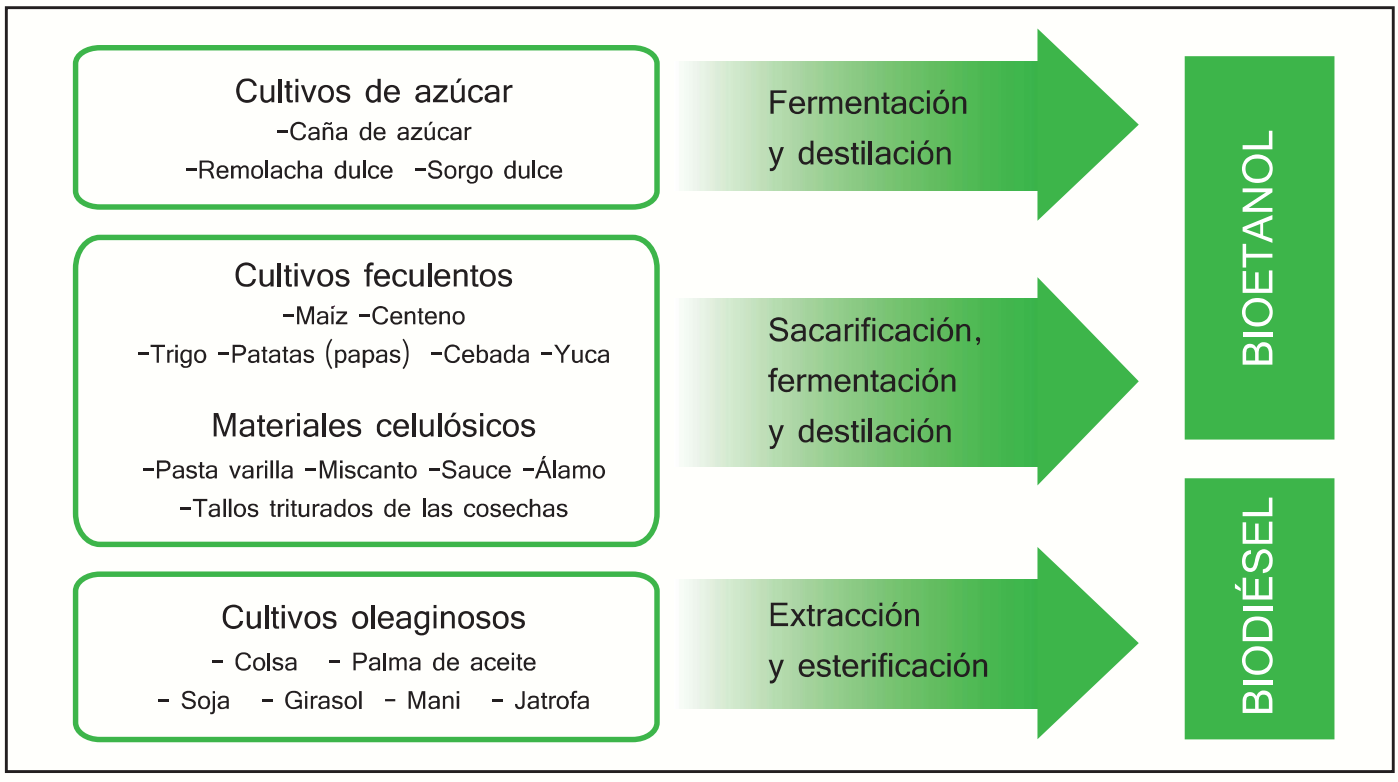

Figura 1. Conversión de materias primas agrícolas a biocombustibles líquidos (FAO, 2008).

Como biocombustible el etanol requiere tener por lo menos 99.5 grados Gay Lussac y puede ser empleado directamente como combustible o como un añadido a la gasolina en distintas concentraciones. La mezcla más común es para oxigenar a la gasolina, en una concentración de alrededor de 5%, remplazando a un oxigenante llamado éter metil terbutílico (MTBE), que es altamente contaminante del suelo y del agua subterránea.

Cuadro 1. Rendimientos de algunas materias primas en la producción de etanol (Sánchez y Cardona, 2008).

Operador	Lugar	Capacidad de etanol (Ton / Año)	Escala	Estatus
Abengoa, Bioenergy	Salamanca, España	4 000	Demo	BC
BioGasol	Bornholm, Dinamarca	4 000	Demo	P
DTU, BioGasol	Copenhague	10	Piloto	OP
SEKAB	Örnsköldsvik, Suecia1	00	Piloto	OP
	Örnsköldsvik, Suecia4	500	Demo	P
	Örnsköldsvik, Suecia	50 000	Demo	P
	Örnsköldsvik, Suecia1	20 000	Comercial	P
Inbicon, DONG Energy	Fredericia, Dinamarca	110	Piloto	OP
	Fredericia, Dinamarca	1 100P	iloto	OP
	Kalundborg, Dinamarca	4 000	Demo	BC
Procetol 2G, Futurol	Pomacle, Francia1	40P	iloto	BC
	Pomacle, Francia2	840	Demo	P
Düd-Chemie	Münich, Alemania2		Piloto	OP

El etanol puede mezclarse con gasolina o quemarse puro en motores de encendido por chispa ligeramente modificados. Un litro de etanol contiene aproximadamente el 66 % de la energía suministrada por un litro de petróleo, pero posee un nivel más elevado de octanaje y, mezclado con gasolina para el transporte, mejora el rendimiento de esta última. Optimiza el consumo de combustible en los vehículos, reduciendo la emisión de monóxido de carbono, hidrocarburos sin quemar y carcinógenos. No obstante, la combustión de etanol también provoca una reacción más fuerte con el nitrógeno de la atmósfera, lo que puede provocar un aumento marginal de los gases de óxido de nitrógeno. En comparación con la gasolina, el etanol contiene solo una cantidad ínfima de azufre. Por tanto, la mezcla de etanol con gasolina ayuda a reducir el contenido de azufre del combustible y, por consecuencia, bajan las emisiones de óxido de azufre, componente de la lluvia ácida y carcinógeno (FAO, 2008).

La biomasa lignocelulósica utilizada como materia prima para la producción de bioetanol de segunda generación, está compuesta de polisacáridos (celulosa y hemicelulosa), lignina y una pequeña fracción restante de ácidos, sales minerales y cenizas (Fang *et al.*, 2010). La celulosa (20-50%) y la hemicelulosa (20-35%), las cuales son de vital interés en la producción de etanol, comprenden las dos terceras partes de la biomasa seca (Kumar *et al.*, 2009). La primera de ellas es un polímero formado por la unión de moléculas β-1,4-O-glucosídico mientras la última corresponde a un polímero de pentosas, sobre todo de D-xilanosa y de otros azúcares como arabinosa, galactosa, glucosa y manosa (Mosier *et al.*, 2005). Mientras que

la lignina (10-35%) es un material que brinda rigidez a la biomasa (Kumar *et al*., 2009).

El proceso de producción de bioetanol a partir de material lignocelulósico en general consta de cuatro pasos principales: 1) pretratamiento, 2) hidrólisis, 3) fermentación y 4) purificación/separación del producto. El pretratamiento es necesario para alterar la estructura y el tamaño macroscópico y microscópico de la biomasa, así como también su composición y estructura química submicroscópica (Yang y Wyman, 2001). De esta forma, la hidrólisis de la fracción carbohidratada a monómeros de azúcar puede ser alcanzada de manera más rápida y con conversiones considerables. En otras palabras, se busca hidrolizar la hemicelulosa, solubilizar la lignina y liberar la celulosa (Fang et al., 2010; Sukumaran *et al*., 2009; Wyman *et al*., 2005). Antes de que ocurra la hidrólisis celulolítica se realiza un proceso de desintoxicación de los componentes resultantes del pretratamiento por separación o adición de compuestos, con el objetivo de evitar la inhibición de los agentes biológicos en las etapas de hidrólisis y fermentación (Cardona y Sánchez, 2006).

En la hidrólisis de la celulosa, ocurre la conversión de los polímeros carbohidratados a monómeros de azúcar. En la hidrólisis enzimática, la celulosa es transformada en azúcares de seis carbonos (hexosas) como glucosa, galactosa y manosa, las cuales pueden ser fermentadas a etanol por varios microorganismos. Por otro lado, los azúcares de cinco carbonos (pentosas) como xilosa y arabinosa, son inmediatamente fermentadas por algunas cepas nativas, usualmente con baja conversión (Sukumaran *et al*., 2009). Aquellas pentosas que no se pueden fermentar

Cuadro 2.Plantas comerciales, piloto y proyectadas para la producción de bioetanol de segunda generación en Europa (Gnansounou, 2010).

Autor y año	Materia prima	Metodología	Producción de Étanol
Kuhad et al., 2010	Periódico	Hidrólisis enzimática: coctel comercial de exoglucanasas, β-glucosidasa y xylanasa. Tipo de fermentación: batch y fed-batch con Saccharomyces cerevisiae.	Batch: 5.64 g/L Fed-batch: 14.8 g/L
Cervereó et al., 2010	Residuo de almendra prensada de Palma	Hidrólisis enzimática: enzimas comerciales. Tipo de fermentación: batch con S. cerevisiae.	12.5 g/L
Quevedo et al., 2012	Crisantemo Dendranthema grandiflora	Hidrólisis: Pleurotus ostreatus Fermentación: batch con S. cerevisiae.	7.6 ± 0.24 g /L
Kim et al., 2013	Alcachofa de Jarusalem Helianthus tuberosus L.	Pretratamiento: H2SO4 0.1 a 8.0 % (v/v) y álcali. Hidrólisis enzimática: celulasa Cellic ® CTec2. Sacarificación y fermentación simultánea: batch y fed-batch con Kluyveromyces marxianus CBS1555.	Batch: 29.1 g/L Fed-batch: 70.2 g/L

BC: Bajo Construcción. P: Planeado
OP: Operacional

en el paso anterior de xilosa y arabinosas, son fermentadas a etanol por *Saccharomyces pombe, S. cerevisiae y S. amucae* (Cardona y Sánchez, 2006).

Finalmente, las corrientes resultantes de la fermentación es una mezcla de bioetanol, lignina residual, hemicelulosa y celulosa que no reaccionaron, cenizas, enzimas, microorganismos, entre otros componentes y agua. El producto antes mencionado es purificado por procesos de destilación o con la utilización de membranas, generando un bioetanol de alta pureza. En el Cuadro 2 se presentan las plantas piloto, comerciales y proyectadas para la producción de bioetanol de segunda generación en Europa al 2010.

El costo de producción de los biocombustibles, el impacto ambiental, la sustentabilidad y la calidad de estos en relación con los combustibles fósiles son consideraciones esenciales a analizar dentro de las perspectivas de la producción de bioetanol. En América del Norte las especies forrajeras perenes son una fuente de materia prima prometedora para los biocombustibles de segunda generación, debido a su bajo requerimiento de agua e insumos, su impacto ambiental es positivo, su alta capacidad de adaptación a las tierras de baja calidad y a la no competencia con la producción de alimentos en las tierras de mejor calidad (Vijai et al., 2013). La sostenibilidad de la

QUÍMICA VALANER

A lo largo de nuestra historia, Química Valaner, se ha consolidado como una empresa líder en la introducción y comercialización de tecnologías de amplio reconocimiento en el mundo, siendo nuestra premisa ser un pilar para el alcance de los objetivos de nuestros clientes, donde la disponibilidad de tecnologías de punta, no sean una limitante.
Además, siempre responsable de la preservación del medio ambiente, Química Valaner, ha incorporado a México, lo último en tecnologías ecológicas, cuyos desechos no representen un peligro de contaminación.

Actualmente, los equipos, insumos, instrumentos y reactivos que comercializa Química Valaner, cubren tres campos clave de desarrollo tecnológico de nuestro país:

•Investigación y enseñanza Científica básica
•Investigación y diagnóstico molecular
•Diagnóstico clínico

Para Química Valaner, el compromiso de máxima satisfacción de nuestros clientes, es la constante que nos guía, integrando un robusto equipo de asesores y ejecutivos de ventas, con el ideal de brindar un servicio integral y personalizado, acorde a los requerimientos y objetivos de nuestros clientes.

QUIMICA VALANER
affymetrix
Seegene
ANI Labsystems
stratec molecular
DRAGONLAB
GYROZEN
eurofins mwg|operon
NEW ENGLAND BioLabs Inc.
HyClone
DeNovix
biosan Medical-Biological Research & Technologies
Cell Signaling TECHNOLOGY
Biotium
Biometra
INTEGRA
Fluidigm
Thermo SCIENTIFIC Pierce Protein Research Products
LI-COR Biosciences
SSI Innovations for Life Science

bioenergía de segunda generación se está impulsado y apoyado en Europa dentro de programas de certificación internacional, incluida la Dirección de Energías Renovables 2009/28/CE (EU-RED), la Sostenibilidad Internacional y Certificación del Carbono, la mesa redonda sobre Biocombustibles Sostenibles y la Asociación Mundial de la Bioenergía (Scarlat y Dallemand, 2011). A nivel mundial estudios han sido realizado sobre la producción de bioetanol utilizando diferentes materias primas lignocelulósicas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Producción de bioetanol de segunda generación de manera experimental.

Cultivo	Rendimiento agrícola (Ton / ha)	Rendimiento de etanol	
		Litros etanol / Ton	Litros etanol / ha
Caña	100	70	7 000
Bagazo de caña	27	140	3 780
Maíz	8	370	5 003
Bagazo de maíz	9	227	2 043
Yuca	20	180	3 600
Sorgo dulce	35	86	3 010
Remolacha	60	100	6 000

Es probable que debido a varios factores, incluyendo la necesidad de eficiente tecnologías de conversión, la resistencia de los agricultores a plantar especies sin un mercado viable de bioenergía y de construir biorefinerías comerciales sin suministro de materia prima viable a largo plazo, sean los elementos que limitan la producción a nivel industrial de los biocombustibles de segunda generación (Mitchell et al., 2012). Otro inconveniente es la baja actividad específica y eficacia de las enzimas comercializadas hasta el momento para degradar la lignocelulosa y los altos costos de producción de estos complejos enzimáticos. Las enzimas son uno de los principales pilares necesarios para un futuro sostenible del bioetanol, la apasionante tarea de los últimos años sugiere que hay muchos caminos viables a seguir para mejorar aún más en el ámbito de los biocombustibles de segunda generación (Harris et al., 2014).

Finalmente, cabe mencionar que existen grandes desafíos para reducir los costos en la producción de bioetanol, muchos de los cuales pueden ofrecer importantes oportunidades para la investigación y la innovación. En particular, en el Laboratorio de Biocombustibles del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa) del Instituto Politécnico Nacional, se están realizando estudios sobre la utilización de la biomasa lignocelulósica de algunos residuos de cultivos vegetales como maíz y moringa, así como de diversos microorganismos con capacidad celulolítica, para contribuir al avance de los retos biotecnológicos dentro de la producción de bioetanol de segunda generación.

Referencias

Abramson, M., Shoseyov, O., y Shani, Z. (2010). Plant cell wall reconstruction toward improved lignocellulosic production and processability. Plant Science 178: 61-72.

Cardona, C. A. y Sánchez, O. J. (2006). Energy consumption analysis of integrated flowsheets for producti6n of fuel ethanol from lignocellulosic biomass. Energy, 31:2447-2459.

Carroll, A. y Somerville, C. (2009) Cellulosic biofuels. Annu Rev Plant Biol 60:165–182. doi:10.1146/annurev.arplant.043008.092125

Cerveró, J. M., Skovgaard, P. A., Felby, C., Sørensen, H. R. y Jørgensen, H. (2010). Enzymatic hydrolysis and fermentation of palm kernel press cake for production of bioethanol. Enzyme Microbial Technology, 46(3–4):177–184.

Choudhary, S., Liang, S., Cai, H., Keoleian, G. A., Miller, S. A., Kelly, J., y Xu, M. (2014). Reference and functional unit can change bioenergy pathway choices. Int J Life Cycle Assess 19:796–805. DOI 10.1007/s11367-013-0692-z. En: EPA (2012) Emissions & Generation Resource Integrated Database (eGRID). U.S. Environmental Protection Agency,Washington D.C.

CONAE, 2014. Comisión Nacional para el Ahorro de Energía. Ficha técnica: Vehículos con Etanol. http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/466/1/images/vehiculoetanol.pdf

Fang, X., Shen, Y., Zhao, J., Bao, X. y Qu, Y. (2010). Status and prospect of lignocellulosic bioetanol production in China. Bioresource Technology, 101: 4814-4819.

FAO (2008). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades. En: El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Pag. 3-80.

FAO (2013). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. La bioenergía y los biocombustibles, vías de las sostenibilidad. http:// www.fao.or/ bionergy/28392-0a61de8f511d0a4do8b2137bc929214a7.pdf

Gnansounou, E. (2010). Production and use of lignocellulosic bioetanol in Europe: Current situation and perspectives. Bioresuource Technology, 101: 4842-4850.

Harris, P. V., Xu1, F., Kreel, N. E., Kang, C. y Fukuyama, S. (2014). New enzyme insights drive advances in commercial ethanol production. Chemical Biology 19:162–170

Quevedo, H. B., Monsalve, M. F., Narváez, R. P., Pedroza, R. A. y Velázquez, L. M. (2012). Ethanol production by Saccharomyces cerevisiae using lignocellulosic hydrolysate from Crysanthemum waste degradation. World Journal Microbiology and Biotechnology, 29:459-466.

Kim, S., Park, J. M. y Kim C. H. (2013). Ethanol production using whole plant biomass of Jerusalem artichoke by Kluyveromyces marxianus CBS1555. Applied.Biochemistry and Biotechnology, 169:1531-1545.

Kuhad, R. C., Mehta, G., Gupta, R. y Sharma, K. K. (2010). Fed batch enzymatic saccharification of newspaper cellulosics improves the sugar content in the hydrolysates and eventually the ethanol fermentation by Saccharomyces cerevisiae. Biomass Bioenergy, 34(8):1189–1194.

Kumar, S., Singh, S. P., Mishra, I. M. y Adhikari, D. K. (2009). Recent Advances in production of bioetanol from lignocellulosic biomass. Chemical Engineering Technology, 32: 517-526.

Liang, S., Xu, M. y Zhang, T. (2012). Unintended consequences of bioethanol feedstock choice in China. Bioresour Technology 125:312–317. doi:10.1016/j.biortech.2012.08.097

Mitchell, R., Vogel, K., P. y Uden, D. R. (2012). The feasibility of switchgrass for biofuel production. Biofuels 3, 47 Mitchell, Rob, Vogel Kenneth, P., Uden, Daniel R., 2012. The feasibility of switchgrass for biofuel production. Biofuels 3: 47-59.

Mosier, N., Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Lee, Y. Y., Holtzapple, M. y Ladisch, M. (2005). Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. Bioresource Technology, 96: 673-686.

O'Donovan, A., Gupta, V.K. y Tuohy, M.G. (2013). Recent updates in acid pretreatments and SEM analysis of acid pretreated grass biomass. In: Gupta, V.K., Tuohy, M.G. (Eds.), Biofuel Technologies; Recent Developments. Springer Science Publishers, USA, pp. 97- 118.

Sánchez, O. y Cardona, C. (2008). Trends in biotechnological production of fuel etanol From different feedstocks. Bioresource Technology 99: 5270-5295.

SAGARPA, (2011). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Bioenergéticos. Fecha de consulta: mayo 30 de 2014. http://www.bioenergeticos.gob.mx/index.php/introduccion/por-que-son-importantes.html.

Sarkar, N., Ghosh, S. K., Bannerjee, S. y Aikat, K. (2012). Bioethanol production from agricultural wastes: an overview. Renewable Energy 37 (1):19-27.

Scarlat, N. y Dallemand, J. F. (2011). Recent developments of biofuels/bioenergy sustainability certification: a global overview. Energy Policy 39: 1630-1646.

Somerville, C., Youngs, H., Taylor, C., Davis, S.C. y Long, S.P. (2010). Feedstocks for lignocellulosic biofuels. Science 329: 790-792.

Sukumaran, R. K., Surender, V. J., Sindhu, R., Binod, P., Janu, K. U., Sajna, K. V., Rajasree, K. P. y Pandey, A. (2009). Lignocellulosic etanol in India: Prospects, challenges and feedstock availability. Bioresourse Technology. Vol. 101: 4826-4833.

Vijai, G. K., Potumarthi, R., O'Donovan, A., Kubicek, C. P., Dutt, M. G. y Tuohy, G. (2014). Bioenergy Research: An Overview on Technological Developments and Bioresources. En: Bioenergy Research: Advances and Applications. Editorial Elsevier, Amsterdam, 36-41.

Wyman, C. E., Dale, B. E., Elander, R. T., Holtzapple, M., Ladish, M. R. y Lee, Y. Y. (2005). Coordinated development of leading biomas pretreatment technologies. Bioresourse Technology. Vol. 96:1959-1966.

Yang, B. y Wyman, C. E. (2008). Pretreatment the key to unloking low-cost cellulosic etanol. Biofuels Bioproducts and Biorefining. Vol. 21: 26-40.