



UNA REVISIÓN DE LA GENERACIÓN DE BIOETANOL CON PASTOS C₄

José Agustín Pacheco-Ortiz*, Andrés Castro-Sierra, Ana Rosa Sánchez-Camarillo, María Myrna Solís-Oba
Instituto Politécnico Nacional, CIBA Tlaxcala. Ex-Hacienda San Juan Molino, Carretera Estatal
Tecuexcomac-Tepetitla Km. 1.5, C.P. 90700. Tlaxcala, México.

*Autor para correspondencia: jpachecoo1902@alumno.ipn.mx



UNA REVISIÓN DE LA GENERACIÓN DE BIOETANOL CON PASTOS C4

José Agustín Pacheco-Ortiz*, Andrés Castro-Sierra, Ana Rosa Sánchez-Camarillo, María Myrna Solís-Oba
 Instituto Politécnico Nacional, CIBA Tlaxcala. Ex-Hacienda San Juan Molino, Carretera Estatal
 Tecuexcomac-Tepetitla Km. 1.5, C.P. 90700. Tlaxcala, México.

*Autor para correspondencia: jpachecool902@alumno.ipn.mx

RESUMEN

El desarrollo de la biotecnología en la producción de biocombustibles ha empleado distintas materias primas, éstas se han clasificado en generaciones, destacando los de primera generación, donde se utilizaron los granos de maíz, de sorgo, el almidón de trigo, la caña de azúcar; de los cuales se alcanzan rendimientos promedio de 4,500 litros de bioetanol por hectárea. Dado que estos cultivos son empleados para la alimentación, se ha buscado otro tipo de materia prima, surgiendo la segunda generación, consistente en el uso de los residuos agroindustriales y plantas lignocelulósicas, como son las usadas para forrajes. Como ejemplo de ellas, en el presente trabajo se hace una revisión del uso de los pastos C4, los cuales se nombran así debido a que, gracias a su mecanismo fotosintético, pueden desarrollarse en climas cálidos y con poca humedad reduciendo la fotorrespiración en el proceso de fijación de CO₂. Algunos ejemplos de estos pastos o gramíneas son el pasto varilla y pasto de Napier, los cuales producen 4,200 litros de bioetanol por hectárea. Estas plantas se caracterizan por alta producción de biomasa en tallos y hojas, lo que repercute en varios factores bióticos y abióticos como, por ejemplo, el crecimiento de las plantas, los componentes de la pared celular celulosa, hemicelulosa, lignina. También en el presente trabajo se hace una revisión de las técnicas para la extracción de azúcares más simples para el proceso de fermentación para la producción de bioetanol.

Palabras clave: Biocombustible, bioetanol, materia prima, pasto.

ABSTRACT

The development of biotechnology in the production of biofuels has used different raw materials, these have been classified into generations, highlighting the first generation, where grains of corn, sorghum, wheat starch, sugar cane were used; of which average yields of 4,500 liters of bioethanol per hectare are achieved. Since these crops are used for food, another type of raw material has been sought, emerging the second generation, consisting of the use of agro-industrial residues and lignocellulosic plants, such as those used for fodder. As an example of them, this paper reviews the use of C4 grasses, which are so named because their photosynthetic mechanism, they can develop in warm climates with low humidity, reducing photorespiration in the process CO₂ fixation. Some examples of these grasses are switchgrass and Napier grass, which produce 4,200 liters of bioethanol per hectare. These plants are characterized by high biomass production in stems and leaves, which affects several biotic and abiotic factors such as plant growth, cell wall components cellulose, hemicellulose, lignin. Also, in the present work a review of the techniques for the extraction of simpler sugars for the fermentation process for the

production of bioethanol is made.

Keywords: Biofuel, bioethanol, feedstocks, grass.

I. INTRODUCCIÓN

Las plantas son consideradas como el recurso natural renovable más abundante del planeta, esto se debe a los hábitos de crecimiento y a los componentes estructurales de las plantas, donde tan solo el 2% es utilizado por el hombre (Pauly y Keegstra 2008). Distintas especies vegetales han sido empleadas para la producción de bioetanol, por la alta cantidad de biomasa que estas generan (Byrt *et al.*, 2011). Sin embargo, las primeras plantas que se han empleado para la producción de bioetanol han sido de uso alimenticio, como el maíz, la caña de azúcar, el trigo, etcétera que contienen azúcares disponibles, fácilmente fermentables, por ejemplo, la glucosa, fructosa entre otras (Heaton *et al.*, 2008; Byrt *et al.*, 2011), el uso de estas plantas para la producción de bioetanol se clasificó como de primera generación (Cortés-Sánchez *et al.*, 2019). Estas plantas al ser de consumo para el hombre no son una alternativa viable para la obtención de biocombustibles, por lo que se buscaron otras alternativas al uso de plantas comestibles, tal es el caso de los residuos agroindustriales, así como plantas lignocelulósicas. Algunas de estas plantas son pastos que son clasificados como gramíneas, un tipo de dichos pastos es el C4 que, debido a su gran crecimiento y la capacidad de generar grandes cantidades de biomasa se han posicionado como objeto de estudio para la obtención de bioetanol (Li *et al.*, 2015; Rueda *et al.*, 2016; Cortés-Sánchez *et al.*, 2019).

Las gramíneas C4 como la caña de azúcar, el maíz, el bambú, el pasto elefante, presentan rigidez estructural de la pared celular, debido a que ésta se encuentra compuesta por celulosa, hemicelulosa, lignina y calosa, características que le permiten presentar un crecimiento erecto. Es por lo que estas gramíneas poseen también rendimientos promedio por arriba de 80 toneladas por hectárea por lo que ha sido posible emplearlas como alimento, construcción y producción de bioetanol (Somerville *et al.*, 2010).

Uno de los principales problemas a enfrentar es la fuente de azúcares disponibles para la producción de bioetanol. Estos azúcares pueden ser extraídos de la celulosa y la hemicelulosa que forman parte de la estructura de la pared celular de las plantas, pero el proceso de extracción es complejo. La producción de etanol, también se ve afectada por la formación de compuestos inhibidores como el furfural, el hidroximetilfurfural (HMF) y el ácido acético provenientes de los pretratamientos de los residuos y del material lignocelulósico y limita la capacidad de las levaduras en este caso de *Saccharomyces cerevisiae* de producir alcohol (Byrt *et al.*, 2011).

2. GENERACIONES EN LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL

La biomasa es considerada como una de las fuentes más importantes para la producción de bioetanol, los desarrollos se han dividido en cuatro generaciones, a su vez divididas según la materia prima de donde se obtienen los azúcares fermentables; por ejemplo, de la celulosa se obtiene la glucosa y de la hemicelulosa se obtienen la manosa, pentosa, galactosa, dichos azúcares (FAO, 2002) posteriormente durante la fermentación son transformadas en alcohol.

Para la producción de bioetanol se clasifican en:

Primera generación: Proviene del procesamiento de la biomasa de vegetales de uso alimentario; también pueden provenir de fuentes ricas en carbohidratos como son la sacarosa o el almidón (Cortés-Sánchez et al., 2019; Salinas y Gasca 2009), se han reportado principalmente en países como Estados Unidos y Brasil mayormente el uso de cultivos como la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y el maíz (*Zea mays*) y en Europa la remolacha azucarera (Heaton et al., 2008; Byrt et al., 2011).

Estudios reportan que se obtienen de 1,100 a 4,200 L ha⁻¹ de etanol a partir de la azúcar producida del cultivo de maíz (Balat y Balat 2009; Lee y Bressan 2006); de 1,000 a 1,700 L ha⁻¹ de etanol de un cultivo de trigo (Balat y Balat 2009); de 3,000-5,000 L ha⁻¹ de etanol a partir de cultivo de sorgo o caña de azúcar; esta última es la que mayor producción de bioetanol genera (Almodares y Hadi 2009).

Segunda generación: A diferencia de los biocombustibles de primera generación, la biomasa es obtenida de residuos agrícolas, cultivos leñosos y materiales que ya cumplieron con un propósito alimentario (Byrt et al., 2011). Se han empleado recursos maderables como el álamo, las cortezas de pino e inclusive algunos cultivos de pastos, principalmente de tipo C4 como el pasto varilla, pasto de Napier, pasto elefante, e inclusive rastrojos como el de maíz, arroz, trigo por mencionar algunos (Bouton 2007; Schmer et al., 2008; Li et al., 2015; Rueda et al., 2016).

Tercera generación: Se han empleado algas para la producción de biocombustibles. La biomasa de las algas se ha empleado como fuente para la producción de bioetanol, por medio de la fermentación alcohólica, y biodiesel, por la cantidad de ácidos grasos insaturados, monoinsaturados, polinsaturados y saturados que se contienen en estos organismos (Machado 2010; Maciel 2009; Sivaramakrishnan y Incharoensakdi 2018).

Cuarta generación: Involucra al uso de microorganismos modificados genéticamente para la producción de grandes cantidades biomasa, la cual es empleada en el proceso para la obtención de bioetanol utilizando como materia prima los sustratos de las dos primeras generaciones (Fernández et

al., 2012; Huang et al., 2016; Maciel 2009).

3. FACTORES QUE LIMITAN LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL

Para cada una de las diferentes generaciones en la producción de bioetanol, ha representado un reto el poder obtener alcohol. Algunas de las limitaciones que se encuentran se describen a continuación.

Uno de los problemas que tiene la primera generación es emplear como materia prima cultivos que son empleados para consumo humano, por lo que esto puede provocar el incremento en los precios de los productos derivados de estos cultivos, por ejemplo, las tortillas, azúcar, harina que provienen de los cultivos del maíz, la caña de azúcar y el trigo (Cortés-Sánchez et al., 2019; Salinas y Gasca 2009).

Los combustibles de segunda generación surgieron con la finalidad de evitar el uso de plantas de consumo humano, es decir, empleando plantas y residuos orgánicos no comestibles para generar biocombustible. Sin embargo, uno de los principales problemas al que se enfrenta al emplear estos consumibles es la degradación de los compuestos lignocelulósicos, los cuales son polisacáridos complejos y requieren de un pretratamiento antes del proceso de fermentación para que los microorganismos puedan asimilar los azúcares disponibles en este tipo de residuos.

De manera general, para obtener azúcares a partir de la pared celular de las plantas, se emplean procesos mecánicos, térmicos, fisicoquímicos, químicos y biológicos (Cortés-Sánchez et al., 2019). Entre los pretratamientos se encuentran los físicos que son tratamientos de molienda y/o de ultrasonido; los tratamientos químicos se llevan a cabo mediante la hidrólisis ya sea ácida o alcalina, los enzimáticos que involucran el uso de enzimas para romper las estructuras celulares, también se encuentran los fisicoquímicos como la explosión de vapor, vapor de agua, explosión de CO₂ y finalmente los biológicos en los que participan microorganismos principalmente hongos. El tipo de pretratamiento a emplear depende fundamentalmente de la materia prima a ocupar, ya sean maderas duras o blandas e inclusive el tipo de residuo si hablamos de bagazo o rastrojo, para que se puedan efectuar el rompimiento de las estructuras lignocelulósicas (Cortés-Sánchez et al., 2019; Machado 2010; Salinas y Gasca 2009). Una vez obtenidos esos azúcares, éstos pueden ser empleados como sustrato, para comenzar el proceso de fermentación por microorganismos como levaduras, que aprovechan los azúcares para transformarlos en bioetanol (Chuck-Hernández et al., 2011; Cortés-Sánchez et al., 2019).

En el caso de los biocombustibles de cuarta generación aún se encuentran en vías de desarrollo y llegan a ser costosos por el empleo de organismos modificados como

son bacterias, hongos y algas que mediante la inserción de algunos genes hacen a los microorganismos secretar enzimas que dividen a las moléculas complejas en más simples. Algunos ejemplos de estas enzimas son celulasas, las cuales hidrolizan la celulosa o las enzimas lacasas que pueden hidrolizar la lignina (Fernández et al., 2012; Maciel 2009). Adicionalmente enfrentan las restricciones mundiales por el uso de organismos genéticamente modificados.

4. GRAMÍNEAS EMPLEADAS PARA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL

Gran parte de la tierra está cubierta por plantas, donde los pastos representan más del 40%, por lo que los pastos son una alternativa para ser empleados para la obtención de bioetanol. Se han estudiado a las gramíneas por diversas razones, entre ellas, por su capacidad de adaptación a distintos tipos de climas tanto templados como cálidos, además de su alta producción de biomasa de hasta 50 a 100 toneladas por hectárea y por su bajo costo de producción, aproximadamente 5,040 pesos mexicanos por hectárea; por lo que se han considerado como una de las fuentes principales para la extracción de etanol usando cultivos no usados para consumo humano.

Las gramíneas o pastos se han empleado como fuentes para la producción de bioetanol por la cantidad de biomasa que estas generan. Los pastos se clasifican en pastos templados con una ruta fotosintética C3, las cuales tienen la característica de producir una baja cantidad de biomasa y alto contenido de proteína y alta digestibilidad, siendo considerados muy nutritivos por lo que son empleados como forraje. Por otro lado, los pastos tropicales C4 tienen una mayor cantidad de biomasa, pero un menor contenido nutricional, por lo que han sido empleados para la generación de bioetanol con especies de alto porte como pasto varilla, pasto de Napier, pasto elefante (Bouton 2007; Schmer et al., 2008; Li et al., 2015; Rueda et al., 2016).

En pastos C4, Li et al., (2015) y Rueda et al., (2016) señalan que los pastos perennes cultivados durante diferentes temporadas muestran rendimientos diferenciales dependiendo de la época del año. Li et al., (2015) evaluaron 5 cultivares de pasto elefante para la conversión enzimática de celulosa con Cellic CTec2, la cual fue mayor en agosto y septiembre tuvieron una conversión de celulosa de 70-90% y en los tratamientos a las plantas cultivadas en octubre de 50 hasta 70%. Para la producción de alcohol a partir de los cultivos de gramíneas se han aplicado varios pretratamientos incluyendo métodos de hidrólisis enzimática (Bouton 2007; Schmer et al., 2008; Scholl et al., 2015; Nagula & Pandit, 2016). Por otra parte, Rueda et al., (2016) menciona que las distintas variedades de *Cenchrus purpureus*, mostraron un mayor rendimiento de materia seca de 38 toneladas por hectárea en el segundo año, en el año uno fue de 21 ton

ha⁻¹ y en el año tres de 32 ton ha⁻¹; además, las variedades African Cane, King Grass, Vruckwona registraron mayor contenido de fibra. African Cane y Vruckwona presentaron una mayor cantidad de celulosa. African Cane, King Grass un mayor contenido de hemicelulosa.

Algunos autores como Scholl et al., (2015) para recuperación de los componentes de la pared celular (lignina, celulosa y hemicelulosa) en pasto elefante emplearon explosión de vapor a 190°C por 8 y 6 minutos, registraron cambios en la estructura lignocelulósica y posteriormente utilizaron enzimas lacas y celulasas. Nagula & Pandit (2016) emplearon el método de pretratamiento con lacasa y ultrasonido para la deslignificación del pasto Napier, comparado con el pretratamiento de solo lacasa, el resultado fue un 25% mejor con el tratamiento combinado ultrasonido-lacasa a una frecuencia de 24 kHz, 100 W deslignificando un 75% reduciendo el tiempo de 16 a 6 horas aplicando solo lacasa. Otro estudio muestra que la acción combinada de enzimas mixtas de tipo oxidasas e hidrolasas permitieron reducir el tiempo de degradación de la materia prima lignocelulósica en el pasto Kans (Rajak & Banerjee 2020).

5. CONCLUSIONES

Se han empleado distintas materias primas para la producción de biocombustibles, entre ellas los pastos C4, pero es menester utilizar distintos métodos para la obtención de azúcares fermentables para producción de bioetanol; como son los pretratamientos fisicoquímicos, físicos, químicos y enzimáticos y a su vez, estos se pueden combinar para optimizar la obtención de azúcares de la biomasa y la evaluación de la viabilidad de la producción de bioetanol. Por ende, se debe seguir estudiando cada una de las distintas tecnologías para mejorar la obtención de fuentes de energía sustentable. La combinación de estas técnicas podría dar pauta a incrementar los rendimientos, se ha reportado hasta un 25% más con tratamientos combinados, por ejemplo, de ultrasonido y lacasa de los materiales lignocelulósicos en la producción de bioetanol.

6. REFERENCIAS

- Almodares A, Hadi MR (2009) Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. *Afr J Agric. Res* 4: 772– 780.
- Balat M, Balat H (2009) Recent trends in global production and utilization of bio-ethanol fuel. *Appl Energ* 86: 2273–2282.
- Byrt CS, Grof CP, Furbank RT (2011) C4 plants as biofuel feedstocks: optimising biomass production and feedstock quality from a lignocellulosic perspective. *J Integr Plant Biol* 53:120-35.
- Chuck-Hernández C, Pérez-Carrillo E, Heredia-Olea E, Serna-Saldívar, SO (2011) Sorgo como un cultivo

multifacético para la producción de bioetanol en México: Tecnologías, avances y áreas de oportunidad. *Revista mexicana de ingeniería química* 10: 529-549.

Cortés-Sánchez MD, Gata-Montero EM, Pipió-Ternero A, Rodríguez-Rivas Á, Sánchez-Santos JM (2019) Biocombustibles: tipos y estrategias de producción. *Maestría en Biotecnología ambiental, industrial y alimentaria. Universidad Pablo de Olavide MoleQla: revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide* No 35.

FAO, (2002) *Nutrición Humana en el Mundo en Desarrollo. Colección FAO: Alimentación y nutrición* N° 29. *Macronutrientes: carbohidratos, grasas y proteínas. Capítulo 9.*

Heaton EA, Flavell RB, Mascia PN, Thomas SR, Dohleman FG, Long, SP (2008) Herbaceous energy crop development: recent progress and future prospects. *Curr Opin Biotechnol* 19:202-9.

Lee TSG, Bressan EA, (2006) The potential of ethanol production from sugarcane in Brazil. *Sugar Tech.* 8(4), 195–198.

Li Y, Zhang Y, Zheng H, Jian D, Zhang H, Wu J, Huang H (2015) Preliminary evaluation of five elephant grass cultivars harvested at different time for sugar production. *Chinese Journal of Chemical Engineering* 23: 1188-1193.

Machado CM (2010) Situación de los Biocombustibles de 2da y 3era Generación en América Latina y Caribe. *Organización Latinoamericana de Energía Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura* 437:104.

Maciel CA (2009) Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico, mercados actuales y comercio internacional. *Economía Informa UNAM* No 359.

Nagula KN, Pandit AB (2016). Process intensification of delignification and enzymatic hydrolysis of delignified cellulosic biomass using various process intensification techniques including cavitation. *Bioresource technology* 213: 162-168.

Pauly, M., Keegstra, K. (2008) Cell-wall carbohydrates and their modification as a resource for biofuels. *Plant J* 54:559-68.

Rajak RC, Banerjee R (2020) An innovative approach of mixed enzymatic venture for 2G ethanol production from lignocellulosic feedstock. *Energy Conversion and Management* 207:112504.

Rueda JA, Jimenez EO, Hernández-Garay A, Enríquez-Quiroz JF, Guerrero-Rodríguez JD, Quero-Carrillo AR 2016. Growth, yield, fiber content and lodging resistance in eight varieties of *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone intended as energy crop. *Biomass and Bioenergy* 88:59-65.

Salinas CE, Gasca QV (2009). Los biocombustibles. *El Cotidiano* 157:75-82.

Schmer MR, Vogel KP, Mitchell RB, Perrin RK (2008). Net energy of cellulosic ethanol from switchgrass. *Proc Natl Acad Sci USA* 15:464-469.

Scholl AL, Menegol D, Pitarelo AP, Fontana RC, Filho AZ, Ramos LP, Dillon AJP, Camassola M (2015). Elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) pretreated via steam explosion as a carbon source for cellulases and xylanases in submerged cultivation. *Industrial Crops and Products* 70: 280-291.

Sivaramakrishnan R, Incharoensakdi A 2018. Utilization of microalgae feedstock for concomitant production of bioethanol and biodiesel. *Fuel* 217: 458-466.

