

Biocombustibles de primera generación

Alejos C.¹, Calvo E.²

(Recibido 06/05/2015 / Aceptado 20/10/2015)

RESUMEN

La actual problemática del cambio climático, la inestabilidad de los precios del petróleo y las políticas de seguridad energética emprendida por muchos países, han convertido a los biocombustibles en una potencial fuente de energía alternativa. Los biocombustibles de primera generación son aquellos producidos por tecnología convencional a partir de cultivos alimenticios. En los últimos años su producción ha aumentado, puesto que son cada vez más los países que lo consideran una herramienta de seguridad energética y solución frente al cambio climático. El objetivo de este artículo es realizar una descripción general sobre los biocombustibles de primera generación: biodiesel, bioetanol y biogás, y discutir sobre su sustentabilidad enfocándose en los aspectos relacionados a su producción, tecnología y uso.

Palabras clave: Biomasa, biodiesel, bioetanol, biogás.

First-generation biofuels

ABSTRACT

Climate change problem, unstable oil prices and energy security policies undertaken by many countries, have turned biofuels in a potential alternative energy source. The biofuels of first generation are those produced by conventional technology from cultures for human food. In recent years, its production has been increasing, since they are several countries that consider it a tool for energy security and climate change answer. This article aims to give a general description of the first generation biofuels, biodiesel, bioethanol and biogas and discuss about its sustainability focusing on issues related to its production, technology and use.

Keywords: Biomass, biodiesel, bioethanol, biogas.

1 Escola de Química - Universidade Federal de Rio de Janeiro, calejos.altamirano@gmail.com

2 Departamento Académico de Procesos, FQIQ- UNMSM, e13calvo@gmail.com

I. INTRODUCCIÓN

Nuevas fuentes de energía están siendo desarrolladas para contrarrestar los efectos negativos causado por el uso de combustibles fósiles. Los prejuicios que causan al medio ambiente sumado a la inestabilidad de los precios del petróleo y gas natural, debido a que la mayor parte de estos recursos se encuentran en países en continuo conflicto, han sido uno de los motivos para impulsar e incentivar la búsqueda de energía renovable. Ante esta situación, la energía solar, eólica, geotérmica y aquellas obtenidas de la biomasa - como el etanol para sustituir la gasolina, el biodiesel para sustituir el diésel petrolero y el biogás destinado en la mayoría de los casos a sustituir el combustible doméstico para preparación de alimentos o calefacción, se han convertido en la energía alternativa más utilizada en el mundo-. El biodiesel, bioetanol y biogás son denominados biocombustibles de primera generación, este término es aplicado para referirse a aquellos biocombustibles que son obtenidos de la biomasa por procesos y tecnologías convencionales, más simples y económicas. Estos biocombustibles son obtenidos a partir de cultivos alimenticios y por ende su producción puede competir por recursos con los alimentos. Muchos países han adoptado políticas para incentivar la producción de biocombustibles por asuntos de seguridad energética y ambiental. Brasil, por ejemplo tiene una consolidada industria del etanol obtenido de caña de azúcar, este biocombustible se ha convertido en un sustituto de la gasolina pudiendo ser usado al 100% en su forma anhidra o mezclado con gasolina en los llamados autos *Flexfuel*. Aprovechando una industria consolidada y madura en la agricultura de soja, este mismo país produce biodiesel a partir de aceite de soja convirtiéndose junto a Argentina en los mayores productores de biodiesel de Sudamérica. En Estados Unidos se produce etanol a partir del maíz; en Europa, Alemania es el mayor productor de biodiesel obtenido a partir del aceite de colza, y en Asia, Indonesia y Malasia producen biodiesel a partir del aceite de palma.

II. METODOLOGÍA

La metodología se basa en la revisión bibliográfica sobre el tema. Fueron consultados artículos, libros y tesis que abordan aspectos relacionados a los biocombustibles como, materias primas, tecnología, uso, y asuntos ambientales. Posteriormente se analiza su sustentabilidad y se propone alternativas para la producción de combustibles sustentables.

2.1. BIOCOMBUSTIBLES

Biocombustible es todo aquel combustible producido directamente de la biomasa o mediante su transformación y que puede sustituir a combustibles de origen fósil. El término *bio* indica que su origen es biológico, y por ende renovable. Por ejemplo, el biogás es un biocombustible rico en metano obtenido a partir de la digestión anaeróbica de residuos orgánicos, este biogás es capaz de sustituir al GLP (gas licuado de petróleo) o gas natural para la generación de energía eléctrica o calefacción, el biodiesel obtenido de la conversión química de aceites vegetales y grasas animales y puede sustituir al diesel petrolero para su uso en motores diesel, el bioetanol obtenido por fermentación de los azúcares o almidones contenidos en materias primas como la caña de azúcar o el maíz y puede sustituir a la gasolina para su uso en motores de ciclo Otto. Los biocombustibles son clasificados como biocombustibles de primera, segunda y tercera generación. Los biocombustibles de primera generación son producidos a partir de productos agrícolas tradicionales como caña de azúcar, trigo, maíz, palma aceitera, soya, entre otros. Estos biocombustibles son producidos y comercializados en cantidades significativas por diversos países y con tecnologías convencionales. Su producción genera gran discusión debido a que compiten con los cultivos alimenticios por recursos como: suelo, fertilizantes y agua. Los biocombustibles de primera generación los componen el biodiesel, bioetanol y el biogás. Los biocombustibles de segunda generación son obtenidos a partir de mate-

riales ligno-celulósicos como los generados en la actividad agrícola. Ejemplo de esto es el llamado *Etanol 2G* (segunda generación) obtenido a partir de los residuos agrícolas del cultivo de caña de azúcar o del bagazo. Los biocombustibles de tercera generación son aquellos que utilizan la ciencia de la genética para mejorar el crecimiento, rendimiento y características de los cultivos energéticos para obtener materia prima de mejor calidad para producir biocombustibles. El cultivo de micro algas, de la cuales puede extraerse aceite para la producción de biodiesel, es un representante de esta tecnología.

A los biocombustibles se les atribuye los siguientes beneficios:

1. Su carácter renovable, puesto que se puede disponer de ellos en los volúmenes deseados y de esta manera disminuir la dependencia por combustibles fósiles.
2. Su neutralidad en CO_2 , debido a que las emisiones de CO_2 en su ciclo productivo pueden ser neutralizadas por el CO_2 absorbido durante el crecimiento de los cultivos energéticos mediante fotosíntesis.
3. La reducción de emisiones en su combustión de material particulado y dióxido de azufre, entre otros, que afectan la salud humana y el medio ambiente.

Son estos tres beneficios los que convierten a los biocombustibles en una alternativa energética viable frente a la problemática ambiental y energética. Sin embargo en los últimos años con el aumento de su producción, ha surgido mucha discusión respecto a que si de verdad los biocombustibles representan una solución al problema energético y ambiental, visto que estos cultivos energéticos podrían competir directamente por recursos (fertilizantes químicos, agua y tierra cultivable) con los cultivos dirigidos para el consumo humano, pudiendo causar una distorsión en el precio de los alimentos.

El presente artículo tiene por objetivo realizar una descripción general sobre los biocombustibles de primera generación y los aspectos relacionados a su producción,

tecnología y uso. Finalmente se hace un análisis crítico sobre su sustentabilidad y los puntos a tener en cuenta para producir biocombustibles sustentables.

2.2. BIODIESEL

El biodiesel es definido por la Asociación Americana de Ensayos de Materiales (ASTM) como una mezcla de esteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadena larga ^[1]. El biodiesel es obtenido a partir de la conversión química de los triglicéridos (TG) o ácidos grasos libres (AGL) contenidos en los aceites vegetales, como el aceite de soya, palma, colza o partir de grasas animales como la grasa de pollo o el sebo. Otras materias primas alternativas son los aceites usados de fritura y residuos de las industrias de oleaginosas ricos en ácidos grasos.

Es un producto perfectamente soluble en diésel, con características físicas y químicas semejantes a este por lo que puede ser utilizado puro o mezclado con diésel en distintas proporciones en motores diésel. Existe una nomenclatura convencional para identificar la proporción de biodiesel en mezclas diésel/biodiesel, se trata de la nomenclatura BX, donde X es el porcentaje de biodiesel en la mezcla. Las mezclas B5 a B20 son las más utilizadas, para las cuales no es necesaria modificación alguna en el motor ^[2]. Para mezclas de mayor proporción es necesario determinadas modificaciones, especialmente en los componentes del motor, puesto que el biodiesel tiene propiedades de solvente capaz de disolver compuestos poliméricos usado en juntas y conexiones de los motores. Es un combustible que por su origen vegetal o animal está prácticamente libre de compuestos azufrados y aromáticos.

a) Producción del Biodiesel

A nivel mundial, la transesterificación vía catálisis alcalina es el proceso producción de biodiesel más utilizado, puesto que es un proceso simple y de menor costo. Existen otros procesos que utilizan catalizadores heterogéneos, enzimas o condiciones extremas de presión y

temperatura, sin embargo aún no están muy difundidos por los altos costos en los que se incurre. En caso de materias primas con alto contenido de AGL se usan dos procesos combinados, primero el proceso de esterificación seguido por transesterificación. La esterificación puede considerarse como un proceso de pre tratamiento de la materia prima, aquí los AGL en presencia de alcohol y ácido como catalizador se convierten en ésteres sumándose a los ésteres obtenidos en el proceso siguiente de transesterificación. Cuando no se realiza esta operación y la materia prima es sometida directamente a transesterificación, los AGL reaccionan con el catalizador alcalino convirtiéndose en jabones, disminuyendo el rendimiento y la calidad del biodiesel. A continuación se detalla el proceso para la producción de biodiesel.

b) Tratamiento de la materia prima

Previo a la transesterificación es necesario tratar la materia prima para la remoción de humedad, ácidos grasos libres e impurezas que pueden interferir en la reacción, disminuyendo su velocidad y el rendimiento en biodiesel. Cuando el contenido de AGL es menor a 1-2%, estos pueden ser eliminados por neutralización con una solución de hidróxido de sodio o potasio (reacción 1). El aceite es calentado a 60-70°C y luego mezclado en un reactor con una determinada cantidad de solución de hidróxido, al final de la neutralización se forman borras (jabones y agua) que son removidas por decantación. Luego el aceite es sometido a lavados con agua caliente para eliminar restos de hidróxido y jabones, en algunas plantas se utilizan tierras adsorbentes capaces de remover jabones. Finalmente se obtiene un aceite neutralizado libre de AGL. Cuando el contenido de AGL es superior a 2% es recomendable como fue explicado anteriormente, convertirlos en biodiesel por esterificación, usualmente se utiliza metanol y ácido sulfúrico como catalizador (reacción 2). Producto de esta

reacción se genera agua, que se separa por decantación junto al catalizador. Finalmente el aceite tratado, es secado a vacío para eliminar humedad. La Figura 1 muestra las reacciones del tratamiento de la materia prima.

c) Transesterificación alcalina

La transesterificación alcalina es el proceso más simple utilizado para producir biodiesel. Sin embargo, requiere de un aceite con bajo contenido de ácidos grasos libres, agua y otras impurezas^[3]. Consiste en hacer reaccionar los triglicéridos con alcohol e hidróxido o metóxido alcalino como catalizador (reacción 3). Las cantidades usadas de aceite y alcohol guardan relación con la estequiometría de la reacción que es (1:3). Sin embargo por ser una reacción de equilibrio se usa comúnmente la relación (1:6), es decir un 100% de exceso en alcohol para asegurar mayor conversión de triglicéridos en ésteres. El alcohol e hidróxido comúnmente utilizado es el metanol y el hidróxido de sodio respectivamente. La reacción se lleva a cabo a 60-62°C, temperatura por debajo del punto de ebullición del metanol para evitar su evaporación. En producción por lote el tiempo aproximado de reacción es una hora. Cabe resaltar que las variables presentadas aquí no son determinantes y que se hace necesario una batería de pruebas para encontrar el valor ideal de dichas variables, variables como: calidad del aceite, temperatura y tiempo de reacción, dosis de catalizador y relación aceite: alcohol serán determinantes para el rendimiento, grado de conversión y calidad del biodiesel. La Figura 2 muestra la reacción de transesterificación.

d) Separación y refinación

La transesterificación genera dos fases, una fase pesada como subproducto que es el glicerol y una fase liviana que es la fase éster. Estas fases son separadas por decantación. La refinación de la fase éster (biodiesel) consiste en remover restos de catalizador, glicerol y alcohol, mediante la-

vados con agua o adición de tierras adsorbentes. El biodiesel finalmente refinado es almacenado como producto final. Durante su almacenamiento es importante el control de humedad y la exposición a oxígeno, ya que pueden causar su oxidación, por ello es importante la adición de aditivos que permitan controlar su estabilidad a la oxidación. Dependiendo de la materia prima utilizada podrá requerirse también la adición de aditivos para disminuir el punto de congelamiento, si es que durante su transporte o manipulación estará expuesto a climas fríos que causan la precipitación de componentes saturados.

La fase pesada rica en glicerol es enviada a una unidad de destilación o evaporación para recuperar el metanol no reaccionado y retornarlo al proceso. El glicerol libre de alcohol puede someterse a un proceso de refinación para la obtención de glicerol de grado farmacéutico. Para la producción de biodiesel a escala industrial a partir de 1 tonelada de aceite de soya se puede obtener aproximadamente 950 kg de biodiesel en especificación y 118 kg de glicerol bruto con 82% de pureza ^[4]. La Figura 3 muestra un esquema de la producción de biodiesel.

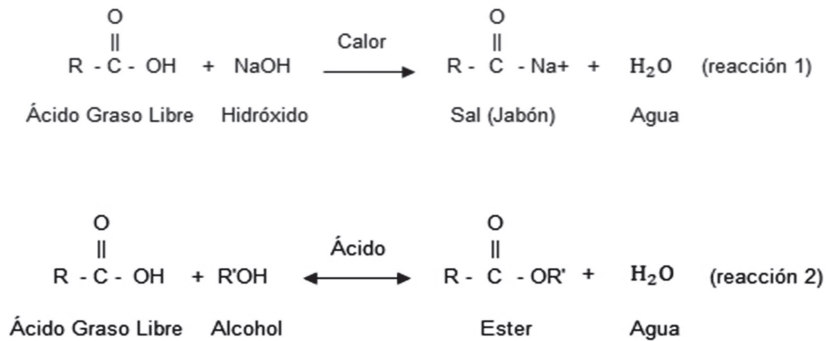


Figura 1. Reacciones de neutralización y esterificación (elaboración propia).



Figura 2. Reacción de transesterificación (elaboración propia).

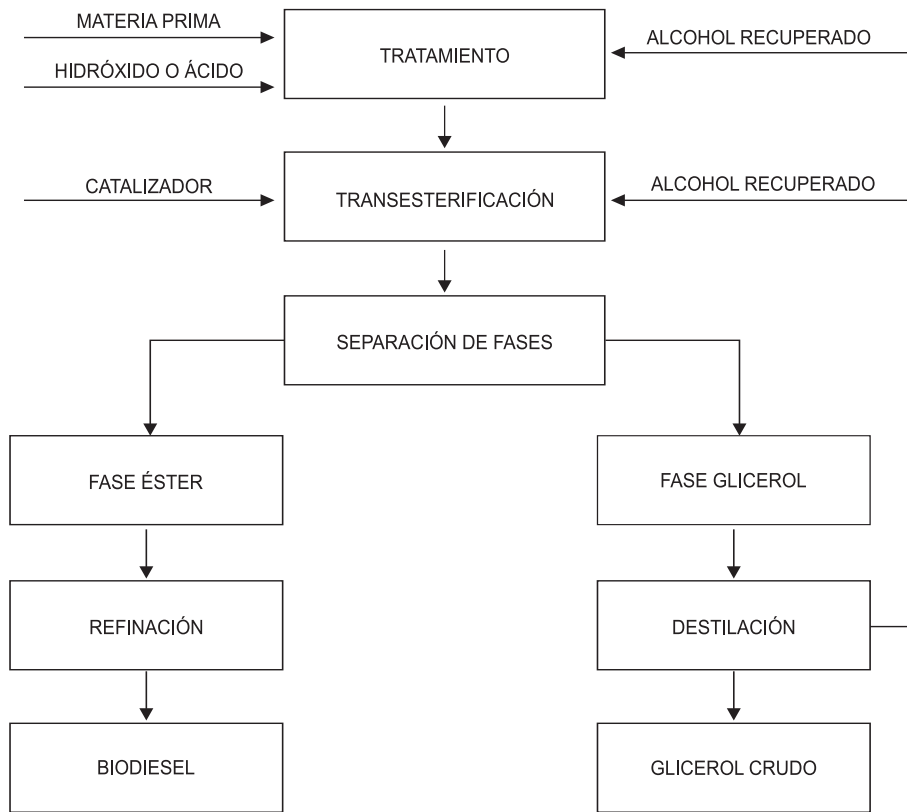


Figura 3. Esquema de producción de biodiesel por transesterificación (elaboración propia).

2.3. BIOETANOL

El bioetanol es prácticamente el etanol producido por la fermentación de los azúcares contenidos en diversas materias primas con alto contenido de sacarosa, almidón o celulosa. Materias primas ricas en sacarosa como la caña de azúcar y remolacha son la fuente de etanol más utilizadas en el mundo, seguido de fuentes de almidón como el maíz y a partir de materiales ligno-celulósicos como madera y restos agrícolas, y que aún se encuentran en etapa de desarrollo e investigación. El bioetanol obtenido de materiales ligno-celulósicos es denominado *Etanol 2G* (segunda generación) y su producción aún se encuentra a nivel de laboratorio o unidades piloto. Producir bioetanol es más simple y menos costoso cuando se utiliza materias primas ricas en sacarosa. Esto es debido a que los mismos microorganismos responsables de la fermentación, hidrolizan la sacarosa produciendo azúcares reducto-

res que son fácilmente asimilados por las levaduras en el proceso de fermentación, produciendo etanol y dióxido de carbono.

Diferente es el proceso cuando la materia prima es rica en almidón. El almidón es un polisacárido constituido por moléculas de azúcares, por este motivo los azúcares necesitan ser liberados del almidón previo a la fermentación para que las levaduras puedan asimilarlas, lo que obliga a la instalación de una unidad de hidrólisis enzimática. La liberación de los azúcares del almidón se logra mediante hidrólisis enzimática, que consiste en dos etapas: (1) licuefacción, se lleva a cabo utilizando las enzimas α -amilasa o β -amilasa, en esta etapa la conversión de almidón a azúcares puede llegar a 7-10%, (2) sacarificación, se utiliza la enzima glucoamilasa, en esta etapa se produce la conversión total del almidón a azúcares reductores^[5]. El proceso de hidrólisis enzimática hace que la producción de bioetanol a partir de fuentes

amiláceas sea más costosa y compleja, debido al costo de las enzimas y la mayor demanda de energía.

El bioetanol puede ser utilizado en cualquier proporción mezclado con gasolina. Las mezclas más utilizadas son E10 y E85, las cuales contienen 10 y 85% de etanol respectivamente. Puede utilizarse también el bioetanol en forma pura cuando este está libre de agua (etanol anhidro) en los denominados autos *flex-fuel*.

a) Producción del bioetanol

En esta sección se detalla el proceso de producción que utiliza caña de azúcar por ser una de las materias primas más utilizadas en el mundo y que por ende utiliza tecnologías más difundidas y perfeccionadas. Luego de la cosecha la caña es transportada hasta las unidades de proceso, aquí se procede a la extracción del caldo de la caña, tratamiento y concentración del caldo, preparación del mosto de fermentación, fermentación, centrifugación del mosto fermentado, destilación y deshidratación. A continuación se detalla brevemente cada uno de los procesos.

b) Extracción del caldo

Una vez recibida la caña de azúcar en la planta de producción, se procede a una limpieza para remover impurezas provenientes de la cosecha, la limpieza puede ser hecha con agua o aire. La caña limpia es enviada a un proceso de molienda para la extracción del caldo. Esta operación utiliza agua caliente proveniente de otras unidades de proceso que ayuda a optimizar la extracción de los azúcares retenidos en el bagazo. El caldo extraído representa aproximadamente 70% en peso de la caña molida y de 15-16% en contenido de sacarosa.

c) Tratamiento y concentración del caldo y preparación del mosto de fermentación

El tratamiento del caldo consiste en la eliminación de impurezas solubles que afectan la fermentación, estos son eliminados por adición de lechada de cal, luego el caldo es calentado a aproximadamente 105°C para acelerar la precipitación de dichas impurezas. Los compuestos precipitados forman un lodo que separado en decantadores obteniéndose un caldo clarificado. Seguidamente el caldo tratado es concentrado por evaporadores de múltiple efecto, alcanzando una concentración final de azúcares entre 60 a 65°Brix. El caldo tratado y concentrado es enfriado a 35°C aproximadamente y mezclado con una corriente de reciclo de levaduras, luego es enviado a los fermentadores^[6].

d) Fermentación

La fermentación del mosto puede llevarse a cabo tanto en reactores cerrados como abiertos. Los reactores abiertos permiten la evacuación libre del dióxido de carbono formado pero tiene la desventaja de poder ocurrir una contaminación con agentes externos y pérdida de alcohol por evaporación o arrastre. En los reactores cerrados el arrastre de mosto de fermentación por el dióxido de carbono evacuado es recuperado por un sistema de ciclones. En reactores cerrados la contaminación es menor. La fermentación puede llevarse a cabo en procesos por lotes o continúa, debido que este proceso es exotérmico es necesario ajustar la temperatura a 30°C aproximadamente, temperatura óptima para el metabolismo de las levaduras y la conversión de azúcares a etanol. La Figura 4 muestra las reacciones que ocurren en el fermentador.

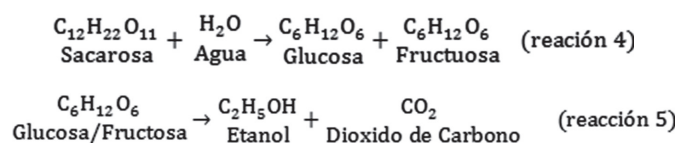


Figura 4. Reacción de hidrólisis de sacarosa y fermentación (elaboración propia).

En la reacción 4 ocurre la hidrólisis de la sacarosa, convirtiéndose a glucosa y fructosa. Luego la glucosa y fructosa son metabolizadas por las levaduras formando etanol y dióxido de carbono, de acuerdo a la estequiometría de la reacción 5, 1 kg de glucosa genera 0,511 kg de etanol y 0,489 kg de dióxido de carbono. En la práctica el rendimiento en etanol es menor, ya que aproximadamente 5 a 10% de glucosa es utilizada por las levaduras para la producción de nuevas células. [7]

Al final de la fermentación, las levaduras del mosto fermentado son separadas por centrifugación. Una parte de estas son recirculadas al proceso y otra es direccionada para otros fines.

e) Destilación y deshidratación

El mosto fermentado y centrifugado es destilado en una primera columna de destilación donde se obtiene un destilado con 45-50%V de etanol, luego este es introducido en otra columna de rectificación para obtener etanol con una concentración aproximada de 96% V, a esta concentración la mezcla etanol-agua forma un azeótropo, es decir el etanol tiene la misma concentración en la fase líquida que en la fase vapor en el equilibrio, lo que no permite continuar la separación de los componentes por destilación convencional. El etanol a esta concentración es denominado etanol hidratado.

La deshidratación es la última etapa para la obtención de etanol para su uso como combustible, tiene por objetivo obtener etanol anhidro a una concentración de 99,3%V aproximadamente. Existen diversas tecnologías de deshidratación: (1) destilación azeotrópica, (2) destilación extractiva, (3) destilación al vacío, (4) adsorción en tamices moleculares y (5) deshidratación por membranas.

Actualmente la destilación azeotrópica y la adsorción en tamices moleculares son los procesos comercialmente utilizados. En la destilación azeotrópica un tercer componente, generalmente ciclo-hexano se adiciona a la mezcla etanol-agua, obteniéndose en el fondo de la columna etanol anhidro y en la parte superior la mezcla ternaria ciclo-hexano-etanol-agua que es enviado a un sistema de recuperación de ciclo-hexano para su reutilización [8]. Finalmente el etanol anhidro es almacenado y aditivado con componentes que le confieren su uso restringido como combustible. Producto de la destilación y rectificación, se produce un líquido en el fondo de las columnas con alto contenido de materia orgánica comúnmente llamado vinaza. Para la producción de etanol anhidro a nivel industrial, procesando 1 tonelada de caña de azúcar con 15-16% de sacarosa y utilizando deshidratación por destilación azeotrópica, puede obtenerse 90 litros de etanol anhidro en especificación y 230 kg de bagazo húmedo para la generación de energía.

f) Generación de energía

En la extracción del caldo se genera el bagazo con 50% de humedad aproximadamente, este es quemado en calderas para la generación de vapor de alta presión que es utilizado en diversos sistemas mecánicos de la planta y para la generación de electricidad. El vapor de escape producto de la generación eléctrica es utilizado para su aprovechamiento térmico en las distintas unidades de proceso. Cabe destacar que el bagazo generado es suficiente para suministrar toda la energía necesaria para la planta e inclusive energía eléctrica para la venta. La Figura 5 muestra un esquema simplificado de la producción de bioetanol a partir de la caña de azúcar.

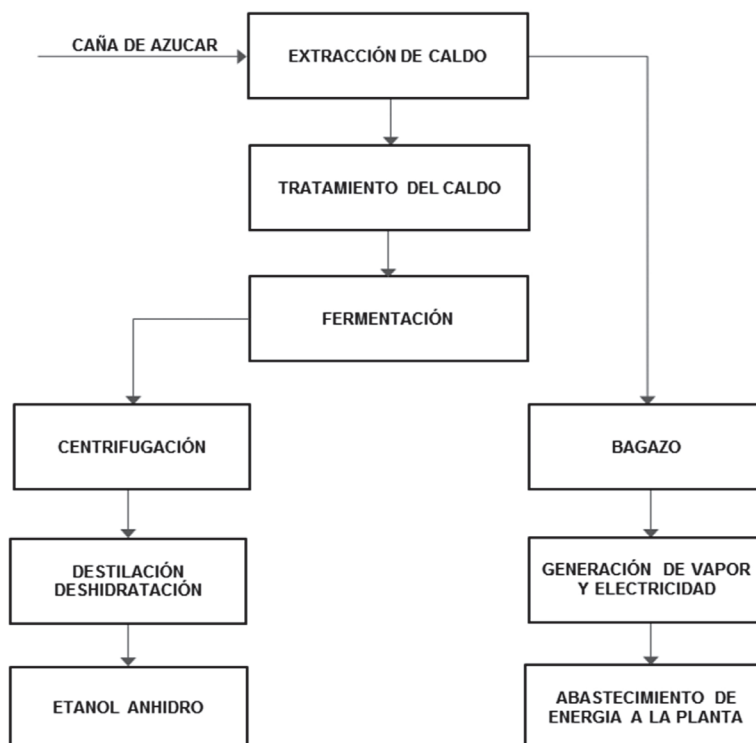


Figura 5. Esquema de producción de bioetanol a partir de caña de azúcar (elaboración propia).

2.4. BIOGÁS

El biogás es una mezcla gaseosa compuesta principalmente por metano e dióxido de carbono. Es obtenido a partir de la descomposición anaeróbica de materia orgánica por la acción de determinados microorganismos y bajo determinadas condiciones químicas y físicas. La composición típica del biogás es presentada en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición típica de biogás^[9]

Gases	Porcentaje (%)
Metano	50-75
Dióxido de carbono	25-45
Vapor de agua	2-7
Nitrógeno	<2
Oxígeno	<2
Sulfuro de hidrógeno	<1
Amoníaco	<1
Hidrógeno	<1

El poder calorífico del biogás es variable y depende de la cantidad de metano en su composición, el elevado contenido de dióxido de carbono y otros componentes inertes hace que el poder calorífico del biogás sea inferior a otros combustibles gaseosos como

el gas licuado de petróleo o el gas natural. Esto puede ser observado en la Tabla 2.

Tabla 2. Poder calorífico de combustibles gaseosos (elaboración propia).

Gases	Poder calorífico (Kcal/m ³)
Metano	8 500
Propano	22 000
Butano	28 000
Gas natural	7 600
Gas licuado de petróleo (GLP)	24 000 (60% propano-40% butano)
Biogás	5 100 (50% metano)

De acuerdo a la Tabla 2, el biogás tiene aproximadamente cinco veces menos contenido energético volumétrico que el GLP, esto quiere decir que para que el biogás se convierta en una fuente energética competente y viable, su costo de producción debe ser inferior al precio de GLP o de algún otro combustible que se pretenda remplazar.

a) Producción de Biogás

El uso de biogás aún no está orientado a substituir los combustibles de uso vehicular, puesto que las materias primas para su producción abundan en zonas

rurales donde existe actividad agrícola y crianza de animales. Su uso está más difundido como combustible doméstico en sustitución del GLP, generación eléctrica y calefacción. A nivel industrial es utilizado por algunas empresas para generar su propia energía utilizando los residuos generados en sus procesos, residuos como efluentes industriales con alta carga de DBO, o estiércol en caso de industrias dedicadas a la crianza de animales para el consumo humano (ganado, pollo, porcinos). La producción de biogás se llega a cabo en reactores cerrados para evitar la presencia de oxígeno, estos reactores son denominados biodigestores. A continuación se detalla el proceso de producción de biogás que usa residuos agrícolas como forrajes, pajas, y estiércol.

b) Compostaje

El compostaje consiste en la preparación de la carga que será ingresada al biodigestor y tiene el objetivo de eliminar los microorganismos patógenos que pueden causar reacciones no deseadas. Los residuos agrícolas son humedecidos y colocados en forma de capas intercaladas con residuos orgánicos manteniendo una determinada relación carbono/ nitrógeno (C/N). La temperatura del compost puede alcanzar los 70-80°C, temperatura suficiente para eliminar los agentes patógenos.

La carga debe tener una relación C/N adecuada. La fuente de nitrógeno está integrada por residuos orgánicos como estiércol, y la fuente de carbono está

integrada por residuos agrícolas, como tallos y hojas. Las bacterias responsables de la descomposición utilizan el carbono para obtener energía y el nitrógeno para la construcción de estructuras celulares. Las bacterias utilizan carbono con una rapidez aproximada de 25-30 veces más que el nitrógeno. Es por ello que la relación adecuada de C/N es de 25 a 30, si la relación es mayor a 30 (mayor cantidad de carbono), el ritmo de producción disminuirá debido a que el nitrógeno se consumirá más rápido que el carbono, acidificando la masa de fermentación, pero si la relación es menor (menos cantidad de carbono), el proceso consumirá rápidamente el carbono hasta su consumo total causando la elevación del pH y el nitrógeno sobrante se perderá en forma de amoníaco ^[10].

c) Fermentación

La fermentación se lleva a cabo en el biodigestor, este cuenta con un sistema de alimentación donde es introducida la carga, un sistema de evacuación de líquidos, y una red de evacuación del biogás generado anexado a un sistema de almacenamiento. El compost es mezclado dentro del biodigestor con agua y residuos orgánicos. Durante la fermentación se controla la producción de biogás por medio del aumento de la presión. Producto de la fermentación, una cantidad significativa de líquidos y sólidos es generado, estos poseen nutrientes por los cuales se les puede dar uso como biofertilizante. La Figura 6 muestra un esquema simplificado de la producción de biogás a partir de estiércol y residuos agrícolas.

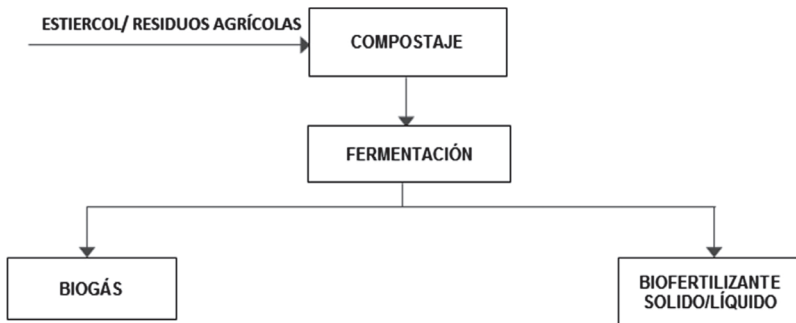


Figura 6. Esquema de producción de biogás (elaboración propia).

III. DISCUSIÓN

Los biocombustibles se presentan como una importante fuente de energía alternativa. Sin embargo su carácter renovable y la sustentabilidad de su producción se han puesto en discusión.

El metanol utilizado para producir biodiesel es producido mayormente a partir del gas natural, lo que torna al biodiesel un producto no totalmente renovable. Utilizar bioetanol es una alternativa para producir un biodiesel más renovable. El uso de agua en su producción también es un punto crítico, tecnologías como el uso de tierras adsorbentes o resinas para la remoción de contaminantes son una opción para disminuir el uso de agua. En el caso del bioetanol, la vinaza que se genera en la destilación representa un potencial contaminante si es que este no es tratado adecuadamente. Debido a su contenido de nutrientes este puede ser utilizado para la irrigación del plantío de la caña. Otras alternativas como el tratamiento anaeróbico para generar biogás, o la concentración para su uso como combustible en calderas están actualmente en estudio y aplicación. Producir etanol a partir del bagazo es el principal potencial de la caña de azúcar, puesto que permitiría aumentar el rendimiento en etanol sin aumentar el área de cultivo.

El biogás es una excelente fuente de energía para zonas rurales donde el acceso a la energía es limitado y caro. El biofertilizante generado en su producción también representaría un beneficio económico para sus productores puesto que se puede usar en remplazo de los fertilizantes químicos. El principal beneficio del biogás es el hecho de que su producción evita que la materia orgánica no aprovechada se convierta en un foco de contaminación y fuente de emisión de metano a la atmosfera, producto de su descomposición.

IV. CONCLUSIONES

En este trabajo, se han revisado los diferentes procesos usados para la producción de biocombustibles de primera generación, específicamente el bioetanol, el biodiesel y el biogás. La decisión de producir alguno de ellos está limitada por la biomasa disponible, las regulaciones existentes (por ejemplo, subsidios) y por la demanda del mercado, así como por los costos de inversión y operación. Aquí se esclarecen los procesos productivos de manera esquemática, lo que puede contribuir a la toma de decisiones de productores o inversionistas interesados.

Existen beneficios de su uso. Sin embargo hay barreras que enfrentar para concluir que la producción de biocombustibles se da en una forma sustentable. El problema de una posible distorsión de precio de los alimentos, deforestación como resultado de una súper producción, y el mismo hecho de emplear alimentos para su producción, implicaría desde ya un estudio más analítico sobre la realidad de sus beneficios.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. American Society for Testing and Materials. Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels - ASTM D6751-15, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015.
2. Lora S.E., Venturini J.O. Biocombustíveis. 1ª.ed. Rio de Janeiro: Editorial Interciência; 2012.
3. Castro P., Coello J., Castillo L. Opciones para la producción y uso del biodiesel en el Perú. Lima :Soluciones Prácticas—ITDG; 2007.
4. Alejos C. A., Araújo O. Q., Yokoyama L. Análise do Ciclo de Vida do Biodiesel

- de Soja: uma comparação entre a rota metélica e etélica [Tesis de maestría]. Rio de Janeiro-Brasil: Universidade Federal de Rio de Janeiro. Escola de Química; 2013.
5. Herrera E. J. Diseño de las etapas de hidrólisis de almidón y fermentación para producir bioetanol basado en la respuesta dinámica del sistema [Tesis]. Cartagena de Indias-Colombia: Universidad de Cartagena. Facultad de Ingeniería – Programa de Ingeniería Química; 2013.
 6. Agência Nacional de Águas - Ministério do Meio Ambiente. Manual de Conservação e Reúso de Água na Agroindústria Sucreenergética. Brasília: ANA, 2009.
 7. Friedich F. J. La Energía de la Biomasa. 2a ed. Madrid: Sociedad Anónima de Publicaciones Técnicas; 1999.
 8. Uyazán A., Gil I., Aguilar J., Rodríguez G., Caicedo L. Deshidratación del etanol. Ingeniería e Investigación. 2004; (24):49-59.
 9. Al Seadi T., Rutz D., Prassl H., Köttner M., Finsterwalder T., Volk S., Janssen R. Biogas Handbook. Denmark: Teodorita Al Seadi; 2008.
 10. Cueva A. B. Obtención de biogás de estiércol porcino y restos vegetales, por fermentación semicontinua [Tesis]. Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman. Facultad de Ciencias; 2012.