

Artículo Científico<https://doi.org/10.52428/20758944.v15i45.782>**Obtención de bioetanol a escala piloto como aditivo de la gasolina especial y prefactibilidad de instalación, fase II****Obtaining bioethanol from a pilot scale as an additive to the special gasoline and installation prefactibility, phase II**

Irina Justiniano Ayarde 1. Carla Andrade Delgadillo 2. Carla Apaza Rojas 3. Martha Siles Camacho 4.

1. Egresada de la Carrera de Ingeniería de Petróleo Gas y Energías, Universidad Privada del Valle
irinajustinano@hotmail.com

2. Ingeniera de alimentos. Docente tiempo completo del Departamento de Petróleo Gas y Energías,
candraded@univalle.edu

3. Ingeniera Química. Coordinadora de Laboratorios de Petróleo Gas y Energías, Universidad Privada del Valle
capazar@univalle.edu

4. Ingeniera Química. Directora del Departamento de Petróleo Gas y Energías, Universidad Privada del Valle
msilesc@univalle.edu

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación consiste en validar un proyecto de obtención de bioetanol a escala piloto a partir de materias primas alternativas (mango, banano y maíz) disponibles en el Departamento de Cochabamba, Bolivia. Se proyecta una producción de bioetanol de 540 litros al año, las optimizaciones de los sistemas de separación y del proceso de fermentación permitieron producir alcohol anhidro al 99,6%v/v de pureza. Se determinaron los parámetros de dimensionamiento de la planta piloto y se llevó a cabo la simulación del sistema de separación que comprende los procesos de destilación y deshidratación en el software Aspen HYSYS® v. 8.0.

El análisis fisicoquímico realizado -además de permitir la caracterización del Bioetanol, Gasohol E-10 y gasolina especial- proporcionó la información necesaria para determinar el uso del alcohol anhidro como aditivo de la gasolina. Los resultados obtenidos revelaron que las distintas propiedades se encuentran dentro de los parámetros establecidos en la norma ASTM D4806 y las normativas correspondientes según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2006.

Los resultados de la investigación proponen la producción de alcohol anhidro que cubriría un porcentaje de la demanda departamental anual del nuevo combustible Súper Etanol 92, el costo de producción es Bs.120,85 por litro de etanol anhidro al 99,6 % y la recuperación de la inversión en 9 años.

Palabras clave: Bioetanol. Gasolina. Gasohol. E10. Producción piloto.

ABSTRACT

The aim of this research is to validate a project to obtain bioethanol on a pilot scale from alternative raw materials (mango, banana and corn) available in the Department of Cochabamba, Bolivia. It is projected a production of bioethanol of 540 liters per year, the separation systems' optimization and the fermentation process allowed to produce anhydrous alcohol at 99,6% v/ v of purity. The pilot plant sizing parameters were determined and the separation system simulation comprising the distillation and dehydration processes in the Aspen HYSYS® v. 8.0. software was carried out.

The physicochemical analysis carried out -in addition to allow the characterization of Bioethanol, Gasohol E-10 and special gasoline- provided the necessary information to determine the use of anhydrous alcohol as an additive to gasoline. The results obtained revealed that the different properties are within the parameters established in the ASTM D4806 standard and the corresponding regulations according to the Economic Commission for Latin America and the Caribbean, 2006.

The results of the research propose the production of anhydrous alcohol that would cover a percentage of the annual departmental demand of the new Super Ethanol 92 fuel, the production cost is Bs.120,85 per liter of 99,6% anhydrous ethanol and investment recovery in 9 years.

Keywords: Bioethanol. Gasoline. Gasohol. E10. Pilot production.

INTRODUCCIÓN

La actual crisis energética y ambiental del planeta generada por la certidumbre del agotamiento de los combustibles fósiles y el incremento de la emisión de gases de efecto invernadero, ha inducido a la sociedad mundial a buscar otras opciones que permitan la sustitución gradual de las fuentes que proveen energía a la humanidad con base en el petróleo, diésel y gasolinás, por otras de menor impacto global y de mayor sostenibilidad general.

En esta búsqueda de opciones ha surgido la posibilidad de utilizar cultivos agrícolas ricos en azúcares, almidones, celulosa, así como de valorizar residuos agroforestales, para transformarlos en bioetanol (ICBE, 2008). El desarrollo de los biocombustibles en Bolivia ha sido fuertemente impulsado por instituciones como la Cámara de Industria, Comercio, el Instituto Boliviano de Comercio Exterior (IBCE), la Cámara Agropecuaria del Oriente (CAO) y la Asociación de Productores de Oleaginosas y Trigo (ANAPO), como una oportunidad ante las grandes potencialidades que presenta Bolivia para obtener importantes beneficios de esta iniciativa que ha despertado interés mundial (PNUD, 2008).

En este contexto, el objetivo de la presente investigación consiste en validar un proyecto de obtención de bioetanol a escala piloto a partir de materias primas alternativas (mango, banano y maíz) disponibles en el Departamento de Cochabamba, Bolivia, en base a los resultados obtenidos en laboratorio por Andrade, Apaza & Silvestre (2018).

MATERIALES Y MÉTODOS

1.1. Características de la muestra

Materias primas sacaroides

- Mango (*Mangifera indica*): es una fruta tropical obtenida del árbol del mismo nombre, árbol de la familia anacardiáceas. Tiene forma ovalada o esferoidal con piel no comestible y color variable entre amarillo, verdoso y rojo intenso (Martínez, 2018). Contiene 13,66 % p/p de azúcares fermentables (USDA, 2015). La producción de mango en Bolivia durante el período de cosecha de 2016 a 2017 fue 810.000 kg (INE, 2019).
- Banano (*Musa × paradisiaca*): tiene forma oblonga, alargada y algo curvada dependiendo de la variedad, la piel puede ser de color amarillo verdoso o amarillo y la pulpa blanca o marfil (VCIE, 2017). Contiene 12,23 %p/p de azúcares fermentables (USDA, 2018). La producción de banano en Bolivia durante el período de cosecha de 2016 a 2017 fue 251.023.000 kg (INE, 2019).

Materias primas con almidón

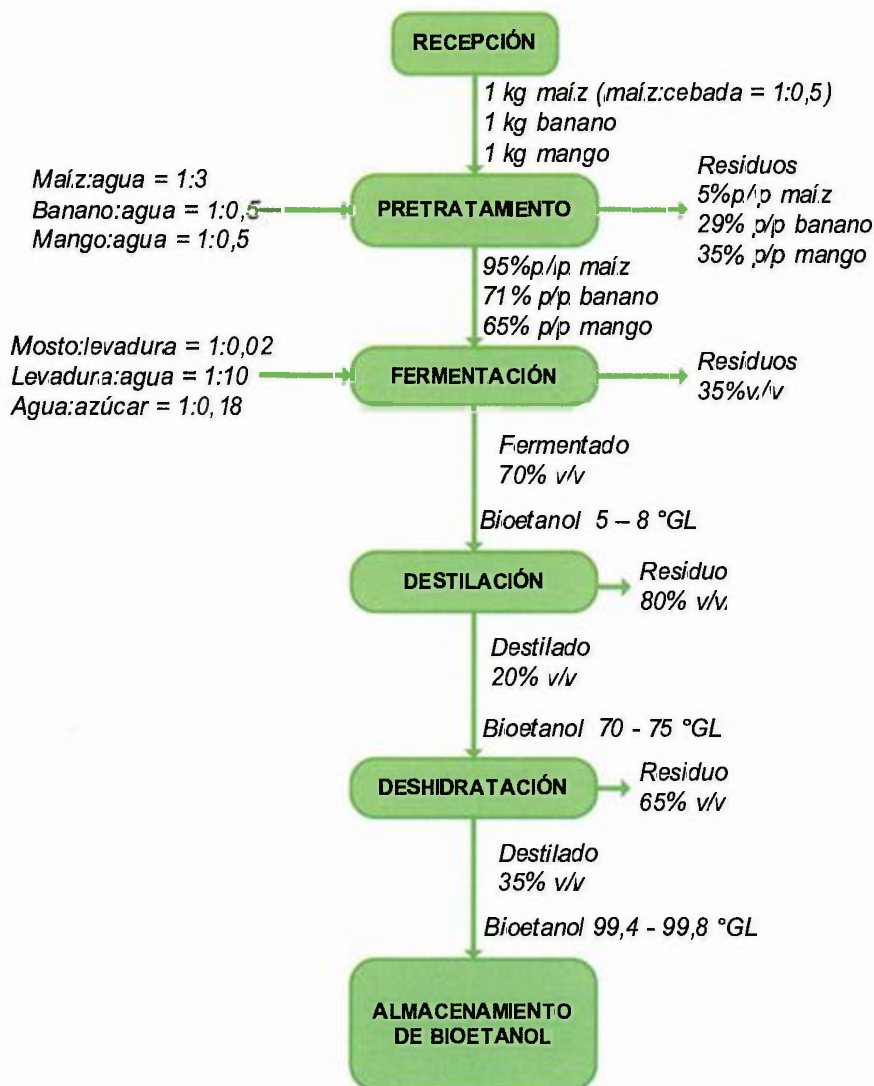
• Maíz (*Zea mays*): es la materia prima más empleada en el mundo para producir almidón, ya sea para la industria alimentaria o para la producción de etanol (Cardona, Sánchez, & Gutiérrez, 2010). Los azúcares fermentables son el 3,22 % p/p (USDA, 2019). La producción de maíz en Bolivia durante el período de cosecha de 2016 a 2017 fue 77.800.000 kg (INE, 2019).

1.2. Proceso de obtención de bioetanol

1.2.1. Proceso a escala de laboratorio

El diseño propuesto a escala piloto se desarrolla a partir de los resultados obtenidos a nivel laboratorio, estos fueron generados en la primera fase del proyecto y se optimizaron durante la segunda fase, con el objetivo de alcanzar mayores rendimiento en las distintas etapas del proceso de obtención de bioetanol (Diagrama N°1).

Diagrama N°1. Etapas del proceso de obtención de bioetanol

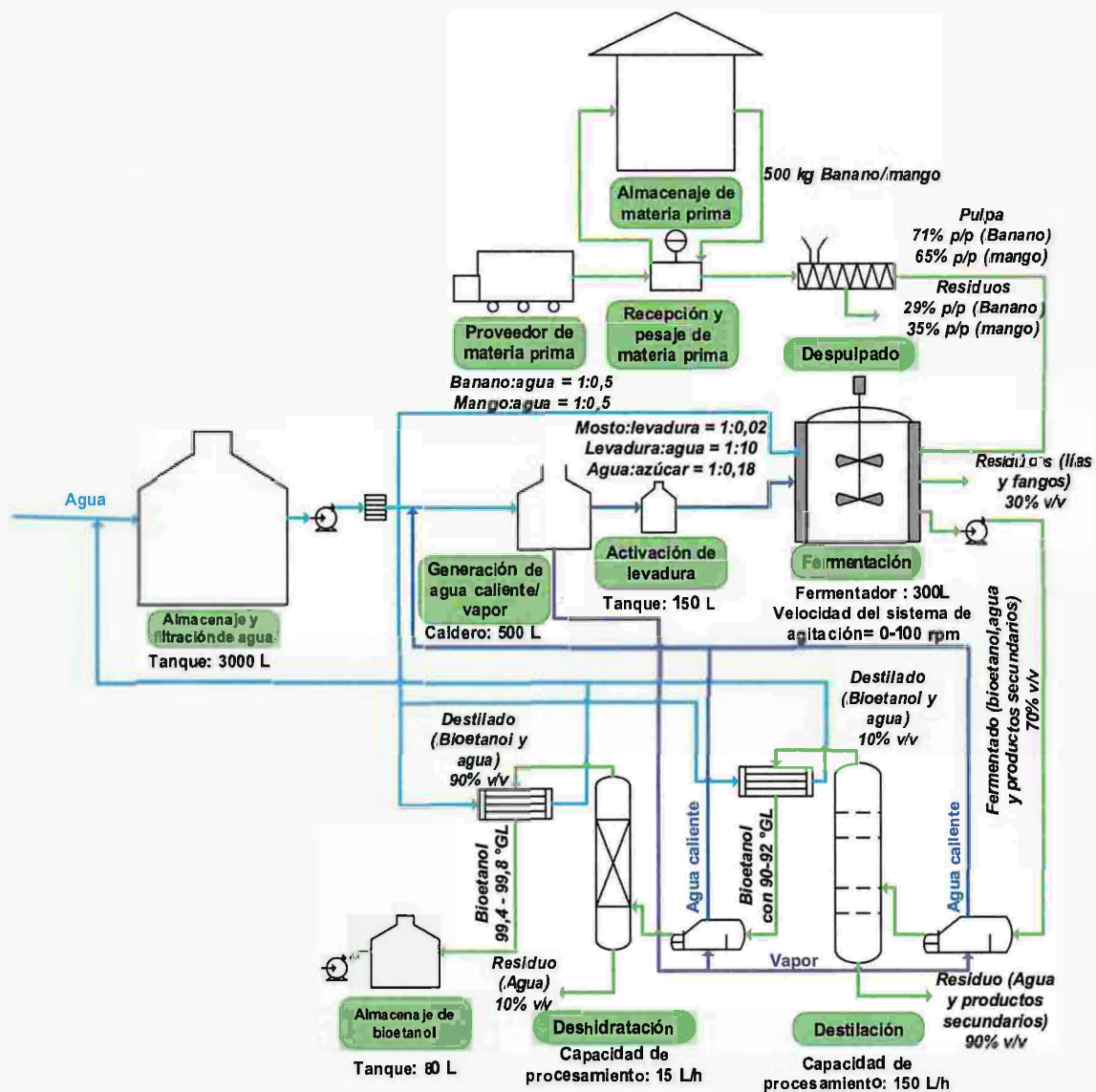


Fuente: Elaboración propia, 2019.

1.2.2. Proceso a escala piloto

El diseño propuesto para la obtención de Bioetanol anhidro se fundamenta en los resultados emanados del proceso a escala laboratorio, estos se constituyen en la base de cálculo de diseño de equipos y parámetros de control del proceso. En el diagrama de bloques (Diagrama N°2), se observa que el proceso inicia con la recepción y almacenamiento de materia prima, en esta primera etapa se evalúa la calidad del producto; seguidamente, la materia prima es procesada y acondicionada para llevar a cabo la fermentación; el fermentado es transportado a la torre de destilación con la finalidad de separar el etanol del agua; la destilación se lleva a cabo en una columna empacada con anillos Pall de 1"; el destilado ingresa al proceso de deshidratación que consta de una columna empacada con zeolita A3, en esta etapa el alcohol alcanza un grado de pureza del 99,6% v/v; finalmente, el bioetanol anhidro se almacenará en un tanque provisto para este fin.

Diagrama N°2. Diagrama de flujo del proceso piloto



Fuente: Elaboración propia, 2019

El abastecimiento de materia prima fue planificado de acuerdo con disponibilidad y tiempos de cosecha. El diseño de la planta piloto contempla únicamente al mango y banano, dejando de lado al maíz pese a ser la materia prima con mayor rendimiento de alcohol producido, los aspectos que se consideraron para prescindir de este son:

- El costo de producción de bioetanol anhidro es mayor con respecto al mango y banano.
- Requiere de un proceso adicional de pretratamiento. Esta nueva etapa se lleva a cabo en un tiempo de 192 horas continuas y requiere de equipo destinado exclusivamente para este fin (cámara de germinación, cámara de hidrólisis, secador solar, molino, etc.)
- El precio del maíz (Bs.10/kg) es elevado con respecto al mango (Bs. 0,30/kg) y banano (Bs. 0,15/kg).
- Se desestimó el uso del maíz, por tratarse de un producto de consumo masivo.

RESULTADOS

1.3. Escala de laboratorio

El mosto de las materias primas se fermentó en tiempos diferentes bajo las mismas condiciones de temperatura y humedad, arrojando 0,094, 0,204 y 0,101 L de alcohol obtenidos a partir de 1 kg de banano, maíz y mango, respectivamente.

Los resultados del análisis fisicoquímico (Tabla N°1) reflejan que el Gasohol E-10 tiene un comportamiento similar al de la gasolina, ambos se encuentran dentro de las especificaciones de la CEPAL (Duarte, 2006). Uno de los parámetros en los que se observa grandes diferencias es la presión, siendo el Gasohol E-10 superior a la gasolina, lo cual facilita el arranque del motor sin ocasionar pérdidas por evaporación. Los análisis referentes al punto de inflamabilidad fueron realizados para el bioetanol y Gasohol E-10 bajo las condiciones establecidas por norma D-56 (ASTM, 2002) y considerando lo establecido en el Handbook del etanol (EQUISTAR, 2003); para la determinación del punto de inflamabilidad de la gasolina especial la muestra se analizó a -0°C y no así a -40°C como establece la norma D-56 (ASTM, 2002), debido a que el laboratorio no cuenta con un equipo de frío que permita descender la temperatura hasta dicho punto en ese sentido, cabe resaltar la necesidad de un especial cuidado en el almacenaje del Gasohol E-10 por las temperaturas de inflamabilidad.

Tabla N°1. Caracterización fisicoquímica de la Gasolina, Bioetanol y Gasohol E10

Propiedad	Método	Gasolina (100%)	Bioetanol	GasoholE10
Color	Visual	Ligeramente amarillo	Incoloro	Ligeramente amarillo
Aspecto	Visual	Límpido	Límpido	Límpido
Acidez (ácido acético) % p/p	ASTM D1613	0,0025	0,002	0,0025
Índice de refracción	ASTM D1747	1,4156	1,3616	1,4096
Densidad Relativa	ASTM D1298	0,7216	0,7933	0,7292
Densidad g/mL	ASTM D1298	0,7181	0,7908	0,7257
Presión de Reid Kpa	ASTM D323	43,2	Fuera de rango	57,2
Color de la flama	Visual	Naranja intenso, exceso de humo	Naranja, ausencia humo	Naranja intenso, presencia humo
Punto de inflamabilidad °C	ASTM D56	9	16	14
Residuos % p/p	USP 37	0,0875	0,0001	0,0703

Fuente: Elaboración propia, 2019.

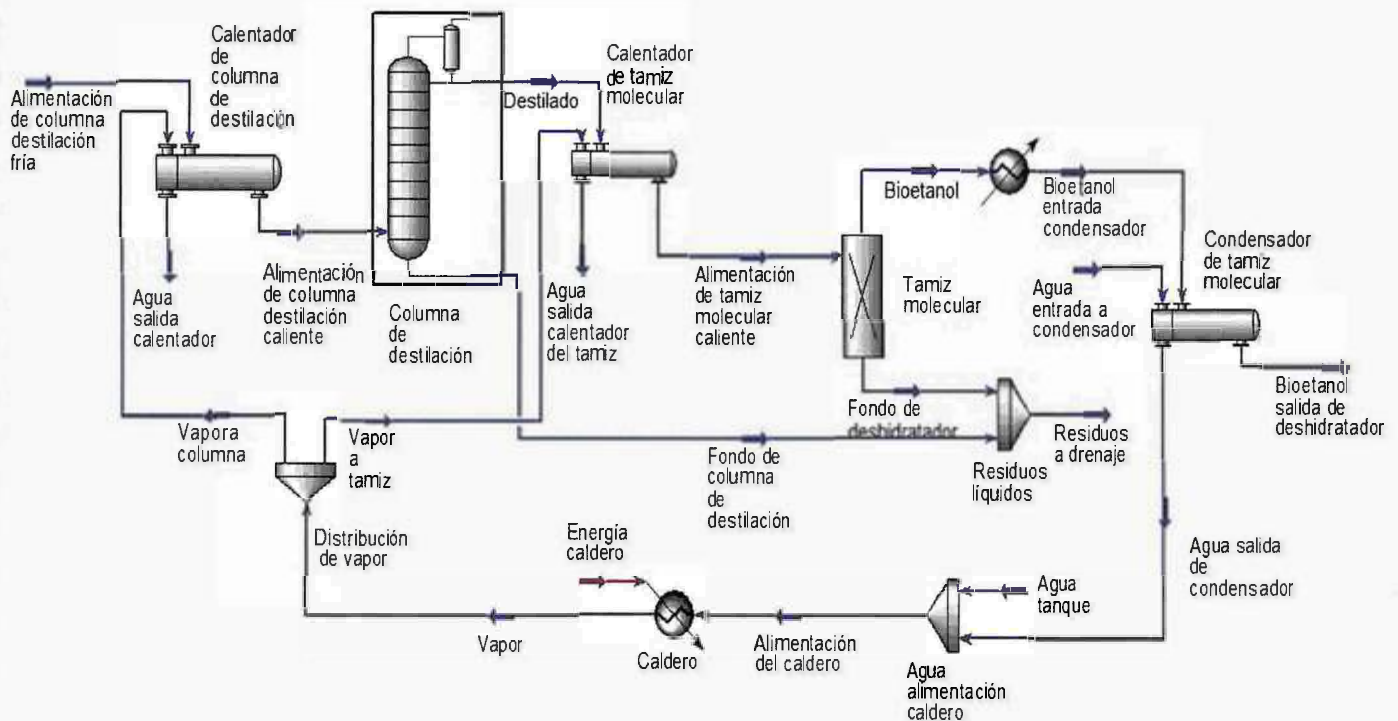
1.4. Escala piloto

El dimensionamiento a escala piloto permitirá obtener entre 66 y 57 L de bioetanol a partir de 500 kg de banano y mango, respectivamente. La planta operará por lotes, en una cantidad de 5 por mes obteniendo 10,8 L de alcohol en cada lote, alcanzando una producción anual de 540 L, estos valores han sido extrapolados considerando como base de cálculo los datos obtenidos a nivel laboratorio.

El diseño considera la estructuración de la planta de tal manera que permita la investigación nuevos proyectos, los cuales estarán enfocados al uso de nuevas materias primas, reevaluación de los parámetros, optimización de funcionamiento del equipamiento, estudios de transferencia de calor entre otros.

Se han efectuado los cálculos para determinar los parámetros de dimensionamiento del sistema de separación, que comprende los procesos de destilación (Chuquín, 2013) y deshidratación (Arellano & Riofrío, 2014) considerando además como base los criterios establecidos en los manuales de diseño (PDVSA,1997), además se realizó una simulación (Figura N°1) de este sistema en el software Aspen HYSYS® v. 8.0 con el objetivo de verificar y validar los resultados.

Figura N°1. Simulación del sistema de separación



Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la Tabla N°2 se muestra los resultados de la simulación, la misma refleja las condiciones de operación para cada uno de los flujos.

Tabla N° 2 . Parámetros de flujos para el proceso de obtención de Bioetanol Anhidro

Flujos del proceso	Temperatura [°C]	Presión [kPa]	Flujo molar [kgmol/h]
Alimentación de columna destilación fría	30,0	102,3	7,7340
Alimentación de columna destilación caliente	100,0	102,3	7,7340
Destilado	78,6	102,3	0,3092
Fondo de columna de destilación	99,4	102,3	7,4250
Alimentación tamiz molecular caliente	100,0	102,3	0,3092
Bioetanol entrada condensador	78,0	102,3	0,2367
Fondo de deshidratador	100,7	102,3	0,0726
Bioetanol salida de deshidratador	17,0	102,3	0,2367

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Las especificaciones técnicas de los equipos para la planta piloto se detallan en la Tabla N° 3. 1.5.

Tabla N° 3 Especificaciones del equipamiento para el proceso de obtención de Bioetanol Anhidro

Equipos	Características
Máquina despulpadora	Capacidad: 60 L/h
Fermentador	Capacidad: 300 L Sistema de agitación: aspas con velocidad de 0-100 rpm
Tanque de activación de levadura	Capacidad: 150 L
Caldero	Capacidad: 500 L Sistema de calefacción por combustión de gas natural
Columna de destilación	Número de etapas teóricas: 8 Tipo de relleno: anillos Pall 1" Presión de operación: 102,3 kPa Temperatura en el tope: 78-80 °C Temperatura en el fondo: 90-100 °C Diámetro: 0,2 m Altura: 1,4 m
Columna de deshidratación	Tipo de tamiz molecular: zeolita A3 Presión de operación: 102,3 kPa Temperatura en el tope: 78-80 °C Temperatura en el fondo: 100-110 °C Diámetro: 0,15 m Altura: 0,80 m

Fuente: Elaboración propia, 2019.

1.5 Análisis económico

Se determinaron los costos de producción de bioetanol anhidro en laboratorio tomando en cuenta los costos de materias primas, de insumos asociados al proceso de producción y los operacionales. Del cálculo de los costos unitarios se obtuvieron valores de Bs. 572,35; 259,55 y 147,75 por litro de bioetanol a partir de maíz, banano y mango, respectivamente.

Por otro lado, según el estudio del proceso a escala piloto los costos para la producción de bioetanol anhidro representan un costo promedio de Bs.120,85 por litro, puesto que los costos unitarios son Bs. 462,87; Bs.124,02 y Bs.117,69 por litro a partir de maíz, banano y mango, respectivamente.

En el detalle de la inversión total requerida para el proyecto Tabla N° 4 se aprecian los costos que involucran los activos fijos (almacenes, fermentadores, tuberías, calderos) y el capital de operación (materias primas e insumos). La inversión total requerida para la implementación de una planta piloto para la producción de 54 L/ mes de Bioetanol anhidro es Bs. 273.777,98.

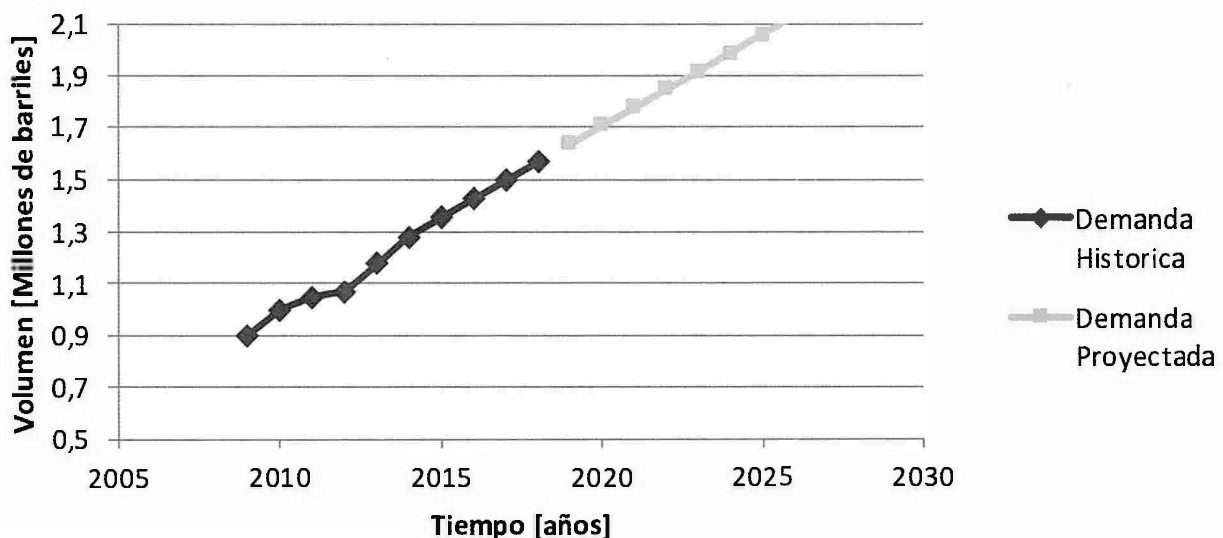
Tabla N° 4. Costos de inversión total para la planta a escala Piloto

Descripción	Costo
Total activos fijos	Bs. 267.422,78
Total capital de operación	Bs. 6.355,20
Inversión Total	Bs. 273.777,98

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El estudio de mercado demostró que la producción y el consumo de la gasolina especial se incrementó con el transcurso de los años y se estima que en los próximos años ocurra de manera similar (Figura N° 4 y Figura N° 5). En cuanto al Súper Etanol 92 recientemente incorporado al mercado nacional, se conoce que el volumen comercializado en Cochabamba desde noviembre del 2018 hasta marzo del 2019 fue 2'983.488 Litros (Asosur, 2018).

Figura N° 4. Comportamiento histórico y proyectado de la demanda de gasolina especial en Cochabamba



Fuente:YPFB(2018)eINE,2019

La evaluación económica-financiera del proyecto se realizó con la intención de vender bioetanol producido a YPFB, para lo cual se realizó un flujo de caja proyectado para 10 años, en el cual los ingresos por ventas consideran un precio de Bs.176,00 el litro. En cuanto a los indicadores de rentabilidad, se obtuvo un VAN de Bs.1072,00; una TIR del 1% y un período de recuperación de la inversión de 9,4 años.

DISCUSIÓN

Se logró obtener alcohol al 99,6% v/v, pero la humedad del medio ambiente es un factor importante por controlar a fin de evitar la formación del azeotropo (etanol y agua). El sistema de separación de la planta piloto se diseñó en línea a fin de evitar el contacto de la materia en proceso con la humedad del medio.

La levadura empleada fue la *Sacharomyces cerevisiae*, que una vez hidratada se repicó, es decir, se sembró. Esta etapa del proceso provocó un incremento en los costos de producción, debido a que se deberían tomar en cuenta otros aspectos, entre ellos contar con un ambiente aséptico, con equipo específico destinado únicamente a la reproducción de levaduras a fin de evitar la contaminación cruzada, otro aspecto también importante es el costo del agar necesario para la reproducción, este tiene un precio elevado similar al precio de levaduras deshidratadas.

Entre el Gasohol E-10 y la gasolina se evaluaron los resultados con las especificaciones establecidas por la Agencia Nacional de Hidrocarburos para la gasolina especial. Asimismo, se quiso comparar el Gasohol E-10 con el Super Etanol 92, que es un combustible que recientemente ingresó al mercado boliviano, sin embargo, la ficha técnica de este combustible no se encuentra actualmente a disposición, por lo que no se conoce exactamente las especificaciones técnicas nacionales establecidas, sin embargo se utilizaron las especificaciones utilizadas por la CEPAL (Duarte, 2006).

Se logró optimizar el proceso de fermentación y el sistema de separación que contempla los procesos de destilación y deshidratación, los sistemas de servicios auxiliares y tratamiento de residuos, son aspectos de análisis para un posterior estudio. Los residuos (cáscara y borra del proceso) representan el 60% de la materia en proceso, estos se consideran como materias primas lignocelulósicas que pueden ser utilizadas para la obtención de bioetanol en otro proceso con distinta tecnología, este nuevo estudio podría generar un impacto económico favorable para la planta piloto de bioetanol favoreciendo a la disminución del costo de producción.

CONCLUSIONES

Con la optimización de los procedimientos desarrollados se logró producir bioetanol anhidro con un grado de pureza del 99,6 % a partir de mango, maíz y banano a escala laboratorio, el maíz tiene el mayor rendimiento en cuanto a la obtención de alcohol se refiere. Sin embargo, su costo de producción es más elevado comparado con el banano y mango, motivo por el cual se planteó un diseño a escala piloto para la producción de 540 litros al año de bioetanol anhidro considerando únicamente el banano y mango como materias primas.

Se determinaron las propiedades fisicoquímicas que permitieron caracterizar el bioetanol anhidro obtenido, el Gasohol E-10 y la gasolina especial comercializada en Cochabamba, los resultados de las distintas propiedades se encontraron dentro de los parámetros establecidos por la CEPAL.

La combustión del bioetanol anhidro no genera humo y la intensidad de la flama es inferior en comparación con las flamas de combustión tanto del Gasohol E-10 como de la gasolina especial, así

también se comprobó que la combustión del Gasohol E-10 genera menor cantidad de humo que la gasolina especial. En lo que refiere al punto de inflamabilidad se logró verificar que el valor de esta propiedad se incrementa en un 14% con la adición de bioetanol a la gasolina especial, ya que la temperatura de inflamabilidad del Gasohol E10 era superior a la temperatura de la gasolina especial. Por otro lado, también se evidenció que al adicionar etanol a la gasolina especial se incrementó en un 30% la presión de vapor de Reid.

El costo de producción por litro de Bioetanol anhidro es de Bs.120,85, no se pudo comparar este precio en el mercado nacional ya que la industria se encuentra inicialmente desarrollando, sin embargo, es conocido que el precio de etanol anhidro comercializado por Scharlau (empresa española) es de Bs.350 al 99,8% de pureza, la cual evidencia que el precio establecido se encuentra por debajo del estipulado en el mercado formal. El precio calculado puede disminuir si se incrementa la capacidad de producción de la planta debido a que el tiempo de residencia de la materia en proceso será el mismo para diferentes volúmenes de producción.

El dimensionamiento de la planta ha sido desarrollado con fines investigativos y académicos permitiendo a los estudiantes e investigadores desarrollar nuevos procesos, habilidades y destrezas en el área de energías alternativas. El bioetanol producido podría ser suministrado a YPFB que es la empresa estatal autorizada según Ley 1098 (Bolivia, 2018) para producir aproximadamente 5400 L/año de Súper Etanol 92, el volumen producido correspondería al 0,1 % de la demanda anual en Cochabamba considerando el precio de venta de Bs.176,00/L de etanol anhidro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (USDA), Departamento de Agricultura de los Estados. (2019). National Nutrient Database for Standard Reference. Basic Report 11900, Corn, sweet, white, raw. Estados Unidos: The National Agricultural Library. USDA
- Actualitix. (2019). ACTUALITIX. Recuperado el 04 de 04 de 2019, de Actualitix, statistic by country: <https://es.actualitix.com/pais/bol/bolivia-platano-produccion.php>
- Agencia Nacional de Hidrocarburos. (2019). Agencia Nacional de Hidrocarburos. Obtenido de <https://www.anh.gob.bo/index.php?N=dteyp>
- Andrade, C., Apaza, C., & Silvestre, R. (2018). Materias primas alternativas para la producción de bioetanol y su aplicación como biocombustible. Cochabamba, Bolivia: Universidad del Valle. 15-21. <https://doi.org/10.52428/20758944.v14i42.767>
- Arellano, A., & Riofrío, L. (2014). Diseño y construcción de un deshidratador por absorción con tamices moleculares para la obtención de alcohol anhidro. Riobamba: Escuela superior politécnica de Chimborazo.
- Asociación Nacional de Surtidores. (2019). La comercialización de la gasolina Super Etanoln de noviembre a la fecha. Santa Cruz, Bolivia: Asosur.
- ASTM D1298. (2005). ASTM D1298 Método de Prueba Estándar para Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica), o Gravedad API del Petróleo y Productos Líquidos de Petróleo por el Método del Hidrómetro. Estados Unidos: ASTM Internacional.
- ASTM D1613. (2003). ASTM D1613 Método de prueba estándar para determinar la acidez en disolventes volátiles e intermedios químicos utilizados en pinturas, barnices, lacas y productos relacionados. Estados Unidos: ASTM Internacional.
- ASTM D1 747. (2004). ASTM DI 747 Método de prueba estándar para el índice de refracción de materiales viscosos. Estados Unidos: ASTM Internacional.
- ASTM D323. (2003). ASTM D323 Método de prueba estándar para la presión de vapor de los productos derivados del petróleo (método Reid). Estados Unidos: ASTM Internacional.
- ASTM D56. (2002). ASTM D56- Método de prueba estándar para determinación del punto de inflamación por medio de analizador Tag de vaso cerrado. Estados Unidos: ASTM Internacional.
- ASTM D86-17. (2003). ASTM D86 - 17 Método de prueba estándar para la destilación de productos derivados del petróleo y combustibles líquidos a presión atmosférica. Estados Unidos: ASTM Internacional.
- ASTM D93. (2004). Métodos ASTM D93-Método de prueba estándar para determinación del punto de inflamación por medio de analizador Pensky-Martens de vaso cerrado. Estados Unidos: ASTM Internacional.
- Cardona, C., Sánchez, O., & Gutiérrez, L. (2010). Process synthesis for fuel ethanol production. Nueva York, Estados Unidos: Taylor and Francis Group. <https://doi.org/10.1201/9781439815984>
- Chuquín, D. (2013). Diseño y simulación de una columna de destilación binaria de etanol-agua para la empresa Hetween. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Departamento de Agricultura de los Estados. (2015). National Nutrient Database for Standard Reference. Full Report (All Nutrients) 09176, Mangos, raw. Estados Unidos: The National Agricultural Library. USDA
- Departamento de Agricultura de los Estados. (2018). National Nutrient Database for Standard Reference. Full Report (All Nutrients) 09040, Bananas, raw. Estados Unidos: The National Agricultural Library. USDA
- Duarte, V. (2006). Especificaciones de la calidad del etanol carburante y del Gasohol (mezcla de gasolina y etanol) y normas técnicas para la infraestructura. México: ONU Comisión económica para América Latina y el Caribe.
- Farmacopea de los EE.UU., USP XXXI NF 33, 2014, The United States Pharmacopoeial Convention Inc.,

- EQUISTAR. (2003). Ethyl Alcohol Handbook. Houston, Texas: Lyondell Chemical Company. Farmacopea de los EE.UU, USP XXXVII NF 32, 2014, The United States Pharmacopeial Convention Inc., Rockville, MD. pp.1988-1990.
- INE. (2019). Instituto Nacional de Estadística. Obtenido de <https://www.ine.gov.bo/index.php/estadisticas-por-actividad-economica/estadisticas-por-actividad-economica-3>
- Infoleyes. (15 de septiembre de 2018). Ley 1098. Obtenido de Infoleyes: <https://bolivia.infoleyes.com/norma/6842/ley-1098>
- Instituto Boliviano de Comercio Exterior. (2008). Biocombustibles Sostenibles: Un Enfoque Social desde Bolivia. Comercio Exterior, Santa Cruz de la Sierra: Industrias Gráficas SIRENA: ICBE
- Instituto Boliviano de Comercio Exterior. (2008). Bolivia: Estudio de Caso para la Mesa Redonda sobre Biocombustibles Sostenibles. Santa Cruz de la Sierra: Industrias Gráficas SIRENA: ICBE
- Martínez, D. (2008). Simulación y diseño de una planta productora de bioetanol a partir de mango "Hilaza" (*Mangifera indica* L) en el departamento de Sucre. Colombia: Universidad de Sucre.
- PDVSA. (1994). L-TP 1.5-Manual de ingeniería de diseño-Procedimiento de ingeniería-Cálculo hidráulico de tuberías. Venezuela: PDVSA.
- PDVSA. (1995). MDP-05-E-01 Manual de diseño de proceso-Intercambiadores de calor-Principios básicos. Venezuela: PDVSA.
- PDVSA. (1995). MDP-05-E-02-Manual de diseño de proceso-Intercambiadores de calor-Intercambiadores de tubo y carcasa. Venezuela: PDVSA.
- PDVSA. (1996). MDP-04-CF-02-Manual de diseño de proceso-Torres de fraccionamiento-Principios básicos. Venezuela: PDVSA.
- PDVSA. (1997). MDP-04-CF-05-Manual de diseño-Torres de fraccionamiento-Selección del dispositivo de contacto. Venezuela: PDVSA.
- PDVSA. (1997). MDP-04-CF-07-Manual de diseño de proceso-Torres de fraccionamiento-Torres de destilación empacadas. Venezuela: PDVSA.
- Periodico, Los tiempos. (29 de 09 de 2017). Producción de Maiz en Bolivia. Estudio: producción de maíz crecerá 60% a 2025.
- Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo. (2008). La fiebre de los biocombustibles se expande. Bolivia: PNUD.
- Vcie. (2017). Boletín del exportador -Bananas o plátanos. La Paz: Viceministerio de comercio interno y exportaciones. <http://www.viceministerio.com.bo/publicaciones/79-publicaciones.html>
- YPFB. (2019). Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos. Obtenido de <https://www.ypfb.gov.bo/es/55-ypfb-corporacion/publicaciones/79-publicaciones.html>

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) 2019 Irina Justiniano Ayarde; Carla Andrade Delgadillo; Carla Apaza Rojas; Martha Siles Camacho.



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/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 licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

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