

## Materias primas alternativas para la producción de bioetanol y su aplicación como combustible

### Alternative raw materials to produce bioethanol and its application as fuel

Carla Andrade Delgadillo 1. Carla Apaza Rojas 2. Rosa Silvestre Vargas 3.

1 Ingeniera de Alimentos. Docente tiempo completo del Departamento de Petróleo Gas y Energías, Universidad Privada del Valle

[candraded@univalle.edu](mailto:candraded@univalle.edu)

2 Ingeniera Química. Coordinadora de Laboratorios de Petróleo Gas y Energías, Universidad Privada del Valle

[capazar@univalle.edu](mailto:capazar@univalle.edu)

3 Estudiante de la Carrera de Ingeniería de Petróleo Gas y Energías, Universidad Privada del Valle  
[silvestrevargasr@gmail.com](mailto:silvestrevargasr@gmail.com)

#### RESUMEN

Con el fin contribuir a la generación de nuevas alternativas para producción de biocombustibles, se evaluó la producción de etanol a partir de mango, maíz y plátano mediante una fermentación alcohólica, usando como cepa la *Sacharomyces cerevisae*. La materia prima con mayor cantidad de azúcares fermentables y mayor rendimiento para la producción de etanol fue el mango.

Se efectuaron mezclas con el etanol destilado en distintas proporciones de alcohol y gasolina, denominado Gasohol, encontrando que su variante E5 presenta un incremento en la presión de vapor de Reid con respecto a la gasolina de uso convencional (Gasohol E-10 y E-5 se encuentran dentro de los parámetros internacionalmente establecidos). Se prevé realizar un estudio de factibilidad a partir de los resultados obtenidos para una producción a escala piloto, además de estudios complementarios para evaluar el rendimiento del biocombustible en motores.

**Palabras clave:** Bioetanol. Combustibles alternativos. Sustentabilidad energética. Biocombustibles.

#### ABSTRACT

To contribute to the generation of new alternatives to produce biofuels, the production of ethanol from mango, corn and banana was evaluated through an alcoholic fermentation using the *Sacharomyces cerevisae* as a strain. The raw material with the highest amount of fermentable sugars and the highest yield to produce ethanol was mango.

With the distilled ethanol mixtures were made in different proportions of alcohol and gasoline, known as Gasohol, finding that his variant E5 presents an increase in the vapor pressure of Reid with respect to conventional gasoline (Gasohol E-10 and E-5 are within the internationally established parameters). Based on the results obtained, a feasibility study is planned for a pilot-scale production, as well as complementary studies to evaluate the performance of biofuel in engines.

**Keywords:** Bioethanol. Alternative fuels. Energy sustainability. Biofuels.

**INTRODUCCIÓN**

La generación de nuevas alternativas energéticas surge a raíz de la necesidad de preservar al medio ambiente y contribuir a la mitigación del cambio climático. En los países en desarrollo, la energía utilizada proviene principalmente de combustibles fósiles y representa aproximadamente el 90 % del consumo global; cabe resaltar que alrededor del 50 % de la producción energética mundial está destinada al parque automotor con un alto porcentaje de consumo de gasolina. En este contexto, el bioetanol se constituye en una alternativa para reemplazar a este destilado del petróleo, considerando la similitud de ambos en cuanto al poder calorífico. Es muy probable que —a futuro— este biocombustible será el que reemplace de mejor manera al fósil por sus propiedades y características energéticas.

**MATERIALES Y MÉTODOS**

**Características de la muestra**

Básicamente, el alcohol etílico puede ser producido a partir de cualquier tipo de azúcar que pueda ser sometido a un proceso de fermentación alcohólica. En consecuencia, incluye todo tratamiento que se requiere para extraer de la materia prima los azúcares fermentables para lograr una fermentación sustentable. Puesto que el almidón y otros hidratos de carbono pueden ser hidrolizados a azúcares fermentables, por medios biológicos o por medios químicos, se puede disponer de muchas fuentes de azúcar que se clasifican según su composición (Montaño, 2014).

Las materias primas consideradas en el estudio corresponden a la producción característica de la zona del valle de Cochabamba.

- *Materias primas sacaroideas*  
Incluyen azúcar de caña, remolacha, melaza, jugos de fruta, etc. La preparación de la mezcla inicial fue similar para todas ellas, ya que por su alto contenido de azúcares simples requieren poco o ningún tratamiento preliminar, sólo un método eficiente de extracción, una dilución en algunos casos y la inversión de la sacarosa cuando el biocatalizador así lo requiera (Montaño, 2014).

Mango: nombre que reciben varias especies de árboles del género mangífera que crecen en la zona intertropical. Es de pulpa carnosa y dulce (aunque es de sabor medianamente ácido cuando no ha madurado completamente), por lo que destaca entre sus principales características su buen sabor; puede ser o no fibrosa, siendo la variedad llamada mango de hilacha la que contiene mayor cantidad de fibra. Es de color verde en un principio y amarillo naranja, e incluso rojo-granate, cuando está maduro (Diccionario de la lengua española, 2014).

Tabla N°1. Composición química del mango

Calorías	60,00
Proteínas	0,40
Carbohidratos	15,90
Fósforo	15,00
Caroteno	1,03
Tiamina	0,03
Riboflavina	0,11
Niacina	0,39
Ácido ascórbico	1,80

Fuente: FAO-WHO/Codex Alimentario, 2018

Plátano: su fruto es una falsa baya epígina de 7 a 30 cm de largo y hasta 5 de diámetro, que forma un racimo compacto. Está cubierta por un pericarpio coriáceo verde en el ejemplar inmaduro y amarillo intenso, rojo o bandeado verde y blanco al madurar. Es de forma lineal o falcada, entre cilíndrica y marcadamente angulosa, según la variedad. El extremo basal se estrecha abruptamente hacia un pedicelo de 1 a 2 cm. La pulpa es de color blanco a amarilla, rica en almidón y dulce; su textura puede resultar algo astringente o gomosa por su contenido en látex, farinoso y seco. (Diccionario de la lengua española, 2014). Se puede comprender con los datos de la tabla N°7 que el proceso de maduración transforma los almidones en glucosas y disminuye la celulosa, haciendo la fruta más fácilmente digerible y asimilable (Montaño, 2014).

Tabla N°2. Composición química del plátano

	Verde	Maduro
Agua	69,58	75,12
Almidón	15,37	4,21
Celulosa	7,54	0,92
Sacarosa	9,36	---
Glucosa	0,58	5,1
Dextrosa	1,82	1,76
Gomas	0,67	1,6
Tanino	0,006	0,01
Proteínas	2,1	---
Cenizas	0,76	0,76

Fuente: FAO-WHO/Codex Alimentario, 2018

- **Materias primas amiláceas**

Incluyen al maíz, trigo, sorgo y cebada; también a tubérculos como yuca, papa, etc. Se diferencian de las anteriores porque la preparación de la mezcla inicial incluye una etapa previa de hidrólisis del almidón que permite dejar la glucosa disponible para el biocatalizador (Montaño, 2014).

**Wiñapu:** el maíz es uno de los cereales más abundantes y populares en el mundo (asimismo uno de los más consumidos), tomando actualmente un lugar importante en muchas gastronomías, especialmente de las de América Latina (de donde la planta es originaria), aunque también se la cultiva en Europa.

Tabla N°3. Composición química del Wiñapu

Proteínas	3,7
Extracto etéreo	1,0
Fibra cruda	86,7
Cenizas	0,8
Almidón	7,3
Azúcar	0,34

Fuente: FAO-WHO/Codex Alimentario, 2018

### Procedimiento

- **Pretratamiento a las materias primas**

**Del mango y plátano:** el proceso inició con la recepción, selección y limpieza de la materia

prima; posteriormente se procedió con su pelado, triturado y licuado para luego homogenizar, con el fin de garantizar la uniformidad de los sólidos solubles.

**Del maíz:** una vez recibidos los granos de maíz, estos se hidrataron a fin de permitir su germinación; después se procedió con el secado y molido, obteniendo el Wiñapu; este fue hidratado y homogenizado con agua antes de iniciar la fermentación.

- **Fermentación**

El proceso fue similar para todas las materias prima consideradas en el estudio. Se agregó la levadura activada a la solución homogénea y se realizó la fermentación primaria y secundaria en un ambiente controlado, con baja humedad y sin entrada de luz; este proceso concluyó cuando la medición de los sólidos solubles fue constante.

- **Destilación**

Concluida la fermentación, se procedió a medir el grado alcohólico de todas las muestras antes de iniciar la destilación, la cual se efectuó en un destilador simple cuidando los rangos de temperatura. Este paso concluyó cuando se obtuvo alcohol 95 °GL.

- **Caracterización del alcohol obtenido**

Los parámetros fisicoquímicos evaluados en las muestras de etanol (según la USP 37) fueron el índice de refracción, densidad, análisis de residuos no volátiles, aldehídos y cetonas, acidez y el porcentaje de alcohol.

Estos parámetros se midieron también con gasolina y etanol absoluto para comparar su comportamiento, como se refleja en la tabla N°6.

### RESULTADOS

Se obtuvo el alcohol destilado al 95 % de pureza de la fermentación alcohólica de las materias primas estudiadas.

Con base al balance de masa, se realizó el análisis a la cantidad de azúcares fermentables en las

materias primas, donde los porcentajes de rendimiento son los siguientes:

Tabla N°4. Rendimientos del proceso de fermentación

Materia prima	Rendimiento
Plátano	7,72%
Maíz	12,39 %
Mango	15,66%

Fuente: Elaboración propia, 2017

En la tabla N°4 se observa que la materia prima con mayor cantidad de azúcares fermentables es el mango (respecto al plátano y maíz). Estos productos se fermentaron con un cultivo seleccionado de *Sacharomyces cerviciae*, logrando los siguientes resultados:

Tabla N°5. Alcohol obtenido de la fermentación de las materias primas

Materia prima	Alcohol obtenido
2 kg plátano	85 ml
2 kg maíz	175 ml
2 kg mango	338ml

Fuente: Elaboración propia, 2017

En la tabla N°5 se aprecia que la cantidad de alcohol (destilado) obtenido al 95 % de pureza es mayor en el mango. Una vez destilado el alcohol, se efectuaron distintas mezclas a fin de comparar sus parámetros fisicoquímicos con los de la gasolina. El alcohol que se utilizó fue el destilado, producto de la fermentación, y etanol absoluto.

Tabla N°6. Análisis realizados al alcohol obtenido de las distintas materias primas

Materia prima	Índice de refracción	Peso específico	Grado alcohólico	Alcoholímetro de Gay Lussac	Acidez	Aldehídos y cetonas
Maíz	1,3645	0,8227	94,9%	No se realizó, cantidad de muestra insuficiente	No hay presencia de ácidos	No hay presencia de aldehídos y cetonas
Plátano	1,3645	0,8285	95%	No se realizó, cantidad de muestra insuficiente	No hay presencia de ácidos	No hay presencia de aldehídos y cetonas
Mango	1,3635	0,8295	95%	90%	No hay presencia de ácidos	No hay presencia de aldehídos y cetonas

Fuente: Elaboración propia, 2017

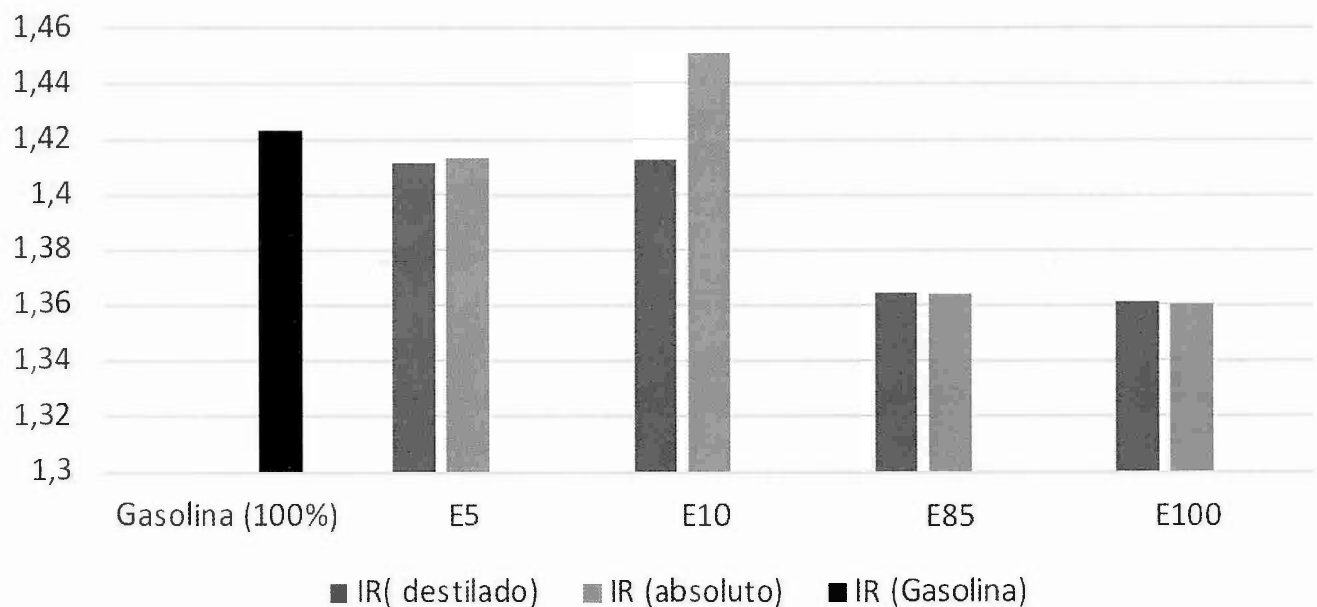
Tabla N°7. Análisis realizado a las mezclas

Mezcla*	Apariencia	Color	Índice de refracción	Densidad g/mL	Presión de Reid mBar	Análisis de residuos % V	
Gasolina (100%)	Claro	Incoloro	1,423	0,737	445	0	
Etanol destilado	E5	Opaco - ahumado	1,411	0,736	460	0,002	
	E10	Translúcido	1,413	0,745	340	0,001	
	E85	Claro	1,365	0,799	200	0,004	
	E100	Claro	Incoloro	1,361	0,812	0	0,002
Etanol absoluto	E5	Opaco	1,413	0,74	450	0,000	
	E10	Ahumado	1,451	0,739	380	0,000	
	E85	Claro	Cristalino	1,364	0,795	130	0,001
	E100	Claro	Cristalino	1,36	0,797	100	0,000

\* E5 (5 % de etanol y 95 % gasolina), E10 (10 % de etanol y 90 % gasolina), E85 (85 % de etanol y 25 % gasolina), E100 (100 % de etanol)

Fuente: Elaboración propia, 2017

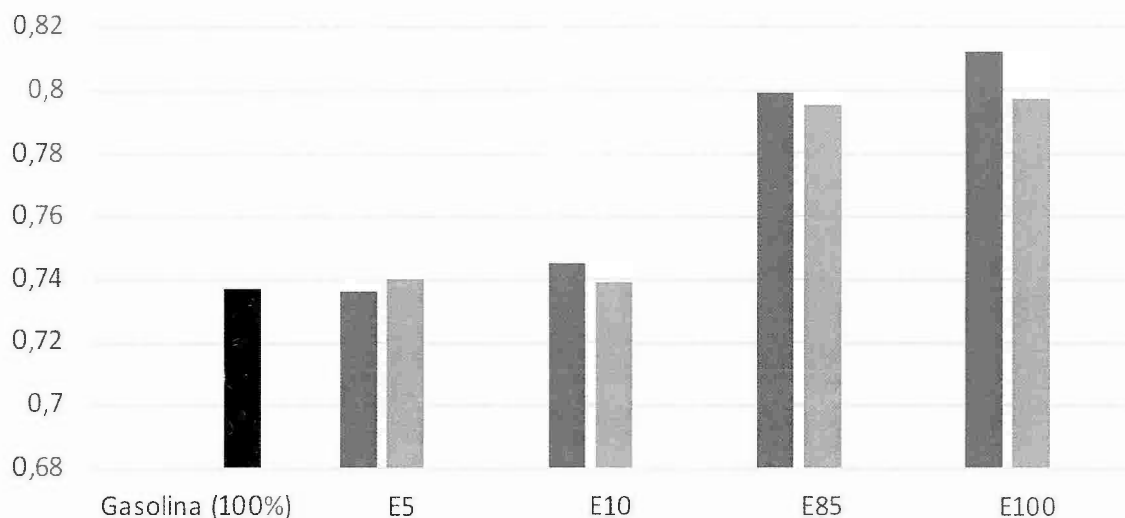
Gráfico N°1. Índice Refracción



Fuente: Elaboración propia, 2017

En el gráfico N°1 se observa que el índice de refracción de las mezclas de etanol respecto a la gasolina es menor; sin embargo, esta propiedad no influye significativamente en las termodinámicas del combustible, por lo que la mezcla E-5 se considera aceptable.

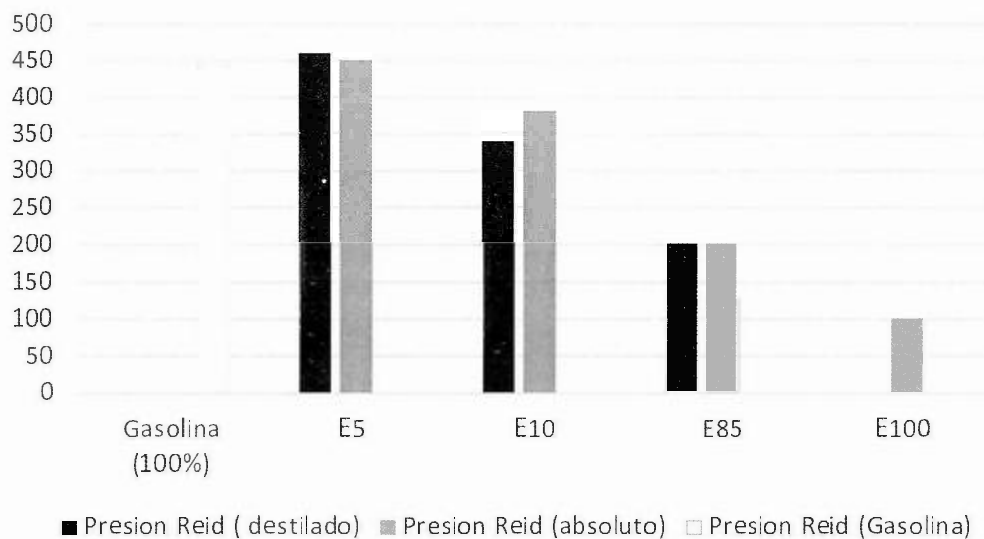
Gráfico N°2. Densidad



Fuente: Elaboración propia, 2017

En el gráfico 2, se advierte que la mezcla E-5 es más similar que las demás a la gasolina.

Gráfico N°3. Presión de Reid [mBar]



Fuente: Elaboración propia, 2017

En el gráfico N°3 se observa que la presión de Reid en la mezcla E5 es mayor que en la gasolina, este resultado demuestra que esta mezcla se puede utilizar como un combustible con similares características. El comportamiento descendente de las demás muestras —respecto a la gasolina— conduce a la posibilidad de descartarlos como combustible, a excepción de la mezcla E-10, cuyos parámetros fisicoquímicos se encuentran dentro de lo establecido en las normas internacionales.

Los costos de producción de bioetanol a escala laboratorio muestran que producir un litro a partir de mango tiene un valor de 170,3 Bs; de maíz, 439 Bs; y de plátano, 262,3 Bs. Los ítems que se tomaron en cuenta son principalmente los costos de materiales, mano de obra y los gastos indirectos de fabricación, los cuales se detallan en la tabla N°8.

Tabla N°8. Costo de producción de 0,320 L de bioetanol a partir de Mango en Bs

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario Bs.	Costo Unitario Bs.	% CP
<b>Gastos directos</b>					
Materias primas				2,52	4,62%
Mango	3,15	kg	0,8	2,52	
<b>Gastos indirectos</b>					
Insumos				50,6	92,86 %
Agua	0,003	m3	3,3	0,010	
Azúcar	0,024	kg	8	0,2	
Levadura	0,01	kg	3000	30,00	
Cal	5,1	kg	4	20,4	
Costo de operaciones				1	2,51%
Depreciación de maquinaria (destilador 4 años)	1	día	1,37	1,37	
Costo de producción de bioetanol a partir de mango	0,32	L	54,5		
Costo de producción de bioetanol a partir de mango	1	L	170,3		

Fuente: Elaboración propia, 2017

## DISCUSIÓN

Si bien se logró obtener alcohol al 95 % v/v a partir de las tres materias primas, la humedad del medio ambiente no permite alcanzar este grado de pureza, ya que el azeótropo formado por el etanol y el agua se da de manera espontánea. Se prevé en un estudio posterior a escala piloto hermetizar los equipos a fin de mejorar los tiempos y volúmenes de destilación.

En cuanto a los azúcares fermentables, se pudo observar una clara diferenciación entre las tres materias primas en cuanto a tiempo y grado alcohólico se refiere: el mango contiene azúcares tipo sacaroideos que facilitaron la fermentación y la producción de etanol; el plátano contiene este mismo tipo de azúcares, mas su fermentación fue lenta y su grado alcohólico bajó debido al pH ácido con que inició la fermentación que provocó un desarrollo desfavorable en las levaduras; el maíz tiene

azúcares tipo amiláceas que necesitan de una hidrólisis para transformar todo el almidón que tiene en glucosa para una buena fermentación. A partir de este estudio, se prevé ajustar los rangos de pH para el plátano y mejorar la hidrólisis para el maíz antes de iniciar la fermentación, buscando obtener mejores resultados en cuanto a tiempo, grado alcohólico y volúmenes de producción se refiere.

La levadura empleada fue la *Sacharomyces cerevisiae*, que se acondicionó antes de su uso; sin embargo, no se repicó o sembró. Este hecho provocó un incremento en los costos de producción. En el estudio a escala piloto se espera que el costo de este factor disminuya el valor adquisitivo de la levadura, al ser el más elevado en todo el proceso, y con su siembra se prevé mejorar los costos de producción para las tres materias primas.

### CONCLUSIONES

Se ha logrado obtener alcohol al 95 % v/v a partir de tres materias primas; el mango con 15,7 % es el de mayor rendimiento, seguido por el maíz (13,4 %) y plátano (7,7 %).

Se realizó el proceso de separación y purificación de alcohol en las muestras fermentadas con equipo de destilación simple, lo cual contempla también una deshidratación a fin de obtener un mayor grado alcohólico.

El estudio de las mezclas de gasolina y alcohol en sus distintas proporciones (E5, E10 yalconaftas E50, E85 y E100) demostró que el E5 presenta un incremento en la presión de vapor de Reid respecto a la gasolina de uso convencional; sin embargo, es menester mencionar que la el E10 se encuentra dentro de los parámetros internacionalmente establecidos.

Si bien la materia prima con mayor rendimiento para la producción de biocombustible es el mango, su limitante es la oferta estacional; por lo tanto, su disponibilidad es menor que la del maíz y el plátano. En cuanto al aspecto económico, el costo de producción de bioetanol a partir de mango es menor comparado con el de maíz (wiñapu) y el plátano. Los costos fijos de producción no varían significativamente a una escala mayor, lo cual es favorable para la producción de bioetanol. Considerando este factor, se prevé que —en un estudio de perfectibilidad a escala piloto—estos costos se verán afectados, mostrando una disminución favorable.

A partir de los resultados obtenidos, se estima realizar un estudio de factibilidad para una producción a escala piloto, a fin de consolidar y/o refutar los resultados obtenidos de la producción a nivel laboratorio. Asimismo, el estudio se constituye en el punto de partida para investigar sobre el comportamiento de bioetanol y las mezclas de Gasohol en motores de automóviles, tiempos de desgaste y corrosión, rendimientos, combustión interna y facilidad de arranque entre otros.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Aburto, J. y Martínez, T. (2008). Evaluación Técnico-económica de la producción de bioetanol a partir de resisuos lignocelulósicos. México: Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos A.C.p. 23-30.
- (2) Grácida, J. (2014) Factores previos involucrados en la producción de bioetanol, aspectos a considerar. Revista Internacional de contaminación ambiental. México: Universidad Nacional Autónoma de México. 30(2): 213-227
- (3) Quintero, L. et al (2015). Evaluacion de residuos de papa, yuca y naranja para la producción de etanol en cultivo discontinuo utilizando Sacharomyces cerevisiae. Revista ION. Colombia: Universidad Industrial de Santander. 43-54.



- (4) Fernández, L., Montiel J., Millán A. y Badillo J.A. (2012). Producción de biocombustibles a partir de microalgas. Ra Ximhai. El Fuerte, México: Universidad Autónoma Indígena de México. 8(3b): 101-115. <https://doi.org/10.35197/rx.08.03.e2.2012.10>
- (5) Velásquez, H., Ruiz, A. y de Oliveira S. (2010). Análisis energético y exergético del proceso de obtención de etanol a partir de la fruta del banano. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia. Colombia: Universidad de Antioquia. (51), 87-96. Recuperado el 25 de agosto de 2017 de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-62302010000100010&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302010000100010&lng=en&tlng=es).
- (6) Núñez, J. y García P. (2012). Biocombustibles: Bioetanol y Biodiesel. Universidad de Santiago de Compostela, España: Miliarium. Recuperado el 25 de agosto de 2017 de [http://www.enciga.org/files/boletins/61/biocombustibles\\_bioetanol\\_y\\_biodiesel.pdf](http://www.enciga.org/files/boletins/61/biocombustibles_bioetanol_y_biodiesel.pdf)
- (7) Montaña, H. (2014). Estudio de factibilidad para una planta de bioetanol a partir del aprovechamiento de cascaras de plátano en la empresa Colombian Biofuel S.A.S. Trabajo de grado para optar el título de Administrador Industrial. Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia. Recuperado el 25 de agosto del 2017 de <http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream/11227/1293/1/378-%20TTG%20-%20ESTUDIO%20DE%20FACTIBILIDAD%20PARA%20UNA%20PLANTA%20DE%20BIOETANOL%20A%20PARTIR%20DEL%20APROVECHAMIENDO%20DE%20CASCARAS%20DE%20PLATANO%20EN%20LA%20EMPRESA%20COLOMBIAN%20BIOFUEL%20S.A.S.pdf>
- (8) The United States Pharmacopeial Convention, I. (2014). USP 37. Farmacopea de los Estados Unidos de América. NF 32. Formulario nacional. EE.UU.: United Book Press. P. 1988-1990.

**Fuentes de financiamiento:** Esta investigación fue financiada con fondos de los autores.

**Declaración de conflicto de intereses:** Los autores declaran que no tiene ningún conflicto de interés.

Copyright (c) 2018 Carla Andrade Delgadillo; Carla Apaza Rojas; Rosa Silvestre Vargas.



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

**Atribución:** Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciente o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumendelicencia](#) - [Textocompletodelalicencia](#)