



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE CÁSCARA DE PLÁTANO EN PIURA, PERÚ

Mayra Zola-Gonzáles, Manuel
Barranzuela-Puémape

Piura, diciembre de 2017

FACULTAD DE INGENIERÍA

Área Departamental de Ingeniería Industrial y de Sistemas

Zola, M. y Barranzuela, M. (2017). *Estudio experimental de la obtención de bioetanol a partir de cáscara de plátano en Piura, Perú* (Tesis para optar el título de Ingeniero Industrial y de Sistemas). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Piura, Perú.



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](https://repositorio.institucional.pirhua.edu.pe/)

UNIVERSIDAD DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERIA



**“ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL A
PARTIR DE CÁSCARA DE PLÁTANO EN PIURA, PERÚ”**

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Industrial y de Sistemas

Mayra Alessandra Zola Gonzáles
Manuel Eduardo Barranzuela Puémape

Asesores: Dr. Ing. Dante A. M, Guerrero Chanduví
Ing. Catherin Z. Girón Escobar

Piura, Diciembre 2017

*“Con todo nuestro amor y cariño a nuestros padres,
María Estela Gonzáles y Omar Zola,
Rosario Puémape y Manuel Barranzuela.
Por su sacrificio y esfuerzo, por darnos una carrera
y creer en nosotros.
A nuestras hermanas Gabriela, Anahí, Sofía y Angie.
Por sus consejos, motivación constante y
apoyo incondicional”.*

Prólogo

La presente tesis, modalidad artículo científico, constituye un requisito académico para la obtención del título de grado en Ingeniería Industrial y de Sistemas que otorga la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Piura, según los planes de estudio vigentes.

La motivación por trabajar la tesis bajo la modalidad artículo parte del deseo de presentar una comunicación científica en el I Congreso Internacional de Ingeniería y Dirección de Proyectos y III Congreso Regional IPMA – LATNET (2017) organizados por la Universidad de Piura y la Asociación Peruana de Dirección de Proyectos. Siendo, además, un aporte innovador, ya que, actualmente, el incremento en la demanda energética, la alta volatilidad en el precio y escasez del petróleo aunado al interés por el cuidado del medio ambiente provoca que los biocombustibles aún generen dudas acerca de su viabilidad e impacto ambiental, es por ello que, diversas investigaciones y proyectos de innovación alrededor del mundo están buscando nuevas fuentes de energía limpias y renovables. Es así como se ha llegado al estudio y desarrollo de los biocombustibles de segunda generación, cuyas materias primas son los residuos vegetales.

Una de las industrias más reconocidas en la región Piura es la industria chiflera, la cual genera como residuo resultante del proceso de fabricación de chifles, la cáscara de plátano. Ésta es considerada como material lignocelulósico apto para la producción de bioetanol, por presentar en su composición un alto contenido de celulosa y hemicelulosa, además de ser un recurso abundante en la región. Esto lo convierte en una potencial materia prima para la producción de bioetanol de segunda generación, que contribuiría a cubrir la demanda interna de combustible en las empresas chifleras, generar una oportunidad de negocio y disminuir las emisiones de CO₂ en la ciudad de Piura.

Expresamos nuestro profundo agradecimiento a todas aquellas personas que han colaborado con nosotros para la realización de la presente tesis, como lo son: nuestros asesores de tesis, el Dr. Ing. Dante Guerrero y la Ing. Catherin Girón; al profesor informante de la tesis, el Dr. Ing. Gastón Cruz; los colaboradores del laboratorio de química y a nuestros compañeros de equipo durante las asignaturas de Proyectos (PYT) y Tecnología de Procesos (TPR).

Resumen

A septiembre del 2016, la exportación anual de chifles se incrementó en 12%, alcanzando los US\$10.7 millones. Asimismo, los biocombustibles se han convertido en sustitutos ideales de los derivados del petróleo, debido a su baja cantidad de emisiones y a la alta volatilidad en el precio del petróleo.

La tesis modalidad artículo muestra el resultado del proyecto de innovación e investigación, que tiene como objetivo principal realizar un estudio experimental para la obtención de bioetanol a partir de la cáscara de plátano, con la finalidad de brindar una oportunidad de negocio a las empresas productoras de chifles en la ciudad de Piura.

La investigación presenta como resultado la obtención de bioetanol, incoloro y con una pureza de 95%, que sería propuesto para su aplicación en cocinas acondicionadas en la elaboración de chifles.

A lo largo del artículo se realiza un análisis bibliográfico sobre el proceso de obtención de bioetanol, y las metodologías de recojo de información para la definición de los materiales, equipos, instrumentos y monitoreo de las principales variables de control. Finalmente, se expone el método experimental y las técnicas que definieron el desarrollo y ejecución de las pruebas experimentales.

Índice

Introducción.....	1
Capítulo 1. Justificación y objetivos	3
1.1. Justificación	3
1.2. Objetivo general.....	4
1.3. Objetivos específicos	4
Capítulo 2. Antecedentes	5
2.1. Investigaciones previas	5
2.2. Situación actual.....	7
2.2.1. Sector industrial de biocombustibles.....	7
2.2.2. Empresas representativas del sector peruano de biocombustibles	9
2.2.3. Normas técnicas del bioetanol.....	11
2.2.4. Sector industrial de chifles en el Perú	13
Capítulo 3. Marco teórico.....	15
3.1. Estudio de la materia prima	15
3.1.1. Maíz: <i>Zea mays</i>	15
3.1.2. Caña de azúcar: <i>Saccharum officinarum</i>	16
3.1.3. Comparación entre el maíz y la caña de azúcar.....	16
3.1.4. Cáscara de plátano	17
3.2. Procedimientos.....	18
3.2.1. Tratamiento preliminar	18
3.2.2. Hidrólisis	20
3.2.3. Fermentación	22
3.2.4. Filtrado	24
3.2.5. Destilación	25
Capítulo 4. Metodología de la investigación	29
4.1. Descripción de la metodología	29
4.2. Proceso de ejecución de la investigación.....	29
4.3. Revisión bibliográfica.....	32
4.4. Alcance de la investigación	32
4.5. Hipótesis	33
4.6. Consideraciones iniciales de la investigación.....	33

4.7. Variables y/o indicadores de control	37
Capítulo 5. Resultados.....	39
5.1. Artículo.....	39
5.2. Propuesta de implementación: Evaluación.....	52
5.2.1. Evaluación Ambiental para implementación	52
5.2.2. Evaluación Económica – Financiera para implementación	55
Conclusiones	57
Bibliografía.....	59
Anexos.....	65
Anexo 1: Entrevista con Experto – Visita Técnica a la Empresa Caña Brava	65
Anexo 2: Proceso de elaboración tradicional de chifles.....	68
Anexo 3: Exportación de productos nostálgicos a EE. UU (2011-2014 miles US\$)	69
Anexo 4: Parámetros técnicos de tanques de hidrólisis.....	71
Anexo 5: Aceptación del <i>abstract</i> del artículo científico.....	72
Anexo 6: Entrevista con Dueño de Chiflería “La Hojuela”	73
Anexo 7: VAN y TIR	74
Anexo 8: Punto de Equilibrio	74

Introducción

El consumo acelerado de los combustibles fósiles y la incertidumbre del calentamiento global durante la última década, ha incrementado de manera inevitable el interés comercial por los combustibles renovables (Halim et al., 2012). Además, debido a los niveles de contaminación alcanzados en el medio ambiente, las entidades públicas y privadas han adoptado políticas que aceptan la relevancia de los impactos negativos de su actividad productiva. Por ello, se han buscado alternativas al uso de combustibles fósiles como lo son; por ejemplo, la biomasa y el bioetanol.

Por otro lado, el libre mercado ha permitido que, gracias a la competencia, las empresas busquen mejorar sus índices de productividad y añadan valor agregado tanto a sus productos como a sus procesos de producción, beneficiando en última instancia al consumidor final. La industria poco a poco ha ido ideando nuevas formas de utilizar sus recursos y así, no desaprovechar la materia prima utilizada.

Al combinar estas dos tendencias, se encontró información relevante sobre el proceso empleado en la producción de chifles en la ciudad de Piura. Las empresas chifleras, compran plátano en grandes cantidades y, al separar la pulpa de la cáscara, se ven obligados a desechar esta última, sin tener en cuenta que significa el 40% de la fruta por la que han pagado. Ello llevó a una pregunta fundamental para el desarrollo de la tesis: ¿se puede utilizar la cáscara de plátano verde como materia prima para la obtención de bioetanol?

Actualmente, la producción de bioetanol es sintetizada a partir de un proceso de fermentación anaeróbica de las moléculas de glucosa presentes en la biomasa de diferentes materias orgánicas como la caña de azúcar y la remolacha; así como de la transformación en azúcar del almidón procedentes de cereales como el maíz, trigo y sorgo (Vázquez & Dacosta, 2007). Evaluando el proceso, se ha identificado a la cáscara de plátano como una materia prima prometedora.

Así pues, la presente tesis modalidad artículo presenta un estudio experimental que demuestra la viabilidad del uso de la cáscara de plátano como materia prima para la producción de bioetanol, a través de la realización de una serie de pruebas experimentales basadas en el método científico, en las cuales las variables de control tales como el pH, °Brix y la temperatura se fueron alterando para obtener un bioetanol de pureza mayor a 95% de alcohol. Entre los procedimientos utilizados se encuentran la hidrólisis ácida, fermentación anaeróbica y destilación fraccionada expuestos en otras investigaciones (Escalante & Fuentes, 2013).

Este trabajo recoge en primera instancia y de manera concisa, información sobre investigaciones previas relacionadas al tema y la situación actual de los sectores de

biocombustibles y de chifles. Además, se presenta un estudio teórico de las materias primas más utilizadas y los procedimientos por los cuales se deben seguir para obtener bioetanol, seguido de los objetivos, la metodología empleada y el proceso que se siguió para obtener el artículo científico titulado: “*Estudio experimental de la obtención de bioetanol a partir de la cáscara de plátano en Piura*” (Zola, Barranzuela, Girón, & Guerrero, 2017) .

En los resultados de la tesis se muestra el producto de la investigación, plasmado en el artículo científico que ha sido aceptado por el comité científico y publicado en las actas del I Congreso Internacional de Ingeniería y Dirección de Proyectos y III Congreso Regional IPMA-LATNET 2017, llevado a cabo en la ciudad de Lima – Perú.

Por último, se muestran las conclusiones obtenidas de todo el proceso de trabajo, en donde se pone de manifiesto que el éxito de la investigación abre puertas a futuras investigaciones sobre el desarrollo de aplicaciones y alternativas que generen mayor productividad y rentabilidad para las empresas productoras de chifles.

Capítulo 1

Justificación y objetivos

En este capítulo se explican los motivos y razones que impulsaron la presente investigación acerca de la obtención de bioetanol a partir de la cáscara de plátano en la ciudad de Piura. Asimismo, se mencionan los principales objetivos que definen el desarrollo de la tesis y que se pretenden alcanzar al finalizar el estudio experimental.

1.1. Justificación

Los biocombustibles se han convertido en sustitutos ideales de los derivados del petróleo, debido principalmente a la alta volatilidad en el precio del mismo (Barrientos, 2008) y a la reducción en la cantidad de los gases de efecto invernadero que generan. Durante la última década, el interés comercial por los combustibles renovables se ha incrementado, llevando a los ingenieros a hacer uso de sus conocimientos y habilidades para encontrar soluciones atractivas que ayuden a detener el uso acelerado de los combustibles fósiles. Actualmente, se han desarrollado diferentes investigaciones sobre recursos útiles para la generación de biocombustibles; sin embargo, aún hay todo un mundo por explorar, del cual se puede proveer proyectos innovadores y plantear ideas para la generación de biocombustibles a partir de residuos orgánicos, de este modo dar valor agregado tanto a las materias primas que se utilizan como a sus desechos.

Por otro lado, teniendo en cuenta que la exportación de chifles se incrementó en 12% en septiembre del 2016, alcanzando los US\$10.7 millones a un precio promedio de US\$ 3.87 por kilogramo (Koo, 2016); y siendo este un sector en crecimiento y un producto propio de la región, se plantea definir a la cáscara de plátano como materia prima para la obtención de biocombustible en este trabajo de investigación.

Además, como estudiantes y futuros ingenieros tenemos el compromiso de fomentar el desarrollo de nuestra sociedad e industria nacional, siendo conveniente pensar en las empresas productoras de chifles de la ciudad de Piura como principales beneficiarios de los resultados obtenidos en esta tesis, con la finalidad de brindarles una oportunidad de negocio; ya que, para ellos la materia prima es de fácil acceso y se tiene en grandes cantidades – *su requerimiento diario es de 5 000 plátanos (1750 kg aprox.) y en alta demanda alcanza cómodamente los 10 000 plátanos* (Nunura, 2011) – de esta forma, el proyecto hará que las empresas aprovechen y utilicen los residuos orgánicos del proceso de fabricación de chifles para obtener un biocombustible y contribuir así con la solución de un problema de contaminación ambiental que nos afecta a todos.

Asimismo, con el propósito de que el resultado de esta investigación tenga una mayor exposición y pueda darse a conocer a la comunidad científica, se presenta como artículo

científico al I Congreso Internacional de Ingeniería y Dirección de Proyectos y III Congreso Regional IPMA-LATNET (2017) organizado por la Universidad de Piura y la Asociación Peruana de Dirección de Proyectos.

1.2. Objetivo general

El objetivo principal de la tesis consiste en realizar un estudio experimental acerca de la obtención de bioetanol a partir de la cáscara de plátano verde, con un enfoque cuantitativo y diseño experimental probatorio.

1.3. Objetivos específicos

Los objetivos específicos del trabajo de investigación son:

- J Fundamentar que la cáscara de plátano puede ser empleada como materia prima en la producción de etanol.
- J Análisis del flujo (entradas y salidas) a lo largo de los procesos involucrados en la obtención de etanol.
- J Establecer una línea de producción a escala de laboratorio para la obtención de etanol.
- J Obtener un prototipo de bioetanol a partir de cáscara de plátano con una pureza mayor a 95%, incoloro y libre de impurezas.
- J Comparación del poder calorífico entre el bioetanol y el combustible usado en cocinas.
- J Brindar una propuesta de aplicación tangible al producto de la investigación.
- J Brindar una oportunidad de negocio a las empresas productoras de chifles al dar valor agregado a los residuos orgánicos del proceso de fabricación de chifles y obtener biocombustible.
- J Proporcionar resultados que puedan ser utilizados para futuras líneas de investigación, a fin de utilizar el bioetanol de cáscara de plátano como biocombustible a nivel industrial.
- J Plasmar los resultados de la investigación en una comunicación científica de nombre “Estudio experimental de la obtención de bioetanol a partir de la cáscara de plátano en Piura” a presentarse en el I Congreso Internacional de Ingeniería y Dirección de Proyectos y III Congreso Regional IPMA-LATNET 2017.

Capítulo 2

Antecedentes

En este capítulo se presentan los antecedentes de investigaciones y estudios acerca de la generación de biocombustibles a partir de diversos residuos agrícolas, como fuente de energía de segunda generación para la obtención de bioetanol. Asimismo, información general sobre la situación actual del sector industrial de biocombustibles y chifles en el Perú y el mundo.

2.1. Investigaciones previas

El etanol se ha convertido en una alternativa ambientalmente viable, pues reduce significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero, en comparación con aquellos combustibles derivados del petróleo (Barrientos, 2008). En vista de ello, diversos países alrededor del mundo, han llevado a cabo investigaciones y/o estudios acerca de la generación de biocombustibles a partir de materia orgánica, prueba de ello, se tiene que Estados Unidos y Brasil son los mayores productores de etanol, asignando grandes hectáreas de cultivo a la producción de maíz y caña de azúcar, respectivamente.

Según el Centro Global de Biocombustible, en el año 2010, Estados Unidos se consolidó como el mayor productor de etanol en el mundo con una producción de 13 470 millones de galones y Brasil ocupó el segundo lugar con casi 7 100 millones de galones, representado para ese año, el 82% de la capacidad de producción de etanol a nivel mundial (Charry, 2011).

Actualmente, la caña de azúcar, el maíz y otras materias orgánicas – *como la remolacha* – se han convertido en la principal entrada para la producción de etanol (Vázquez & Dacosta, 2007); sin embargo, aún no existen producciones conocidas de bioetanol a base de cáscara de plátano a nivel industrial, a pesar de que existen estudios que han comprobado que los excedentes del banano poseen un gran potencial para la elaboración de este biocombustible.

Por este motivo, el presente estudio experimental se basa en un análisis de literatura científica en materia de obtención de etanol a partir de residuos orgánicos del plátano o banano y se profundizará en cada uno de los títulos científicos recopilados.

Es así que, en Colombia, el Grupo de Investigación en Bioprocesos y Flujos Reactivos de la Universidad Nacional de Colombia con el apoyo de la Asociación de Bananeros de Colombia, tomaron muestras de tallos, algunos recién cortados de la planta bananera y otros con semanas y meses de haber sido talados. El objetivo era evaluar los cambios en la composición de los vástagos y en la maduración del banano, además del contenido de azúcares y almidón.

Durante los análisis, se evidenció que en los primeros estados de madurez de la fruta se almacena más almidón. Esta etapa del banano fue aprovechada para adicionarle enzimas (proteínas que ayudan a que las reacciones químicas ocurran con mayor rapidez) y producir el jarabe que se basa en la celulosa y el almidón del banano, siendo estos materiales de gran utilidad para la industria de hidrocarburos (Calle, 2010).

En el estudio “*Análisis energético y exergético del proceso de obtención de etanol a partir de la fruta del banano*”, Velásquez, Oliveira y Ruiz (2010) analizan el comportamiento energético y exergético al escalar el proceso, desarrollado a nivel de laboratorio, de una planta de producción que utilice el banano para la producción de etanol. En el documento se involucra el cultivo y transporte del material vegetal, hidrólisis del banano, fermentación de los azúcares, destilación del etanol y planta de utilidades. Adicionalmente, se analizan indicadores en base energética y exergética para evaluar el proceso. Dicha evaluación concluye que el proceso de obtención de etanol a partir de la fruta del banano presenta un balance energético positivo.

Por otra parte, en un artículo científico, Zapata y Peláez (2010) estudian la producción en continuo de etanol a partir de banano de rechazo utilizando células inmovilizadas en alginato de sodio y comparándose las fermentaciones en *batch* con células libres e inmovilizadas (*Saccharomyces cerevisiae*), utilizando medio estándar de fermentación y mosto de banano como sustrato.

En estas experimentaciones Zapata y Peláez demuestran la factibilidad de producción de etanol; puesto que, las fermentaciones con mosto de banano presentaron un incremento del 31% en la producción de etanol durante las primeras 14 horas de fermentación, pasando de producir 33.78 g/L de alcohol con células libres a 44.18 g/L con células inmovilizadas.

Del mismo modo, se dispone de tesis que explican la viabilidad de la obtención de bioetanol a partir de residuos agrícolas en la región Piura como lo es el “*Estudio experimental de obtención de bioetanol a partir de residuos agrícolas de banano orgánico en Piura*”, cuyo objetivo de la investigación es obtener etanol a partir de residuos agrícolas de banano orgánico (hojas, pseudo-tallos, raquis), a nivel de laboratorio (Escalante & Fuentes, 2013).

De igual forma, Oliva (2014) en la tesis “*Posible proceso productivo de etanol con residuos de banano y sus impactos en el Valle del Chira*” concluye que los mejores pre-tratamientos para estos residuos son el *Liquid Hot Water* y el *Steam Explosion*. Además, encontró que el pseudo-tallo es el residuo más idóneo para la producción de etanol debido al mayor rendimiento hallado en sus estudios experimentales.

En dicha investigación, también analiza la viabilidad de una planta industrial dentro de un marco socioeconómico, evaluando aspectos importantes como las ventajas y desventajas del proyecto, la generación de empleo en la zona y los impactos ambientales que tendría debido a los residuos, emisiones y efluentes.

Por lo expuesto, se puede concluir que el tema de la obtención de bioetanol a partir de residuos agrícolas del plátano o banano tiene un amplio campo de estudio y que merece la pena enfocarse en él.

Por último, cabe mencionar que el artículo presentado como resultado del arduo trabajo realizado por los autores forma parte de un proyecto de investigación más amplio denominado “*Estudio experimental de la obtención de biocombustible a partir de cáscara*”

de plátano y su uso en cocinas acondicionadas de la industria chiflera en la ciudad de Piura, Perú”, el cual contribuye con la investigación al aportar la información con respecto a la materia prima, proceso de obtención de bioetanol, experimentación y discusión de resultados; sin embargo, cabe resaltar que el alcance de dicho proyecto abarca el diseño de la línea de producción de bioetanol a pequeña escala, la ingeniería de todo el proceso, la disposición en planta y la propuesta de aplicación en cocinas acondicionadas para la industria chiflera (Zola, Barranzuela, Castillo, Correa, & Rey, 2016).

2.2. Situación actual

En el Perú existen empresas muy importantes en el rubro tales como: Caña Brava, Industrias del Espino, Biodiesel Perú Internacional, *Maple Energy*, *Pure Biofuels* del Perú, Agroindustrias LS (Agrillsa) y *Heaven Petroleum Operators* quienes ya están ejecutando importantes inversiones para la ampliación de sus plantas de producción y cultivos.

La producción de etanol para el año calendario 2016 se pronosticó en 160 millones de litros, lo que corresponde a una reducción del 33% del pronóstico para el año 2015. Este fuerte descenso se atribuye a la planta de *Maple Etanol* que se encontraba fuera de servicio. Asimismo, el consumo de etanol para el año 2016 se pronosticó en 172 millones de litros, un aumento del 3% respecto al año anterior.

En cuanto a la exportación del biocombustible, *Foreign Agricultural Service* (FAS) Lima hizo una previsión para el 2016 de exportaciones de etanol a aproximadamente 69 millones de litros, debido a que el etanol peruano obtiene en el extranjero precios más altos relativos a Perú, especialmente en la *Unión Europea* (UE), como consecuencia de la disposición de compradores a pagar el precio internacional más primas para la cosecha verde (es decir, la cosecha sin quema de campos de caña) y el control biológico de plagas, entre otras medidas respetuosas del medio ambiente (Santillana & Salinas, 2015).

Según Flavio Castellar, director ejecutivo de *Arreglo Productivo Local de Alcohol* (APLA), el Perú tiene el potencial agrario para convertirse en el principal país exportador de etanol de segunda generación en América Latina debido a sus numerosos campos de producción de caña de azúcar. Además, afirma que el uso de prácticas medioambientales ha derivado en que la demanda internacional por esta fuente de energía esté en aumento, lo cual se constituye en un factor de importancia para los potenciales inversionistas que están en la búsqueda de nuevas oportunidades (Domínguez, 2016).

2.2.1. Sector industrial de biocombustibles

A fines del año 2016, países como Estados Unidos y Brasil lideran el crecimiento de la producción de bioetanol, con una producción anual de 15 330 y 7 295 millones de galones respectivamente, mientras que la Unión Europea ha sido la principal fuente de crecimiento de la producción de biodiesel. (RFA, 2017)

En la **Tabla 1** se muestra con mayor detalle una lista de los principales productores de etanol a nivel mundial durante el año 2016.

Tabla 1. Producción mundial de combustible etanol durante el año 2016

Región	Millones de galones
Estados Unidos	15 330
Brasil	7 295
Unión Europea	1 377
China	845
Canadá	436
Tailandia	322
Argentina	264
India	225
Resto del mundo	490
Total	26 584

Fuente: *Renewable Fuels Association* (RFA, 2017).

Además, como se muestra en la **Tabla 2**, algunos países vienen planteando metas políticas para aumentar su producción de biocombustibles. Es así que, el Perú desde el año 2006 se ha planteado incrementar progresivamente la producción de bioetanol y biodiesel, lo que brinda un escenario favorable para el desarrollo de nuevos proyectos ligados a la producción de biocombustibles.

Tabla 2. Metas de política planteadas para biocombustibles

Región	País	Bioetanol	Biodiesel
América del Norte	USA	<i>Renewable Fuels Standard & Alternative Fuels Standard</i> : 28,000 millones de litros de combustibles renovables en el 2012; 132,000 millones de litros de combustibles renovables y alternativos en 2017 (15% del uso proyectado de gasolinas al 2017).	
	Canadá	5% en 2010.	2% de contenido renovable en diésel y gasolina en 2012.
Europa	Unión Europea	5.75% al 2010, 8% al 2015 y 10% al 2020 para biocombustibles en sustitución de diésel y gasolina para transporte (computado sobre base energética).	
Asia	Japón	Sustitución de 500 000 m ³ de gasolinas para transporte por año al 2010 (1.8 millones de L/año de bioetanol en el corto plazo, 6 millones de m ³ de bioetanol producido localmente al 2030 que representa el 10% de la demanda actual de gasolinas).	
	China	15% del consumo para transporte al 2020.	
	India	5% al 2012, 10% al 2017.	
Oceanía	Australia	350 millones de litros de biodiesel y bioetanol al 2010.	
Latinoamérica y el Caribe	Argentina	5% sobre el producto final al 2010.	5% sobre el producto final al 2010.
	Bolivia	-	2.5% a partir del 2007 hasta llegar a un 20% en el 2015.
	Brasil	22% desde el 2001.	2% al 2008, 5% desde el 2013 y 20% en el 2020.
	Colombia	10% a partir del 2006, por regiones.	5% a partir del 2008.
	Paraguay	18% mínimo.	1% en 2007, 3% en 2008 y 5% en 2009.
	Perú	7.8% a partir del 2006 y en forma progresiva por regiones.	5% a partir del 2008 y en forma progresiva por regiones.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL. (Pistonesi, Nadal, Bravo, & Bouille, 2008)

Por otro lado, los precios de algunos productos agrícolas se han visto incrementados drásticamente durante los últimos años a causa de una serie de factores, dentro de los cuales, uno de los principales es la demanda de biocombustibles.

A febrero de 2016, según el informe *de la United Nations Conference on Trade and Development* (UNCTAD), los biocombustibles producidos a partir de biomasa no alimentaria o de segunda generación, se han convertido en una realidad comercial. Esto, producto del avance tecnológico, las presiones económicas y la voluntad política de actuar sobre el cambio climático.

Un factor clave para la reducción de los costes de la industria han sido las mejoras en los procesos que han permitido que el mercado se expanda. Es así como Estados Unidos tiene la mayor capacidad instalada para la producción de etanol celulósico y el mayor número de centrales en funcionamiento de biocombustibles de segunda generación, seguidos por la República Popular China, Canadá, la Unión Europea y Brasil, respectivamente.

Los proyectos de estos países varían considerablemente en sus enfoques tecnológicos, así como en las materias primas utilizadas para la producción del combustible. De esta manera, se tiene que; por ejemplo, mientras Estados Unidos produce biocombustible en su mayoría a partir del rastrojo de maíz, Brasil lo hace a partir del bagazo de la caña de azúcar, la cual es altamente eficiente en la conversión de la luz solar, el agua y el dióxido de carbono en energía almacenada.

La producción de energía de la caña de azúcar es igual a nueve veces la cantidad de energía que consume, mientras que la producción de energía de etanol de maíz es sólo aproximadamente de 1,9 a 2,3 veces la energía utilizada en su proceso de producción. En otras palabras, la caña de azúcar produce siete veces más de energía que el maíz en la producción de etanol (Bosch, 2014).

En el Perú, se ha invertido más de US\$ 200 millones en este rubro, generando 40 000 hectáreas sembradas y más de 15 000 puestos de trabajo en la última década. Además, según un estudio de investigación de medición de las variaciones de eficiencia de los países productores de biocombustibles en Latinoamérica, realizado en 2015 por la Universidad de Cartagena; Perú y Brasil mostraron una eficiencia igual a la de la producción de biodiesel y bioetanol, mientras que otros presentaron media o baja eficiencia (Morelos, 2016).

2.2.2. Empresas representativas del sector peruano de biocombustibles

El Perú tiene el potencial agrario para convertirse en el principal país exportador de etanol de segunda generación en América Latina debido a sus numerosos campos de producción de caña de azúcar, es por eso que en la actualidad existen dos grandes empresas representativas en el sector de biocombustibles: Caña Brava y *Maple Energy*.

Caña Brava es una empresa localizada en Piura, con una capacidad de producción de 430 mil litros de etanol por día (Ver **Anexo 1**), la cual está conformada por Agrícola del Chira S.A. encargada de la plantación y cosecha de la caña de azúcar; Sucroalcolera del Chira S.A. encargada de la molienda y de la producción industrial del etanol y; finalmente, Bioenergía del Chira S.A. la cual es responsable de la generación de la energía eléctrica a partir del bagazo con una capacidad de alimentación de 5 000 t/día (BusinessTech, 2017).

Por otro lado, *Maple Energy* inició su operación en el año 2012; sin embargo, a inicios del año 2015 sus acciones fueron compradas por Industria Agropecuaria Aurora S.A.C del Grupo Gloria. Está ubicada en el margen sur del río Chira, cuya función es la producción de etanol a partir de la caña de azúcar con una capacidad de 35 millones de galones de etanol al año; además, está diseñada para maximizar la eficiencia en producción al instalar una planta que genere 37 MW de energía, a través del uso del bagazo de la caña de azúcar como combustible. (Central de Noticias, 2012)

En la **Tabla 3**, se presentan las principales características de las empresas productoras de etanol más importantes en el Perú.

Tabla 3. Empresas productoras de etanol a nivel nacional

Características	Empresa	
	Caña Brava	Maple Energy
Ubicación	A 67 kilómetros de la ciudad de Piura, en el Departamento del mismo nombre, se ubica Caña Brava, empresa productora de etanol en el Valle del Chira.	Piura, Paita - La Huaca
Capacidad de producción	430 mil litros de etanol por día	35 millones de galones de etanol al año.
Molienda	5000 toneladas diarias de caña	5 000 toneladas de caña de azúcar al día
Cosecha	Se realiza con modernas máquinas que permiten evitar la tradicional quema de caña.	No contempla la quema de la caña, porque se emplea un sistema mecanizado guiado por sistemas satelitales.
Productos	Etanol CB1 Etanol CB2 Etanol CB3 Alcohol Carburante	Maple Biocombustibles Maple Etanol

Fuente: Caña Brava: ¿Quiénes somos? (BusinessTech, 2017), Maple Energy (Central de Noticias, 2012)

Elaboración: Barranzuela & Zola

Otro tipo de biocombustible es el biodiesel. Según las especificaciones de la *American Society for Testing and Material Standard (ASTM)*, lo describe como ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasas de animales (Nelson, 2009).

En la **Tabla 4** se muestran las principales empresas productoras de biodiesel a nivel nacional y sus características.

Tabla 4. Empresas productoras de biodiesel a nivel nacional

Características	Empresa		
	Industrias del Espino	Pure Biofuels	Heaven Petroleum Operators
Ubicación	Palmawasi, Tocache (región San Martín).	Distrito de Ventanilla (Callao).	Lurín, Perú Altura kilómetro 33.5 de la Autopista Panamericana Sur
Producto	Biodiesel a base de aceite de palma	Biodiesel a base de plantaciones de jatropa	B100 Biorec (combustible de uso marino e industrial) Glicerol grado industrial.
Capacidad de Producción	150 toneladas diarias de aceite crudo, que permiten la producción de 45,000 galones de biodiesel por día.	52 millones de galones por año.	120,000 galones por día de B100

Fuente: Heaven Petroleum Operators (Grupo HPO, 2017), Industrias del espino (Grupo Palmas, 2011) y Pure Biofuels (Córdova, 2015)

Elaboración: Barranzuela & Zola

2.2.3. Normas técnicas del bioetanol

En el Perú existen algunas especificaciones que se deben cumplir para la comercialización y control de la calidad de los biocombustibles y de sus mezclas. En la **Tabla 5** se muestran las especificaciones técnicas para el etanol de acuerdo a la *Norma Técnica Peruana* (NTP) del año 2009 y se detallan los métodos de ensayos típicos, requeridos para certificar las características necesarias que debe cumplir el bioetanol; algunas de ellas son la apariencia que debe tener el etanol, la cual debe ser claro y brillante; libre de contaminantes suspendidos o precipitados; el contenido de fósforo; azufre, entre otros, que se deben tener en cuenta a la hora de ser mezclado con el combustible tradicional.

Tabla 5. Especificaciones Técnicas Etanol – NTP 321.126.2009

Características	Especificaciones		Método de ensayo		
	Mín.	Max.	ASTM	EN	NTP
Etanol anhidro, % volumen	95.2	-	D 5501	EN 15721	-
Metanol, % volumen	-	0.5	D 5501	EN 15721	-
Contenido de agua, % peso	-	0.3	E 203 E 1064	-	-
Contenido de desnaturalizante, % volumen	2.00	3.00	-	-	-
Goma existente, lavada con solvente mg/100mL	-	5.0	D 381	.	.
Contenido de cloruros inorgánicos, ppm masa (mg/L)	-	10	D 7319 D 7328	-	-
Apariencia	Claro y brillante, libre de contaminantes suspendidos o precipitados		Inspección visual	-	-
Contenido de cobre, mg/kg	-	0.1	D 1688	.	.
Contenido de fósforo, mg/L	-	0.5	D 3231	EN 15487	.
Acidez (Como ácido acético), % masa (mg/L)	-	0.007 (56)	D 1613	-	-
pHe	6.5	9.0	D 6423	-	-
Azufre, ppm masa	-	30	D 2622 D 3120 D 5453	-	-
Sulfato total, ppm masa	-	4	D 7318 D 7319 D 7328	-	-

Fuente: Uso de Biocombustibles en el Perú. (Cunza, 2011)

Por otro lado, alrededor del mundo también existen especificaciones técnicas del etanol carburante que deben cumplirse para su comercialización y uso en motores.

La **Tabla 6** muestra las especificaciones técnicas del etanol carburante en Estados Unidos y Brasil, normalizadas por la ASTM y la *Agencia Nacional de Petróleo, Gas Natural y Biocombustibles* (ANP), respectivamente. Además, se muestran las especificaciones en Europa y Suiza. Asimismo, se muestran los valores que Brasil, Suiza, EE. UU y Europa consideran que deben poseer los carburantes.

Tabla 6. Especificaciones técnicas del etanol carburante alrededor del mundo

Característica	Unidad		País o Continente			
			EE. UU.	Brasil	Suiza	Europa
Densidad (20 °C)	kg/m ³	máx.	-	791,5	792,0	-
Grado alcohólico a 20 °C	°INPM, % m/m	mín.	-	99,3	-	-
Grado alcohólico a 20 °C	°GL, % v/v	min.	92,1	99,6	99,7	98,7
Agua	% v/v	máx.	1,0	-	0,3	0,3
Acidez total	mg/L (% m/m)	máx.	56,0	30,0	56,0	56,0
Conductividad eléctrica	μS/m	máx.	-	500,0	500,0	-
pH	-	-	6,5 – 9,0	-	6,5 – 9,0	6,5 – 9,0
Contenido de Cobre	mg/kg	máx.	0,1	0,07	0,1	0,1
Ion cloruro	mg/kg (mg/L)	máx.	40,0	-	10,0	25,0
Goma existente, lavada con solvente	mg/100mL	máx.	5,0	-	5,0	-
Metanol	% v/v	máx.	0,5	-	0,5	1,0
C3-C5	% v/v	máx.	-	-	2,0	2,0
Desnaturalizante	% v/v	-	1,96 - 4,76	-	-	-
Contenido de sulfato	mg/kg	máx.	-	-	50,0	10,0
Contenido de fósforo	mg/L	máx.	-	-	-	0,5
Materia no volátil	mg/L	máx.	-	-	-	100

Fuente: Uso de Biocombustibles en el Perú. (Cunza, 2011)

En la **Tabla 6** se puede notar que, el grado alcohólico que exigen países como Brasil y Suiza es casi del 100%, mientras que en EE. UU es de 92%. A su vez, se aprecia que son Suiza y el continente europeo los que más parámetros exigen que se cumplan; y es Brasil el que no ha tomado muchos de los parámetros que si están en la tabla. Cabe aclarar que los parámetros que toma cada país son diferentes, dependiendo de las regulaciones que sean establecidas.

2.2.4. Sector industrial de chifles en el Perú

Los chifles son un producto oriundo de la Región Piura, los cuales consisten en rodajas o tiras de plátano verde frito, sazonados con sal al gusto. Su elaboración se ha convertido en un negocio sostenible y rentable por lo que muchas empresas han optado por la comercialización de este producto, en una gran variedad de presentaciones como dulces, picantes y alargados (Ver **Anexo 2**).

La industria ha tomado representatividad no solo a nivel nacional sino también internacionalmente, logrando posicionarse en países de Europa y América del Norte.

Para el 2011, Estados Unidos fue el país destino con mayor porcentaje de ventas (93%), según informó la *Asociación de Exportadores (ADEX)*, el cuál monetariamente compró

chifles por 1.2 millones de dólares en el primer semestre, 18% más que en el mismo período del año anterior.

En segundo lugar, se encuentra Canadá, que los importó por US\$ 39 000, seguido de Chile el cual reportó ventas valorizadas en US\$ 38 000, además de otros países como Japón, Francia, Brasil, Reino Unido, Suiza, Australia y Panamá, sumando diez los destinos donde está presente este producto.

A lo largo de estos últimos años, la demanda de chifles en Estados Unidos ha seguido creciendo, según ADUANAS-SUNAT, del 2011 al 2012 la demanda de este producto varió en un 118.8%, del 2012 al 2013 varió en un 36.3% y; finalmente, del 2013 al 2014 fue del 64%, siendo los chifles los principales productos exportados en la categoría de productos nostálgicos, cuyas ventas en el año 2014 sumaron casi US\$ 7 millones y representaron alrededor de 70% de los envíos de los productos seleccionados (Ver **Anexo 3**).

Actualmente en la Región de Pasco, la *Asociación de Productores Agropecuarios del Valle Pichis* (APAVAP) realizó un compromiso de venta con la empresa Tropical de Aguaytía, a fin de abastecerlos de plátano para la elaboración de chifles. Además, para finales del 2015, el programa *Presupuestal Capacitación y Sensibilización para la Conservación y Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales* (PIRDAIS), puso en marcha un ambicioso proyecto de producción de plátanos en el distrito ayacuchano de Sivia, a través del cual, en el futuro, esperan generar ingresos económicos con la comercialización de chifles y harina de plátano en el valle de los ríos Apurímac, Ene y Mantaro. Esto permite concluir el gran impacto que genera la elaboración de chifles como actividad económica, dando un valor agregado a la materia prima.

Finalmente, dentro de las empresas de chifles más representativas figuran *Industrias Agrícolas S.R.L.*, que envía sus productos con la marca “*Cricket’s*”; también se encuentran otras empresas como *Inka Crops*, *Olaechea* y *El Ayabaquino*, el cual demanda más de cinco mil plátanos al día para la producción de chifles, llegando a diez mil plátanos verdes, en épocas de gran demanda (Nunura, 2011).

De acuerdo a lo expuesto, se puede concluir que la situación actual en el Perú es favorable no solo por la creciente demanda nacional e internacional de chifles para las empresas dedicadas a este rubro, sino también para los productores de plátano bellaco que ven en este aumento de la demanda, una oportunidad para crecer. En consecuencia, esto supone un crecimiento también del desecho (cáscara de plátano), el cual equivale al 40% en masa del plátano, la cual puede ser considerada como materia prima para la obtención de bioetanol, dejando de ser un desecho para convertirse en una oportunidad que genere utilidad y rentabilidad al negocio.

Capítulo 3

Marco teórico

En este capítulo como primer punto se presenta información general sobre las principales materias primas actualmente empleadas para la producción de bioetanol a escala industrial, así como una breve comparación de las mismas, con la intención de evaluar la composición favorable para la producción de bioetanol y las similitudes con la materia prima de esta investigación. Además, dentro del estudio de la materia prima se enfatiza en la presentación de la información acerca de la cáscara de plátano, materia prima del biocombustible en análisis. Asimismo, se describe información acerca de los procesos y equipos más usados para la obtención de este biocombustible.

3.1. Estudio de la materia prima

El bioetanol es un biocombustible de origen vegetal que se produce a partir de la fermentación de distintas materias orgánicas ricas en azúcar, tales como la celulosa, hemicelulosa y lignina, presentes en distintos cultivos. Debido a esto, el maíz y la caña de azúcar son las materias primas más comerciales para dicho proceso.

3.1.1. Maíz: *Zea mays*

Según Gracia (2009), el maíz es una gramínea que posee fotosíntesis de tipo C4 o de alto rendimiento. Su cultivo produce una gran cantidad de biomasa, de la que se aprovecha cerca del 50% en forma de grano. El resto, corresponde a las diversas partes de la planta: caña, hoja, limbos, mazorca, entre otros.

Además, sostiene que el grano representa aproximadamente la mitad del peso seco aéreo de la planta (Ver **Tabla 7**). En la composición típica promedio del grano de maíz, que constituye la materia prima para la producción de bioetanol, un 66% de su biomasa (peso seco, una vez descontado el 15% de humedad que se considera un valor estándar) corresponde al almidón, un 3.9% son aceites y cerca de un 29% corresponde al gluten con diferentes proporciones de proteínas.

A partir del almidón contenido en el grano de maíz o en la celulosa, a través de un proceso de hidrólisis, se obtiene la glucosa necesaria para convertirla en alcohol durante el proceso de fermentación. En la primera fase, cada molécula de glucosa se transforma en dos moléculas de ácido pirúvico. A partir de aquí, gracias al uso de la levadura se obtiene el etanol.

Tabla 7. Composición típica de la planta de maíz

Componentes de la planta	Porcentaje del peso seco (%)	Biomasa kg ^a / ha
Coronta	11.8	1811
Grano	49.7	7629
Total espiga	61.5	9441
Panoja o limbos	12.0	1842
Tallos	17.6	2702
Brácteas de la espiga (chaldas)	8.9	1366
Total caña	38.5	5910
Total planta	100	15350

^a kg medidos en peso seco.

Fuente: Biocombustible: ¿Energía o alimento? (Gracia, 2009)

3.1.2. Caña de azúcar: *Saccharum officinarum*

La caña de azúcar; así como el maíz; es una gramínea de tipo C4 oriunda de los países tropicales. La caña propiamente dicha es aquella fracción de la cual se extrae el azúcar y que constituye el 77% de la planta. El jugo que se obtiene al exprimir la caña tiene un contenido de sacarosa de 44% y un 7% de otros azúcares. En total, el 51% de la biomasa seca de la caña lo constituyen azúcares susceptibles a ser sometidos a fermentación para obtener el bioetanol (Gracia, 2009).

Es así que, de cada tonelada de caña, 770 kg corresponden a los tallos de la caña, de los cuales se puede extraer aproximadamente 400 kg de azúcar que, en la fermentación, se transforman en 160 kg de etanol. La densidad del bioetanol es de 0.79 kg/L y cada kg de etanol obtenido contiene 7128 kcal o, si se prefiere, 5610 kcal/L.

Por otro lado, en el proceso de obtención del bioetanol, se obtienen algunos residuos cuyo contenido energético resulta aprovechable. Estos materiales pueden retornarse al campo de cultivo para favorecer su descomposición y reponer así una parte de los nutrientes extraídos en la cosecha, o pueden ser secados y posteriormente quemados para obtener una fracción de la energía que se requiere en el proceso industrial del etanol (Gracia, 2009).

Tabla 8. Composición típica de caña de azúcar

Componente de la planta	Peso fresco (t/ha)	Peso seco (t/ha)
Biomasa aérea total	93.00	28.00
Hojas y otras fracciones	21.39	6.44
Biomasa de la caña	71.61	21.56
Azúcares	-	11.00
Residuos del exprimido (principalmente fibras)	-	10.56
Residuo seco (de los tallos + hojas y otras fracciones)	-	17.00

Fuente: Biocombustibles: ¿Energía o alimento? (Gracia, 2009)

3.1.3. Comparación entre el maíz y la caña de azúcar

A continuación, se realiza una breve comparación entre las dos principales materias primas en materia de rendimiento en masa, rendimiento por metro cuadrado de cultivo y finalmente viabilidad ambiental.

Con respecto al rendimiento energético se puede decir que, al procesar una tonelada de maíz, se pueden obtener hasta 420 litros de etanol, mientras que de una tonelada de azúcar de caña se obtienen solo 83 litros, esto da la impresión de que el maíz es el más energético (Parra, 2012).

Por otro lado, respecto al rendimiento por metro cuadrado de cultivo, la caña de azúcar crece en agrupaciones más densas que el maíz, así que de un acre (4.046 m²) de caña de azúcar se puede producir al menos 2.33 litros de etanol por acre de maíz. La explicación a esta producción hay que buscarla en la fotosíntesis. La caña de azúcar es un cultivo exclusivamente tropical que crece durante todo el año mientras el maíz crece a latitudes más elevadas y tiene un periodo de crecimiento anual más corto (Gracia, 2009).

Finalmente, hay que agregar que en la actualidad producir etanol procedente de caña de azúcar es más amigable con el medioambiente pues, según Sergio Parra (2012), se obtienen 30.3 litros por cada 3.8 litros de combustible fósil utilizado. En cambio, del maíz, se producen 7.5 litros por cada 3.8 litros de combustible.

3.1.4. Cáscara de plátano

Según el botánico inglés Cheesman (1948), los términos plátano, banana, banano, cambur, topocho o guineo agrupan una inmensa variedad de plantas herbáceas del género *Musa*, que se refiere tanto a híbridos obtenidos horticulturalmente a partir de las especies silvestres del género *Musa acuminata* y *Musa balbisiana* como a cultivos genéticamente puros de estas especies.

Su fruto es rico en tiamina, riboflavina, niacina y ácido pantotéico; también posee ácido fólico, vitamina C, hierro, fósforo, magnesio, manganeso, sodio y potasio. No obstante, no es del fruto que se hablará en esta investigación, sino de la cáscara que lo envuelve, la cual es rica en celulosa, lignina, almidón y lípidos; siendo los tres primeros los responsables de la obtención de etanol.

Citando el trabajo de Flórez, López, Cuarán y Arenas (2014), a partir del uso del método *Van Soest & Klason* se obtiene que la cáscara de banano tiene un contenido de 23.03% de hemicelulosa, 23.02% de celulosa, 0.78% de cenizas y 29.87% de lignina. A partir de esta caracterización, se aprecia que el contenido de *holocelulosa* (celulosa más hemicelulosa) es de 46.05%.

Además, sostienen que si al 100% se restara ese 46.05% más lo que se extrajo de insolubles en cloroformo-metanol y solubles en agua caliente (12%) y el contenido de lignina y cenizas, la diferencia es de 11.3% que corresponde al almidón presente en la cáscara, lo que incrementa a un 57.4% el contenido de carbohidratos útiles para la producción de biocombustibles. De esta manera, se puede avalar el uso de la cáscara de plátano como materia prima en la obtención de bioetanol.

Finalmente, en la **Tabla 9**, se muestra una comparación del maíz y la caña de azúcar, como materias primas convencionales, y la cáscara de plátano, como propuesta de innovación.

Tabla 9. Composición promedio de material lignocelulósico de posibles materias primas para el proceso de obtención de bioetanol

Material lignocelulósico	%(w/w) BS Celulosa	%(w/w) BS Hemicelulosa	%(w/w) BS Lignina	Referencias
Cascarilla de arroz	39.05 25.89-35.5	18.1 – 21.35	22.80 18.20 – 24.6	(Valverde, Sarria, & Monteagudo, 2007)
Bagazo de caña	48.81	24.42	25.82	(Area, y otros, 2006)
Desechos cítricos (Bagazo y cáscara)	20.63 16.2 ± 0.5	10.86 13.8 ± 0.3	2.62 1.0 ± 0.3	(Madrid, Hernández, Cid, & Pulgar, 1996) Limón –Citrus limón L (Mamma, Kourtoglou, & Christakopoulos, 2008) Naranja
Subproductos de Plátano (Cáscara de Banano)	23.02	23.03	29.87	(Flórez, López, Cuarán, & Arenas, 2014)

Fuentes: Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos (Sánchez, Gutierrez, Muñoz, & Rivera, 2010) y *Potential uses of banana peelings: Production of a bioplastic* (Flórez, López, Cuarán, & Arenas, 2014)

Elaboración: Barranzuela & Zola

3.2. Procedimientos

La producción de bioetanol se basa en un proceso bien conocido: la fermentación alcohólica. En todos los casos se parte de almidón o celulosa y, una vez hidrolizados para obtener glucosa, ésta se somete a fermentación de donde se obtiene el etanol.

A continuación, se explicará con mayor detenimiento el procedimiento para la obtención de bioetanol.

3.2.1. Tratamiento preliminar

El objetivo del tratamiento preliminar es maximizar la accesibilidad a los azúcares, minimizar la degradación de los carbohidratos y la formación de subproductos que inhiban el desempeño microbiano durante la fermentación, además de ser económicamente eficiente (Díaz & Herrera, 2016).

Uno de los principales problemas en el pre-tratamiento de los materiales de origen vegetal, es la gran diferencia en sus estructuras y composiciones. Éstas, dependen no solamente de la especie de la planta, sino también de la edad del cultivo. La selección de una técnica de pre-tratamiento en particular depende tanto del tipo de biomasa como de los métodos de hidrólisis y de fermentación subsecuentes.

Algunos de los principales tratamientos preliminares se mencionan a continuación.

➤ Limpieza y tratamiento de materia prima

Antes de esta operación, se debe seleccionar del total de materia prima, aquella que se encuentra en condiciones óptimas para ingresar al siguiente proceso. Una vez seleccionada, se realiza el proceso de limpieza para separar los contaminantes y excedentes que no favorezcan al proceso de obtención del etanol.

El equipo comúnmente propuesto para el pre-tratamiento de la materia prima, a través del método *Liquid Hot Water* (LHW), es un reactor hidrotérmico químico de acero inoxidable S316 de alta aleación¹ (Ver **Figura 1**). La temperatura y presión de trabajo máxima del reactor es de 350 °C y 20 MPa respectivamente (Hydrothermal Reactor, 2016).

Este tipo de reactores cuenta con un sistema de enfriamiento, que consiste en camisas intercambiadoras de calor situadas en todo su ancho y base. Además, la alimentación de la biomasa y agua es impulsada por dos bombas de tornillo, al igual que la salida de la mezcla pre-tratada.

Normalmente, dichos reactores tienen los siguientes parámetros: 15 mm de espesor, una capacidad volumétrica de 50 m³ y una capacidad de procesamiento diario de 1 000 toneladas.



Figura 1. Reactor químico hidrotérmico

Fuente: Hydrothermal chemical reactor (Hydrothermal Reactor, 2016)

➤ **Molienda**

Consiste en una combinación de desfibrado y molienda que permita reducir el tamaño de las partículas reduciendo la cristalinidad de la celulosa y aumentando la superficie específica y la densidad aparente, para facilitar la hidrólisis posterior (Oliva, 2014).

Existen diferentes tipos de maquinaria para realizar las tareas de molienda, entre las cuales se encuentran:

✓ **Molinos de esferas o bolas**

Consiste en un recipiente cilíndrico vacío que gira sobre su propio eje, el cual es relleno con esferas de determinado material (acero inoxidable, cerámica o goma); de este modo, al girar el molino se crea un medio abrasivo en el cual la materia prima es reducida por medio del impacto que generan las esferas.

¹ Una alta aleación es una aleación que exhibe una excelente resistencia mecánica, resistencia a altas temperaturas, estabilidad y una gran resistencia a la corrosión y la oxidación.



Figura 2. Molino de bolas

Fuente: Molinos de bolas (INTERCOM, 2016)

✓ Molino de martillos

El material que entra en el molino es golpeado por un conjunto de martillos girando a baja velocidad. De esta manera, se produce una primera rotura por impacto. Estos martillos lanzan el material contra el interior del molino, donde se encuentran una serie de placas de impacto, y se rompe por segunda vez por impacto. Este proceso se repite mientras el material se mantiene en el interior del molino (Gruber, 2016).

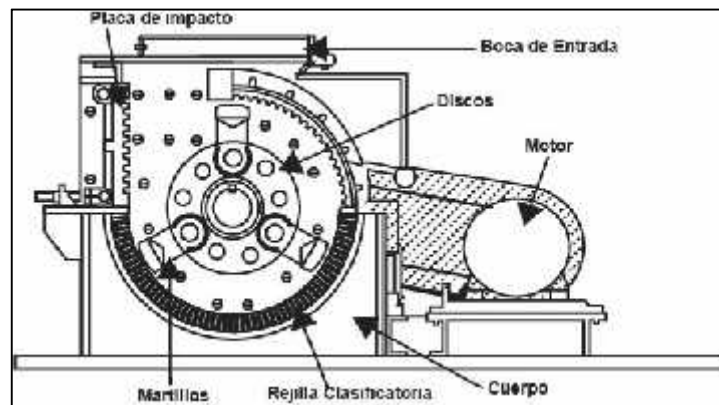


Figura 3. Molino de martillos

Fuente: Molino de martillos (Trituración y Molienda, 2016)

✓ Cocción

Es el proceso por el cual la materia prima es sometida a calor con el objetivo de solubilizar la hemicelulosa de la celulosa para hacerla más accesible y evitar la formación de inhibidores. Durante este proceso se añade; además, el ácido sulfúrico dando como resultado una pulpa de celulosa fácilmente accesible al ataque de las enzimas. La levadura y las enzimas son añadidas entonces al material remanente donde las enzimas digieren la celulosa para producir glucosa (Oliva, 2014).

3.2.2. Hidrólisis

La hidrólisis es una reacción química entre una molécula de agua y otra molécula, en la cual la molécula de agua se divide y sus átomos pasan a formar parte de otra especie química. Esta reacción es importante por el gran número de contextos en los que el agua actúa como disolvente (Morcilo, 1989).

Según Pezoa (2016), hay dos tipos de hidrólisis, ácida o enzimática, y cada una depende de la clase de solución o agente que se emplee.

➤ **Hidrólisis ácida**

La hidrólisis ácida es un proceso en el que un ácido prótico se utiliza para catalizar la escisión de un enlace químico a través de una reacción de sustitución nucleófila, con la adición de agua. Un ejemplo de este tipo de reacción es la conversión de celulosa o de almidón en glucosa. Para el caso de los ésteres y amidas, se puede definir reacción de sustitución nucleofílica de acilo.

➤ **Hidrólisis enzimática**

La hidrólisis enzimática es llevada a cabo por enzimas celulosas que poseen una alta especificidad. Los productos de éste tipo de hidrólisis son en su mayoría pentosas y hexosas, entre ellas la glucosa, las cuales sirven posteriormente como fuente de azúcares para el proceso de fermentación. Se realiza en condiciones relativamente suaves (pH 4,8 y temperatura entre 45-50°C); además, no existe el problema de la corrosión. Normalmente, en la hidrólisis enzimática se emplea una mezcla de varias enzimas como las endoglucanasas, exogluconasas y b-glucosidasas.

Comúnmente, para el proceso de hidrólisis se emplea un reactor (Ver **Figura 4**), en este caso un tanque SUS316L de acero inoxidable de baja aleación. La temperatura y presión máxima de trabajo del tanque se encuentra alrededor de los 170 °C y 0,17 MPa respectivamente. Es de forma cilíndrica con fondo cónico, con el fin de facilitar el bombeo de la mezcla hidrolizada. La capacidad del tanque es de 200 m³ (Acevedo & Sarmiento, 2008).

Dicho tanque está equipado con tubos de calefacción por vapor, sensor de temperatura y manómetro. Además, cuenta con un sistema de agitación tipo turbina de 1 725 rpm y un sistema de alimentación y salida de la mezcla hidrolizada impulsada por bombas.

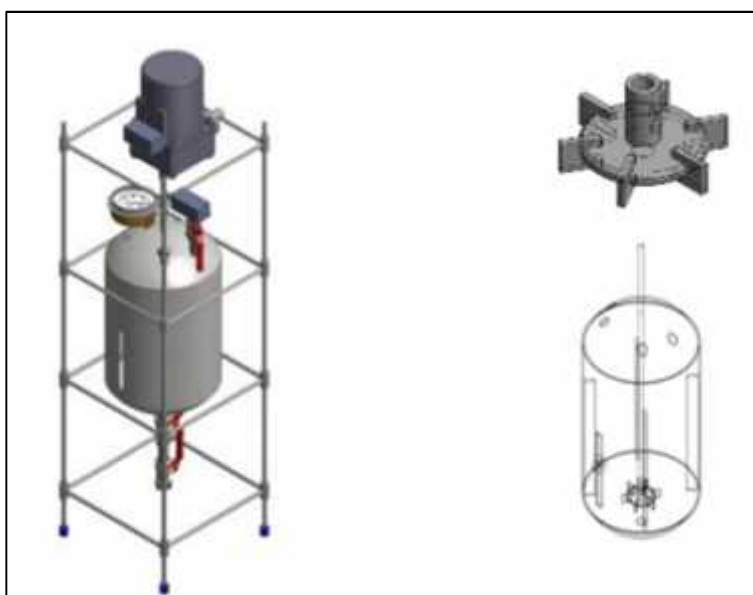


Figura 4. Esquema de tanque de hidrólisis

Fuente: Diseño de tanque de hidrólisis a nivel planta piloto para la producción de miel de agave (Torres & Gonzáles, 2015)

Algunos parámetros técnicos se encuentran en el **Anexo 4**.

3.2.3. Fermentación

La fermentación, aunque popularmente tiene solamente la función de producir alcohol, posee diferentes perspectivas desde las que se puede abarcar. Empezando por aplicaciones generales que están relacionadas con la cocina, hasta industriales, en las que importan factores como la cantidad de oxígeno que interviene en la reacción (Tortora, Funke, & Case, 2016).

Según Tortora, Funke y Case (2016) consiste en:

- Cualquier proceso microbiano en gran escala en condiciones aerobias o anaerobias.
- Cualquier proceso metabólico liberador de energía que tenga lugar exclusivamente en condiciones anaerobias.
- Cualquier proceso metabólico que libere energía a partir de un azúcar u otra molécula orgánica, que no necesite la presencia de oxígeno ni de una cadena transportadora de electrones y utilice una molécula orgánica como aceptador final de electrones.

Debido a la naturaleza del estudio realizado se definirá a la fermentación desde una perspectiva práctica que ayude a entender rápidamente el porqué de la necesidad del proceso: biorreacción, en la que una molécula de glucosa se transforma en moléculas de etanol y de dióxido de carbono.

Existen cuatro tipos de fermentación: alcohólica y láctica, acética y pútrida. La alcohólica es la que corresponde a la definición previa y se esquematiza en la **Fórmula 1**. Como se puede comprobar en dicha ecuación química, se trata de una reacción óxido-reducción que se lleva a cabo sin presencia de oxígeno (Garritz & Chamizo, 1994).



Fórmula 1. Fermentación con enzimas de levadura

Fuente: Química (Garritz & Chamizo, 1994)

Como se puede observar en la **Figura 5**, los productos finales de la fermentación varían según sea el organismo empleado en el proceso. Así es como al usar *Saccharomyces*² se obtiene etanol y CO₂, productos en los cuales se tiene interés en la producción de bioetanol.

² Nombre científico para la levadura.

Ácido Pirúvico

Organismo	<i>Streptococcus, Lactobacillus, Bacillus</i>	<i>Saccharomyces (levadura)</i>	<i>Protoniobacterium</i>	<i>Clostridium</i>	<i>Escherichia, Salmonella</i>	<i>Enterobacter</i>
Productos de la fermentación	Ácido láctico	Etanol y CO ₂	Ácido Propanóico, Ácido Acético, CO ₂ y H ₂	Ácido Butírico, Butanol, acetona, alcohol isopropílico y CO ₂	Etanol, Ácido láctico, Ácido succínico, Ácido acético, CO ₂ y H ₂	Etanol, Ácido láctico, Ácido fórmico, Butanodiol, acetona, CO ₂ y H ₂

Figura 5. Productos de la fermentación del ácido pirúvico según el medio

Fuente: Química (Tortora, Funke, & Case, 2016)

Elaboración: Barranzuela & Zola

Según Vázquez y Dacosta (2007), a pesar de parecer una reacción simple, la fermentación es en realidad una reacción compleja; ya que, las levaduras además de transformar los azúcares en alcoholes utilizan otros nutrientes para reproducirse.

Por otra parte, afirman que, el rendimiento teórico para la fermentación es de 0.511 g de etanol y 0.489 g de CO₂ por 1g de glucosa; sin embargo, debido a que la levadura utiliza la glucosa para producir otros productos es difícil alcanzar éste rendimiento teórico. El rendimiento experimental varía entre 90 y 95 % del teórico y los rendimientos industriales varían entre 87 y 93 % del teórico.

Para esta operación, el equipo más común es un tanque de fermentación, cuyos componentes se pueden observar en la **Figura 6**.

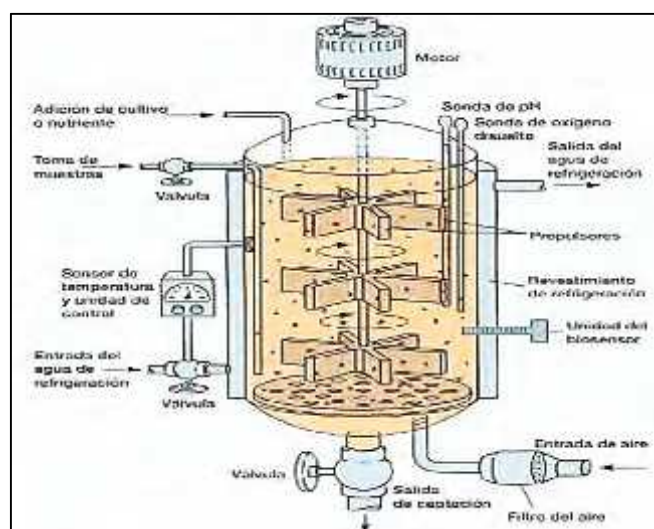


Figura 6. Tanque de Fermentación alcohólica.

Fuente: Diseño de Biorreactores (*Hydrothermal Reactor*, 2016)

3.2.4. Filtrado

Se denomina filtración a la operación unitaria de separación de sólidos en una suspensión por medio de un medio mecánico poroso, también llamados tamiz, criba, cedazo o filtro. Éste retiene los sólidos de mayor tamaño y permite el paso del líquido y partículas de menor tamaño (Coulson, Richardson, Backhurst, & Harker, 2016).

Al medio poroso se le denomina medio filtrante; mientras que, a las partículas que no logran pasar dicha membrana debido al tamaño de sus partículas se le llama torta y el líquido, que sí logra atravesarla, se le denomina filtrado. Éste, se encuentra exento de sólidos, terminando así el proceso (Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2005).

Ibarz y Barbosa-Cánovas (2005) sostienen que, la finalidad de esta operación puede ser la obtención de la torta, el filtrado o ambos. Para el primer caso se debe lavar la torta para así eliminar las impurezas que pueda contener. Mientras que, para el segundo, se desea obtener el filtrado al hacerlo pasar por la membrana, para lograrlo se puede realizar la operación por simple gravedad, o bien aplicando una presión superior a la atmosférica en la parte anterior del medio filtrante o vacía en su parte posterior, denominándose filtración a presión y filtración a vacío, respectivamente.

En la industria se suelen encontrar tres diferentes tipos de filtro:

➤ Filtración de torta

Es precisamente el que forma una torta dejada atrás debido a una membrana filtrante. La torta va creciendo conforme el flujo pasa por la membrana y eventualmente se debe retirar (Martín & Salcedo, 2011).

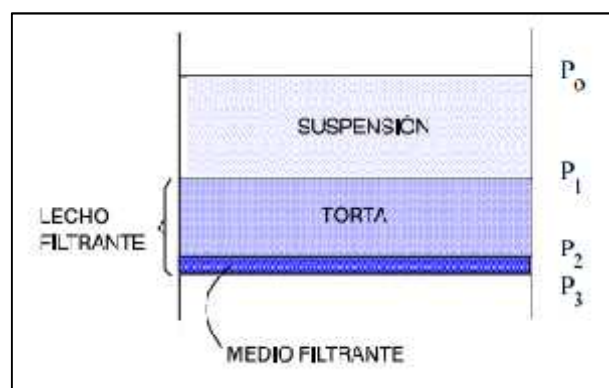


Figura 7. Esquematización de la Filtración de torta.

Fuente: Operaciones separación sólido-fluido (Martín & Salcedo, 2011)

➤ Filtración de lecho profundo

La finalidad de esta filtración es conseguir un efluente clarificado sin partículas finas. Para ello, la entrada de esta operación debe contener una baja cantidad de sólidos (menor de 0.1% en peso). En esta filtración se desea eliminar sólidos que son muy finos y se encuentran bastante diluidos mediante circulación a través de un lecho granular con sólidos medios o gruesos (Martín & Salcedo, 2011).

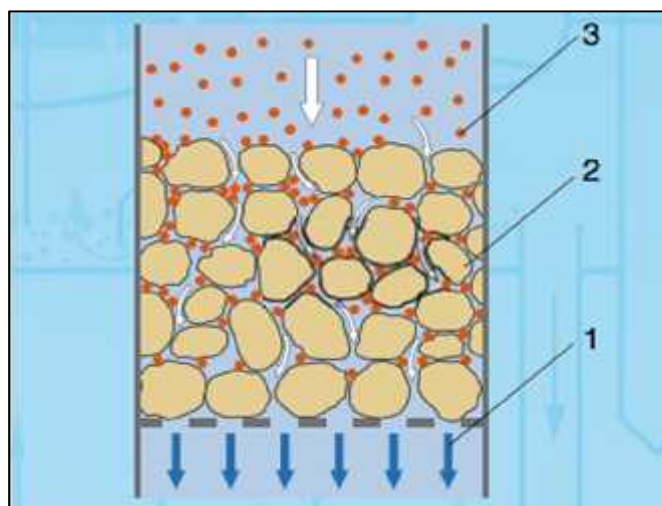


Figura 8. Esquema de filtración de lecho profundo: (1) Fluido depurado, (2) Medio Filtrante y (3) Sólidos insolubles

Fuente: Procesos mecánicos del tratamiento de aguas (*Conocimientos básicos: Filtración, 2017*)

➤ Filtración de flujo cruzado

En este caso, los sólidos encontrados son realmente pequeños (de $5\mu\text{m}$ hasta $0.03\mu\text{m}$), debido a esto no existe una torta tal cual, sino que hay dos flujos de salida. Primero, un líquido filtrado (sin solutos) y segundo, como una corriente de rechazo, un líquido concentrado en solutos (Martín & Salcedo, 2011).

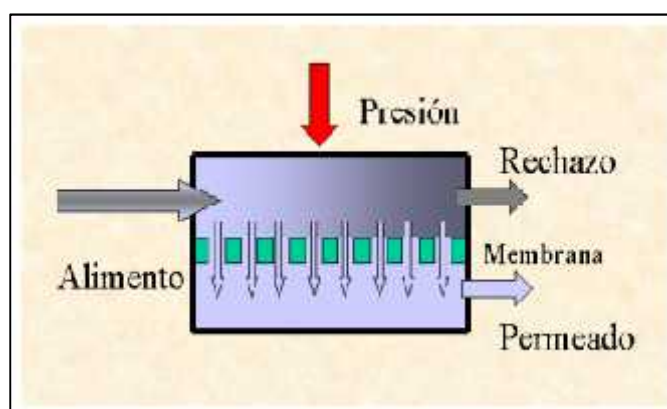


Figura 9. Esquema de la filtración de flujo cruzado o ultrafiltración.

Fuente: Operaciones separación sólido-fluido (*Martín & Salcedo, 2011*)

3.2.5. Destilación

La destilación es una operación de separación basada en el equilibrio de fases y utiliza el calor como agente separador. Se basa en las diferencias de las presiones de vapor (puntos de ebullición) de los componentes de la mezcla y consiste en una columna de múltiples etapas, donde evaporación y condensación se repiten (Escalante & Fuentes, 2013).

Cuando se presenta una interacción entre las fases líquido y vapor, la destilación recibe el nombre de rectificación; mientras que, cuando dicha interacción no se da, se denomina destilación simple (Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2005).

La destilación simple se realiza hirviendo el líquido en un recipiente, al que se llama caldera, condensándose, de esta forma, los vapores que van constituyendo el destilado mientras que en la caldera queda el residuo. Este tipo de destilación puede ser continua (Ver **Figura 10a**) o discontinua (Ver **Figura 10b**), según se vaya alimentando la caldera y extrayendo el residuo continuamente o dejando que las composiciones de vapor y líquido vayan cambiando en el tiempo (Costa, 1991).

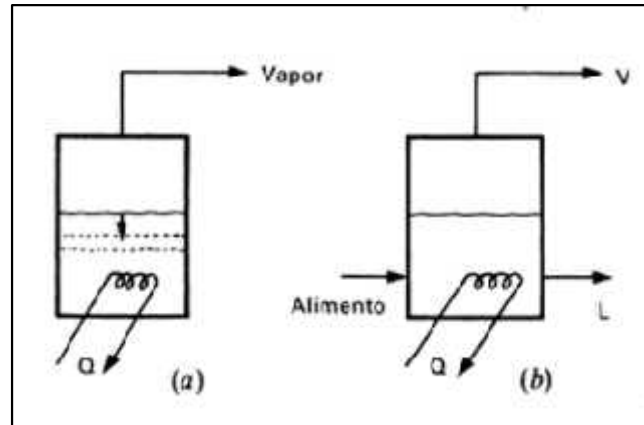


Figura 10. Destilación simple continua (a) y discontinua (b)
Fuente: Curso de Ingeniería Química (Costa, 1991)

En la rectificación (Ver **Figura 11**), el vapor abandona la cabeza de la columna, se condensa, y una fracción del líquido condensado se devuelve a la columna, lo que constituye un reflujo; el resto se retira como producto destilado. Para la condensación llevada a cabo se suele utilizar un serpentín de agua fría o alguna otra corriente del proceso de menor temperatura. Al igual que la destilación simple, puede ser continua o discontinua.

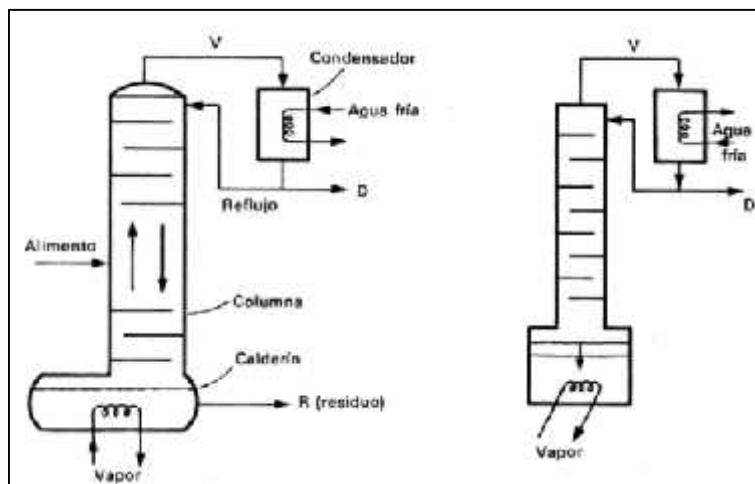


Figura 11. Derecha: rectificación continua, izquierda: rectificación discontinua.
Fuente: Curso de Ingeniería Química (Costa, 1991)

Para la destilación; también se utiliza un deshidratador (Ver **Figura 12**), que consiste en una torre de destilación extractiva, una torre de recuperación del solvente, condensadores y decantadores.

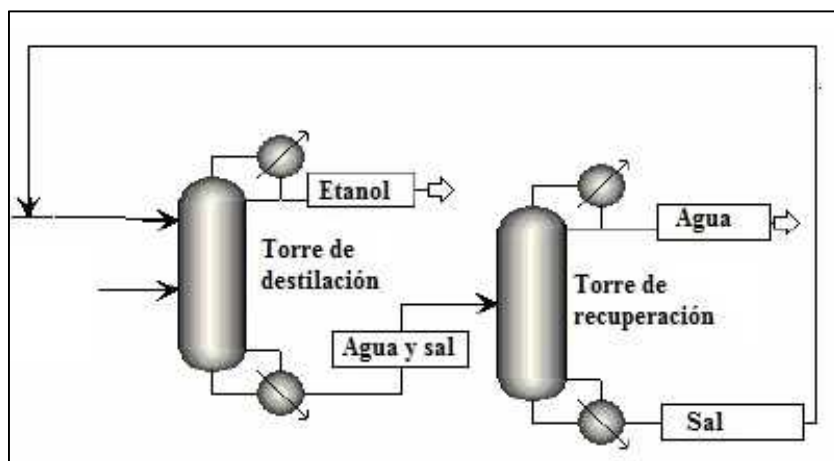


Figura 12. Proceso de Destilación Extractiva.
Fuente: Columnas de destilación (Morch, 2010)

En la industria, la torre de destilación extractiva suele ser una torre de acero de 35 bandejas, con una capacidad de hasta 25 t/h y con una temperatura y presión máxima de operación de 320 °C y 0,3 MPa, respectivamente (Morch, 2010).

Por otro lado, la torre de recuperación suele ser de acero inoxidable AS516 grado 70, capaz de soportar hasta 400°C y 0,3 MPa de presión. En su interior cuenta con un evaporador para la separación del agua y sal (Morch, 2010).

Capítulo 4

Metodología de la investigación

En este capítulo se detallan siete apartados para el desarrollo de la tesis realizada bajo la modalidad de artículo científico: descripción de la metodología, revisión bibliográfica, alcance de la investigación, hipótesis, consideraciones iniciales, variables y/o indicadores de control y el proceso de ejecución de la investigación.

4.1. Descripción de la metodología

Para la elaboración de la tesis se define como metodología principal el método científico, el cual se presenta mediante una investigación con enfoque cuantitativo y diseño experimental probatorio. Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación y se realiza una revisión bibliográfica. De las preguntas investigables se establece una hipótesis, se determinan variables de control; se diseña un procedimiento para ponerlas a prueba; se miden las variables en determinadas condiciones; se analizan los datos obtenidos utilizando métodos estadísticos y se extraen conclusiones respecto a la hipótesis (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

En la **Figura 13** se presenta el diagrama de flujo de la metodología que rige la investigación, en ésta, se pueden observar 11 fases, las cuales se desarrollan a partir del capítulo 1, con la definición de la idea, hasta finalizar con los resultados presentados en el capítulo 5 y las conclusiones finales de la investigación.

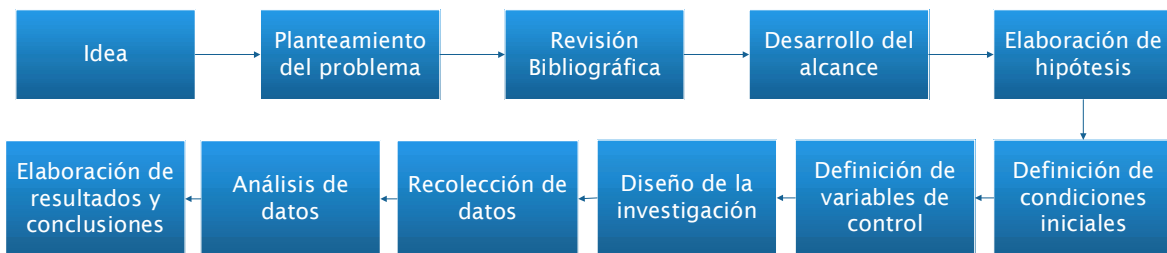


Figura 13. Diagrama de flujo de la metodología
Fuente: Elaboración propia

4.2. Proceso de ejecución de la investigación

Un proceso es un conjunto de actividades planificadas que implican la participación de un número de personas y de recursos materiales coordinados para conseguir un objetivo previamente identificado, así pues, el trabajo de investigación realizado tuvo como fin último elaborar un artículo científico presentado en el I Congreso Internacional de Ingeniería y

Dirección de Proyectos y III Congreso Regional IPMA-LATNET organizado por la Universidad de Piura y la Asociación Peruana de Dirección de Proyectos.

En la **Figura 14** se muestra de manera concisa y esquemática las actividades realizadas para lograr los objetivos inicialmente planteados. Por tanto, en este diagrama de flujo se presenta el proceso de elaboración de la tesis, capítulo a capítulo, y la elaboración del artículo científico presentado en el I Congreso Internacional de Ingeniería y Dirección de Proyectos y III Congreso Regional IPMA-LATNET. Dicho proceso se divide en 4 fases para los cuales el resultado es un documento: plan de tesis, *abstract*, *pre-print*, artículo y la tesis propiamente dicha.

El proceso inicia con la fase preliminar en la cual se contemplan los procesos de definición del tema, problema u oportunidad a aprovechar y la elaboración del plan de tesis. Este documento (el plan de tesis) se presenta formalmente ante la Facultad de Ingeniería, quienes después de realizar una revisión completa, deciden aprobar o no el plan de tesis. A partir de este punto empiezan las fases de investigación.

La siguiente fase contempla el desarrollo de los capítulos del 1 al 4, esto debido a que el proceso de elaboración de dichos capítulos presenta los mismos procesos y subprocesos. Inicia con la definición de la estructura del capítulo, se realiza una revisión bibliográfica y se elabora y consolida la información en el capítulo, el cual es revisado por los asesores de tesis y, si existiese alguna observación, es corregido.

La fase 5 del proceso presenta la elaboración del artículo científico cuya ejecución inicia con la elaboración del *abstract*. Este proceso inicia con una revisión bibliográfica acerca de los temas relacionados con el artículo “*Production of bioethanol from banana peel in Piura*”, tales como estudios acerca de la producción de etanol a partir residuos orgánicos de banano, análisis energéticos del proceso de producción de etanol y proyectos relacionados. En esta etapa se plantean los objetivos, justificación y alcance de la investigación. Dicho documento terminado es enviado al comité organizador del congreso para su evaluación.

Al recibir la aprobación del *abstract* (ver **Anexo 5**) se procede a la recolección y análisis de información, así como también, se define la estructura del artículo. Luego, se organiza la información recopilada de la experimentación previamente realizada y se plasma en un documento llamado *pre-print*. Finalmente, se evalúa la veracidad o falsedad de la hipótesis planteada y se procede a elaborar las conclusiones finales del documento.

En la etapa final del proceso el documento antes elaborado (*pre-print*) se sintetiza para poder cumplir con las normas y formatos establecidos por la Asociación Peruana de Dirección de Proyectos. El documento final es enviado al comité organizador del congreso para su revisión y posibles observaciones, en caso de existir correcciones el documento es enviado a los autores quienes realizan las correcciones del caso y envían nuevamente el artículo modificado para su aprobación final.

Por último, se tiene la fase de cierre en la cual, habiendo consolidado y cerrado cada capítulo, se elaboran las conclusiones de la investigación, se presenta la bibliografía recogida y los anexos del trabajo realizado. El documento final de todo este proceso es la tesis.

En los próximos puntos se detallan algunos aspectos de la metodología plasmada en el artículo con información de mayor alcance.

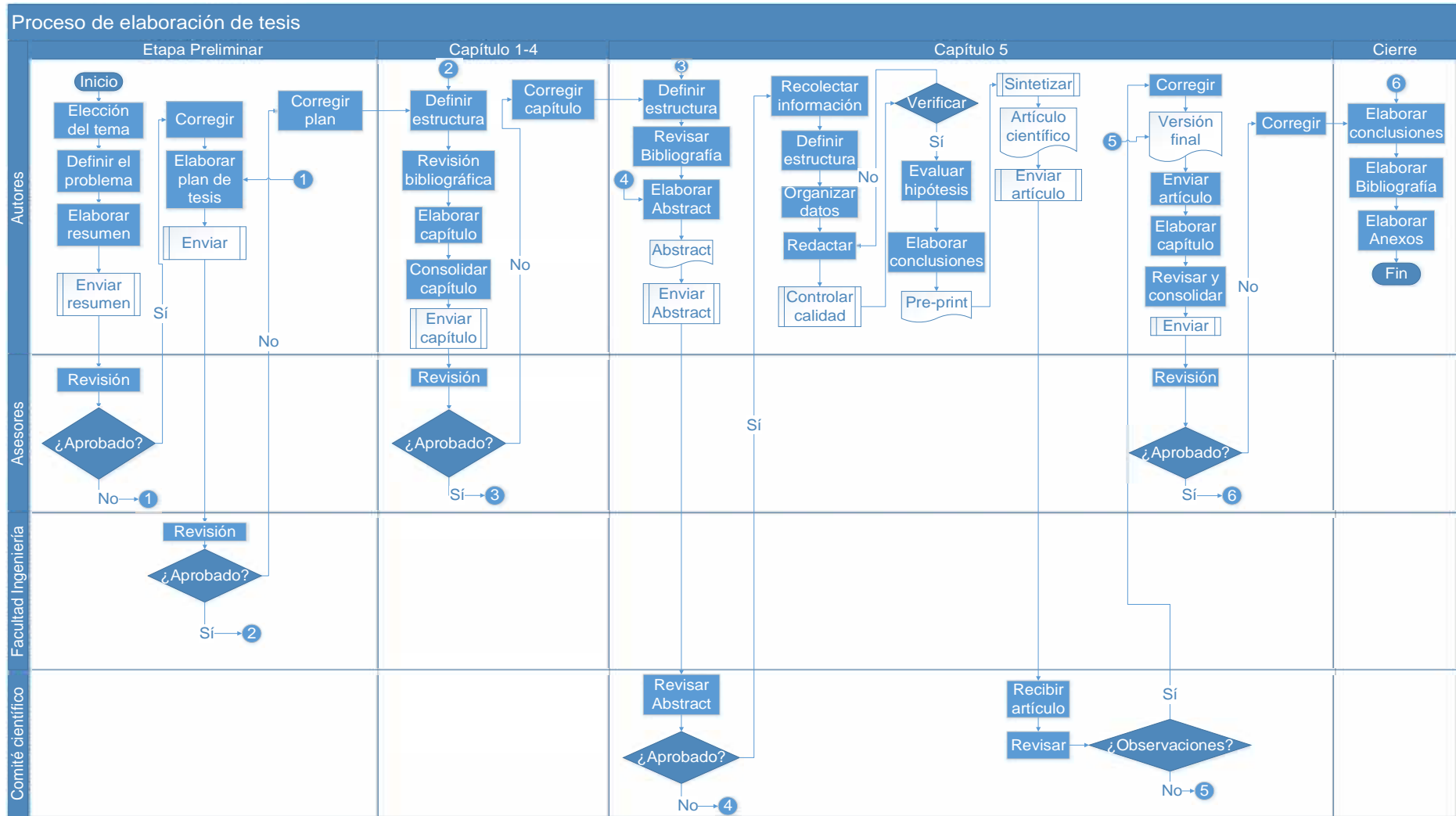


Figura 14: Proceso de elaboración de Tesis
Fuente: Elaboración propia.

4.3. Revisión bibliográfica

Antes de iniciar la investigación en profundidad es pertinente consultar lo que otros ya han estudiado acerca de la obtención de etanol a partir de residuos de plátano o banano, tema que se desarrolla en el artículo. La revisión de los estudios previos permitió identificar el marco de referencia, las definiciones conceptuales, así como los métodos para la recogida y el análisis de datos.

Como base se tomaron los resultados de la investigación de Velásquez, Ruiz y Oliveira presentados en el artículo científico “*Análisis energético y exergético del proceso de obtención de etanol a partir de la fruta del banano*” (2010), en el cual exponen los fundamentos teóricos respecto a la viabilidad del uso de la cáscara de plátano como materia prima en el proceso de obtención de etanol, así como un análisis energético y exergético positivo.

Otras principales fuentes revisadas fueron extraídas de los siguientes trabajos de investigación: *Producción de etanol a partir de la cáscara de banano y de almidón de yuca* de John Monsalve, Victoria Medina & Ángela Ruiz (2006), *Estudio experimental de obtención de bioetanol a partir de residuos agrícolas de banano orgánico en Piura* de Junneyder Escalante & Hilda Fuentes (2013), *Posible proceso productivo de etanol con residuos de banano y sus impactos en el Valle del Chira* de Marirros Oliva (2014), y *Producción en continuo de etanol a partir de banano de rechazo (cáscara y pulpa) empleando células inmovilizadas* de Ana Zapata & Carlos Peláez (2010), la cual expone una comparación entre las fermentaciones en *batch* con células libres e inmovilizadas, utilizando medio estándar de fermentación y mosto de banano como sustrato. Todas estas investigaciones se utilizaron de guía para la elaboración del artículo.

Finalmente, se utilizó como punto de partida el marco teórico y los datos experimentales expuestos en el proyecto denominado “*Estudio experimental de la obtención de biocombustible a partir de cáscara de plátano y su uso en cocinas acondicionadas de la industria chiflera en la ciudad de Piura, Perú*” de Zola, Barranzuela, Castillo, Correa & Rey (2016), quienes también desarrollaron la idea de la obtención de etanol a partir de la cáscara de plátano pero a nivel de proyecto, presentando además un diseño de línea de producción y una propuesta de aplicación en la industria chiflera.

4.4. Alcance de la investigación

El objetivo principal de este trabajo es demostrar la obtención de bioetanol a partir de la cáscara de plátano mediante un estudio experimental, con la intención de resolver la dependencia de los combustibles fósiles y brindar la opción de una oportunidad de negocio para la industria de chifles en Piura. Por tanto, la interrogante que se resuelve en esta investigación: ¿es viable la producción de etanol usando cáscara de plátano como materia prima?

Para dar respuesta a la interrogante se plantea realizar pruebas experimentales para establecer una línea de producción a escala de laboratorio que sea eficiente y replicable en otros ambientes, teniendo en cuenta los materiales, equipos e instrumentos mínimos necesarios, con la finalidad de obtener un prototipo de bioetanol a partir de cáscara de plátano verde, que posea una pureza mayor a 95% de alcohol, sea incoloro y libre de impurezas que pueda ser propuesto para su aplicación en cocinas acondicionadas en la industria chiflera en Piura.

Los datos, resultados y conclusiones obtenidas se plasmarán en un artículo científico, siendo éste el resultado final de la investigación.

4.5. Hipótesis

La presente investigación plantea como hipótesis la obtención de bioetanol con una concentración mayor a 95% de alcohol, incoloro y libre de impurezas, usando la cáscara de plátano o banano como materia prima.

4.6. Consideraciones iniciales de la investigación

Para garantizar el éxito final de la investigación y la correcta elaboración del artículo científico se definieron una serie de factores y/o consideraciones iniciales los cuales delimitan y describen el desarrollo de la investigación.

Dichas consideraciones se muestran en la **Tabla 10** a continuación.













Tabla 10. Consideraciones iniciales de la investigación

Factor	Consideraciones iniciales
Tipo de metodología	Enfoque cuantitativo y diseño experimental probatorio.
Objeto de estudio	Proceso de obtención de etanol a partir de la cáscara de plátano.
Base teórica	Proceso de producción de etanol a partir de residuos agrícolas de banano orgánico; Estudio experimental de la obtención de etanol a partir de cáscara de plátano; Análisis energético y exergético del proceso de obtención de etanol a partir de la fruta del banano.
Herramientas informáticas	Procesador de texto Microsoft Word, durante el desarrollo de la investigación. Software de dibujo vectorial Microsoft Visio, durante el desarrollo de la investigación. Software de hojas de cálculo Microsoft Excel, durante el desarrollo de la experimentación.
Técnicas y/o métodos utilizados	Técnica de Juicio de expertos Método científico Técnica de prueba y error

Fuente: Elaboración propia











Además de las consideraciones iniciales se definieron también, a partir de la revisión bibliográfica previa, los materiales, insumos e instrumentos necesarios para llevar a cabo el desarrollo y control de la experimentación, los cuales se presentan de manera sintetizada en las **Tabla 11** y **12**.

Tabla 11. Materia prima e insumos utilizados durante la experimentación

Materia Prima e Insumos	Imagen	Materia Prima e Insumos	Imagen
Cáscara de plátano verde tipo bellaco		Bicarbonato de Sodio (NaHCO_3)	
Cáscara de plátano maduro tipo bellaco		Levadura de Pan	
Ácido Sulfúrico (H_2S_4)		Azúcar	
Ácido Clorhídrico (H)		Agua	
Envases plásticos		Papel aluminio	
Cinta aislante		Envases de vidrio	

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Imágenes

Tabla 12. Equipos e instrumentos utilizados durante la experimentación

Equipos e Instrumentos	Imagen	Equipos e Instrumentos	Imagen
Pretratamiento e hidrólisis			
Cuchillo de acero inoxidable		Balanza	
Licuada		Olla de acero inoxidable	
Papel Tornasol		Refractómetro	
Termómetro de Mercurio		Cucharita de acero inoxidable	
Guantes		Agitador	

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Imágenes

Tabla 12. Equipos e instrumentos utilizados durante la experimentación (continuación)

Equipos e Instrumentos	Imagen	Equipos e Instrumentos	Imagen
Fermentación			
Manguera fina		Recipientes	
Destilación			
Abrazadera		Rejilla	
Codos		Probeta	
Balón		Alcoholímetro	
Matraz de Erlenmeyer		Soporte de matraz	

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Imágenes

Tabla 12. Equipos e instrumentos utilizados durante la experimentación (continuación)

Equipos e Instrumentos	Imagen	Equipos e Instrumentos	Imagen
Destilación			
Tubo refractario		Soporte de tubo refractario	
Calentador Eléctrico		Varilla de soporte	

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Imágenes

4.7. Variables y/o indicadores de control

En la **Tabla 13** se presentan las variables y/o indicadores de control usados durante el desarrollo de la investigación, tanto en la experimentación como en la elaboración de la tesis o documento final.

Tabla 13. Variables y/o indicadores de control de la investigación

Variable / Indicador	Definición	Importancia
°Brix	Unidad de medida de sólidos solubles presentes en una solución, expresados en porcentaje p/v de sacarosa.	Si la medida de °Brix en el mosto es muy baja, el grado alcohólico resultante será pobre.
pH	Mide la cantidad de iones de hidrógeno que contiene una solución determinada.	Si se tiene valores muy altos o muy bajos de pH la enzima encargada de la fermentación deja de funcionar. Se busca el pH óptimo, en el cual la enzima muestra su mayor actividad y la velocidad es máxima.
Temperatura	Magnitud que mide el nivel térmico o el calor que un cuerpo posee.	Dado un determinado valor de pH la velocidad de reacción es máxima, esto se da a una temperatura óptima. Por arriba o por debajo de esta temperatura la enzima perderá efectividad y; por tanto, la velocidad de reacción disminuye.

Fuente: ConceptoDefinición (Venemedia, 2016) y Obtención de bioetanol a partir de hidrólisis enzimática y fermentación de Arracacha (Cabrera & Almeida, 2017)

Elaboración: Barranzuela & Zola

Tabla 13: Variables y/o indicadores de control de la investigación (continuación)

Variable / Indicador	Definición	Importancia
Extensión de capítulos	Cantidad de páginas en las que se desarrolla un capítulo.	La importancia de la extensión de los capítulos recae en la simplicidad y fluidez de lectura; así como en el seguimiento de la información desarrollada; puesto que, un capítulo muy breve puede no presentar la información como es debida y un capítulo muy extenso causa la perdida de atención por parte del lector. El rango de control se encuentra entre 10-20 páginas exceptuando el capítulo 1, ya que sólo presenta la idea, justificación y objetivos de la investigación.
Número de referencias bibliográficas	Cantidad de referencias bibliográficas o títulos revisados antes y durante la elaboración de la investigación.	El número de referencias bibliográficas en una investigación refleja la calidad de la información presentada; además, brinda al lector el fácil acceso a las fuentes empleadas.

Fuente: ConceptoDefinición (Venemedia, 2016) y Obtención de bioetanol a partir de hidrólisis enzimática y fermentación de Arracacha (Cabrera & Almeida, 2017)

Elaboración: Barranzuela & Zola

En el siguiente apartado se presentan los resultados de la investigación, donde se muestra el trabajo experimental que se realiza para llegar a las conclusiones y probar la hipótesis planteada inicialmente.

Capítulo 5 Resultados

En este capítulo se presenta el artículo científico “*Estudio experimental de la obtención de bioetanol a partir de la cáscara de plátano en Piura*”. Además, se expone evaluaciones y datos de interés que pueden brindar luces para futuras líneas de investigación.

5.1. Artículo

El artículo científico “*Obtención de bioetanol de la cáscara de plátano en Piura*” fue aceptado por el comité científico del I Congreso Internacional de Ingeniería y Dirección de Proyectos y III Congreso Regional IPMA-LATNET organizado por la Universidad de Piura y la Asociación Peruana de Dirección de Proyectos (Ver **Anexo 5**).

Sin embargo, por cambios en las bases del congreso y formatos de presentación, se decide modificar el título del artículo por otro que defina, de forma más clara y concisa, su alcance y enfoque experimental. Es así que, el nombre finalmente designado al artículo es “*Estudio experimental de la obtención de bioetanol a partir de la cáscara de plátano en Piura*”.

A continuación, se presenta el artículo en el formato solicitado por el comité científico.

I CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA Y DIRECCIÓN DE
PROYECTOS
III CONGRESO IPMA-LATNET

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE
LA CÁSCARA DE PLÁTANO EN PIURA

Mayra Zola ^a, Manuel Barranzuela ^{a*}, Catherin Girón ^a, Dante Guerrero ^a

^a Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería, Av. Ramón Mugica 131 – Urb. San Eduardo, Piura, Perú.

*Autor en correspondencia.

Correo electrónico: manuel.barranzuela@pregrado.udep.edu.pe

Palabras clave: Plátano, Bioetanol, Chifles, Innovación.

RESUMEN

A septiembre del 2016, la exportación anual de chifles se incrementó en 12%, alcanzando los US\$10.7 millones. Asimismo, los biocombustibles se han convertido en sustitutos ideales de los derivados del petróleo, debido a su baja cantidad de emisiones y a la alta volatilidad en el precio del petróleo. El presente artículo muestra el resultado del proyecto de innovación e investigación, que tiene como objetivo principal realizar un estudio experimental para la obtención de bioetanol a partir de la cáscara de plátano, con la finalidad de brindar una oportunidad de negocio a las empresas productoras de chifles en la ciudad de Piura. La investigación presenta como resultado la obtención de bioetanol, incoloro y con una pureza de 95%, que sería propuesto para su aplicación en cocinas acondicionadas en la elaboración de chifles. A lo largo del artículo se realiza un análisis bibliográfico sobre el proceso de obtención de bioetanol, y las metodologías de recogida de información para la definición de los materiales, equipos, instrumentos y monitoreo de las principales variables de control. Finalmente, se expone el método experimental y las técnicas que definieron el desarrollo y ejecución de las experimentaciones.

Keywords: Banana, Bioethanol, Chifles, Innovation.

ABSTRACT

As of September 2016, the annual exportation of chifles increased in 12%, reaching US\$ 10.7 million. As well, the biofuels have become in the ideal substitutes of the oil derivatives, due to their lower amount of emissions and the high volatility of the oil prices. The present article shows the results of an innovation and research project, which has as main objective develop an experimental study of the bioethanol production from banana peel with the purpose to offer a business opportunity to the producing enterprises of chifles in the Piura city. The research presents as result the obtainment of bioethanol, colourless and with 95% of purity, which would be proposed for its application on conditioned cuisines for chifle's manufacturing. Throughout this article a bibliographic analysis it's made about the process of the bioethanol obtaining, and the methodologies for collecting information for the definition of materials, equipment, instruments and the main control variables monitoring. Finally, it exposes the experimental method and the techniques that define the experimental tests development and execution.

1. Introducción

El consumo acelerado de los combustibles fósiles y la incertidumbre del calentamiento global durante la última década, ha incrementado de manera inevitable el interés comercial por los combustibles renovables (Halim et al., 2012). El bioetanol es visto como una atractiva solución para aliviar la existente dependencia de los combustibles derivados del petróleo.

Actualmente, la producción de bioetanol es sintetizada a partir de un proceso de fermentación anaeróbica de las moléculas de glucosa presentes en la biomasa de diferentes cultivos alimenticios como la caña de azúcar, maíz, entre otros (Vázquez & Dacosta, 2007). Evaluando el proceso, se ha identificado a la cáscara de plátano como una materia prima prometedora.

Este estudio experimental demuestra la viabilidad del uso de la cáscara de plátano como materia prima para la producción de bioetanol, a través de la realización de una serie de pruebas experimentales basadas en el método científico, en las cuales las variables de control tales como el pH, °Brix y la temperatura se fueron alterando para obtener un bioetanol de pureza mayor a 95% de alcohol. Entre los procedimientos utilizados se encuentran la hidrólisis ácida, fermentación anaeróbica y destilación fraccionada expuestos en otras investigaciones (Escalante & Fuentes, 2013).

El éxito de la investigación abre puertas a futuras investigaciones sobre el desarrollo de aplicaciones y alternativas que generen mayor productividad y rentabilidad para las empresas productoras de chifles, aprovechando al máximo el recurso del que disponen. Como prueba de ello, la presente investigación forma parte de un proyecto orientado hacia la industria de chifles en la región Piura (Zola et al., 2016).

2. Metodología

Se define como metodología principal el método científico, el cual se presenta mediante una investigación con enfoque cuantitativo y diseño experimental probatorio. Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación y se realiza una revisión bibliográfica. De las preguntas investigables se establece una hipótesis, se determinan variables de control; se diseña un procedimiento para ponerlas a prueba; se miden las variables en determinadas condiciones; se analizan los datos obtenidos utilizando métodos estadísticos y se extraen conclusiones respecto a la hipótesis (Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

El objetivo principal de este trabajo es demostrar la obtención de bioetanol a partir de la cáscara de plátano mediante un estudio experimental, con la intención de resolver la dependencia de los combustibles fósiles y brindar la opción de una oportunidad de negocio para la industria de chifles en Piura. Por tanto, la interrogante que se resuelve en esta investigación: ¿es viable la producción de etanol usando cáscara de plátano como materia prima?

Para dar respuesta a la interrogante se plantea realizar pruebas experimentales para establecer una línea de producción a escala de laboratorio que sea eficiente y replicable en otros ambientes, teniendo en cuenta los materiales, equipos e instrumentos mínimos necesarios, con la finalidad de obtener un prototipo de bioetanol a partir de cáscara de plátano verde, que posea una pureza mayor a 95% de alcohol, sea incoloro y libre de impurezas que pueda ser propuesto para su aplicación en cocinas acondicionadas en la industria chiflera en Piura.

2.1 Hipótesis

La presente investigación plantea como hipótesis la obtención de bioetanol con una concentración mayor a 95% de alcohol, incoloro y libre de impurezas, usando la cáscara de plátano o banano como materia prima.

2.1 Consideraciones iniciales

Antes de realizar las pruebas de laboratorio, se definen conceptos y premisas iniciales de cómo llevar a cabo la experimentación, de tal manera que se estandaricen operaciones y controles para el éxito de la misma. Las consideraciones iniciales más importantes son:

- J Prueba preliminar: Experimentación en donde sólo se realizan los procedimientos de transformación de la materia prima (Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2005).
- J Prueba experimental: Experimentación en donde se realizan los procedimientos de transformación de la materia prima y el control de las variables preestablecidas, llevando un registro de las mediciones para su posterior análisis y comparación.
- J Grado Brix (°Brix): Unidad de cantidad que sirve para determinar el cociente total de materia seca, en este caso, azúcares disueltos en un líquido.
- J pH: Medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidrógeno [H]⁺ presentes en determinadas disoluciones (Montero, 2016).
- J Para cualquier tipo de experimentación las condiciones de las pruebas no variarán entre mediciones respecto a la cáscara de plátano; es decir, que la materia prima siempre debe estar limpia. De no ser así, se corregirá mediante el procedimiento de limpieza en el pretratamiento.
- J Estricto cuidado de mantener en condiciones óptimas los equipos de medición, encargados de controlar las variables preestablecidas.
- J Especial cuidado en que no hubiese interferencias de algún otro agente externo al experimento.

2.2 Variables de Control

Las principales variables de control en cada prueba realizada son el °Brix, la temperatura (en °C) y el pH (Ver Tabla 1); ya que, de esta forma se puede plasmar gradualmente el avance de conversión del azúcar contenido en la cáscara de plátano en alcohol durante los procesos de hidrólisis y fermentación.

Tabla 1. Variables de control empleados

Variable de control	Definición	Importancia
°Brix	Unidad de medida de sólidos solubles presentes en una solución, expresados en porcentaje p/v de sacarosa.	Si la medida de °Brix en el mosto es muy baja, el grado alcohólico resultante será pobre.
pH	Mide la cantidad de iones de hidrógeno que contiene una solución determinada.	Si se tiene valores muy altos o muy bajos de pH la enzima encargada de la fermentación deja de funcionar. Se busca el pH óptimo, en el cual la enzima muestra su mayor actividad y la velocidad es máxima.
Temperatura	Magnitud que mide el nivel térmico o el calor que un cuerpo posee.	Dado un determinado valor de pH la velocidad de reacción es máxima, esto se da a una temperatura óptima. Por arriba o por debajo de esta temperatura la enzima perderá efectividad y; por tanto, la velocidad de reacción disminuye.

Fuente: Elaboración propia a partir de *ConceptoDefinición* (Venemedia, 2016) y *Obtención de bioetanol a partir de hidrólisis enzimática y fermentación de Arracacha* (Cabrera & Almeida, 2017)

2.2 Técnicas Utilizadas

Para desarrollar el trabajo experimental se utilizan metodologías, herramientas y técnicas propias de la Dirección de Proyectos, técnicas analíticas de control, el Juicio de Expertos, cuestionarios, encuestas, entrevistas, grupos focales, etc.

En primer lugar, se recopila y analiza la información sobre el proceso de obtención de bioetanol. Para esto, se utiliza el método de mapeo.

En segundo lugar, se hace uso de la técnica de Juicio de Expertos para la definición de los materiales, equipos, instrumentos y el monitoreo de las principales variables de control. Entre los más importantes equipos y materiales utilizados tenemos: el refractómetro analógico, papel tornasol, termómetro de varilla de vidrio y ácido sulfúrico, empleados para la medición de °Brix, pH, temperatura e insumo, respectivamente durante el proceso de hidrólisis; recipientes de plástico herméticos, jeringa hipodérmica, manguera plástica transparente y levadura activada, usados en el proceso de fermentación; tela organza para el proceso de filtrado y; finalmente, un tubo refractario, accesorios, calentador eléctrico, balón de vidrio y alcoholímetro, para el proceso de destilación.

Por último, se emplea el diseño experimental probatorio y la técnica de Prueba y Error, los cuales definen el desarrollo y ejecución de las pruebas experimentales y; por ende, la secuencia de los procedimientos y procesos. Asimismo, se hizo uso de herramientas informáticas de análisis y procesamiento de datos.

3. Trabajo Experimental

Como base se tomaron los resultados de la investigación de Velásquez, Ruiz y Oliveira (2010), en el cual exponen los fundamentos teóricos respecto a la viabilidad del uso de la cáscara de plátano como materia prima en el proceso de obtención de etanol, así como un análisis energético y exergético positivo. Además, con la finalidad de tener éxito en las experimentaciones y estandarizar procedimientos y mediciones se realizan pruebas preliminares y experimentales.

3.1 Pruebas Preliminares

Para empezar las pruebas preliminares primero se diseñó la línea de producción a escala de laboratorio a seguir en este procedimiento. Una vez definida, se decidió realizar una comparación entre dos tipos de cáscara de plátano verde, palillo y bellaco (Meneses, 2015), con el fin de fundamentar si es que había cierta diferencia en la calidad y concentración del bioetanol al finalizar todas las etapas.

Las variables de control preestablecidas fueron el peso de cada plátano usado, el peso de la cáscara de plátano, el tiempo de cocción de las cáscaras, el agua añadida en la hidrólisis, la cantidad de ácido clorhídrico de concentración 2 M (molar) añadido en la hidrólisis y el tiempo de hidrólisis.

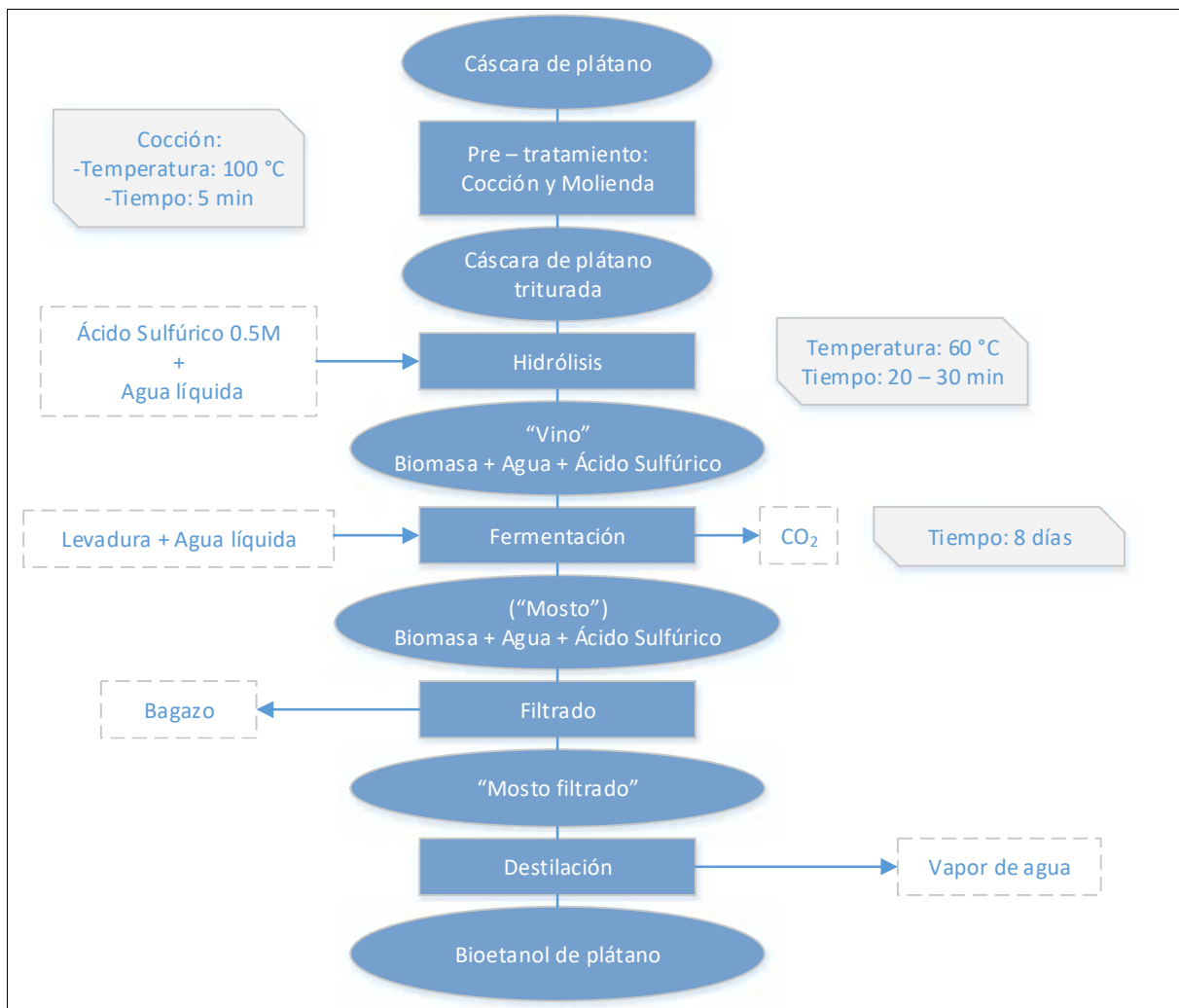
Los resultados obtenidos muestran que, en promedio, el porcentaje en masa de la cáscara es 50.47%, aproximadamente la mitad del peso total de la fruta. El tiempo de cocción de la cáscara de plátano verde tipo palillo fue de 10 minutos y el de tipo bellaco fue de 12. En el proceso de hidrólisis se utilizó 250 mL de agua, entre 80 y 90 gotas de ácido clorhídrico y el tiempo promedio de hidrólisis fue de 3.6 minutos.

Después de realizar la hidrólisis, la mezcla de cada tipo de plátano fue colocada por separado en un recipiente de plástico hermético y conectado a otro mediante una manguera fina para pasar por el proceso de fermentación durante 8 días.

3.2 Pruebas Experimentales

Tras realizar las pruebas preliminares se modificó el procedimiento empleado hasta entonces (Ver Figura 1), en este caso, se utilizó ácido sulfúrico en lugar de ácido clorhídrico como afirma Marirros Oliva (2014) y se adicionó el uso de levadura activada durante la fermentación como fue empleada en el estudio de Ana Zapata y Carlos Peláez (2010). Además, se decidió dividir las pruebas experimentales en dos secciones, sin neutralización y con neutralización de la mezcla, tratando de encontrar una solución que garantice la vida útil de la levadura durante el mismo proceso.

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de producción de etanol a escala de laboratorio



Fuente: Elaboración propia a partir de *Producción de etanol a partir de la cáscara de banana y de almidón de yuca* (Monsalve, Medina & Ruiz, 2006)

a) Pruebas Experimentales sin Neutralización

Se decidió realizar una comparación entre dos tipos de cáscara de plátano bellaco, verde y maduro, esto con el fin de fundamentar si es que hay diferencia en la calidad y concentración del bioetanol al finalizar las pruebas experimentales.

Siguiendo el nuevo procedimiento y teniendo las siguientes variables de control: peso de cada plátano usado y peso de la cáscara; se obtuvo que, a diferencia de las pruebas preliminares el porcentaje en masa de la cáscara con respecto a la masa total de la fruta

fue menor, en promedio 43.5%, debido a que se utilizó de manera estándar el plátano bellaco.

Por otro lado, se realizó el proceso de cocción obteniendo tiempos de 8 minutos y 12 segundos para el plátano verde y 9 minutos y 13 segundos para el plátano maduro. Después, se realizaron mediciones de control de pH y °Brix, las cuales se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Muestra de control antes del proceso de hidrólisis

N° muestra	Cáscaras de plátano verde		Cáscaras de plátano maduro	
	pH	°Brix	pH	°Brix
1	6.5	2	6	2.2
2	6.5	2.1	6	2.2
3	6.5	2	6	2.2
4	6.5	2	6	2.4
5	6.5	2	6	2.8

Fuente: Elaboración propia

Con respecto al proceso de hidrólisis, se utilizaron en promedio 500 mL de agua, 385 mL de ácido sulfúrico con concentración 0.5 M, 700 gr de cáscara de plátano, durante un tiempo promedio de 25 minutos y manteniendo una temperatura constante de 60 °C. Después de ejecutado este proceso se tomaron las mediciones de pH y °Brix a las muestras respectivas, cuyos resultados se exponen en la Tabla 3.

Tabla 3. Datos de pH y °Brix después del proceso de hidrólisis

N° muestra	Cáscara de plátano verde		Cáscara de plátano maduro	
	pH	°Brix	pH	°Brix
1	1	4	1	4
2	1	3.8	1	3.2
3	1	4	1	3.4
4	1	4	1	3.2
5	1	3.9	1	3.2

Fuente: Elaboración propia

Uno de los procedimientos más importantes es la activación de la levadura; puesto que, garantiza el funcionamiento correcto de la levadura durante el proceso de fermentación, para el cual se emplearon 4 g de levadura, 4 g de azúcar, 50 mL de agua, durante un tiempo de reposo promedio de 17.5 minutos.

Finalmente, el proceso de fermentación se monitoreó diariamente durante el transcurso de 8 días, tomando 5 muestras por día para medir los valores de pH y °Brix. Después, se procede a la destilación de la solución previamente filtrada.

b) Pruebas Experimentales con Neutralización

Para este tipo de prueba experimental se sigue el mismo procedimiento descrito para las pruebas sin neutralización, con la única salvedad que, antes del proceso de fermentación y, con el propósito de neutralizar el medio ácido en el que se llevará a cabo la adición de la levadura, se añade a la solución una base; en este caso se utilizó bicarbonato de sodio (NaHCO₃) alcanzando un valor de pH entre 5 y 6 (Sánchez et al., 2010).

Es importante que se tome como materia prima aquella que tenga la mayor cantidad de material lignocelulósico contenido; puesto que, se generará mayor cantidad de alcohol (Díaz & Herrera, 2016). Por lo tanto, en esta etapa se usó exclusivamente la cáscara de plátano verde. En la Tabla 4, se muestran los resultados de pH y °Brix antes del proceso de hidrólisis, y en la Tabla 5, estas medidas de control después del proceso de hidrólisis.

Tabla 4. Resultado de pH y °Brix de las muestras antes de la Hidrólisis

N° muestra	Cáscaras de plátano verde	
	pH	°Brix
1	5.5	2.4
2	5.5	2.5
3	5.5	2.5
4	5.5	2.5
5	5.5	2.5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Resultado de pH y °Brix de las muestras durante la Hidrólisis

N° muestra	Tiempo (min)	pH	°Brix
1	7	1	3
2	14	1	3
3	21	1	3
4	28	1	3.2
5	35	1	3.4
6	42	1	3.8
7	49	1	4
8	56	1	4.4
9	63	1	5
10	70	1	5.6

Fuente: Elaboración propia

La cantidad de agua y bicarbonato de sodio para la neutralización fue de 100 mL y 8 g. respectivamente. A continuación, se monitoreó el proceso de fermentación diariamente durante 8 días, recolectando 5 muestras por día para medir los valores de pH y °Brix. Luego, se prosigue con un proceso de destilaciones sucesivas para alcanzar un 95% de pureza en alcohol.

4. Discusión de Resultados

Como resultado de las pruebas preliminares se pueden mencionar algunas características físicas del mosto; como por ejemplo, el color y el aroma del mismo. El color de la mezcla con el transcurso de los días pasó de verde oscuro a verde claro. En cuanto al aroma, éste era desagradable y no consiguió tener el olor a alcohol característico de un proceso de fermentación exitoso, afirmación que fue corroborada durante el proceso de destilación;

puesto que, si bien no se midieron los grados alcohólicos, era evidente que la solución tenía una concentración de alcohol casi nula.

Además, las pruebas preliminares aportaron 3 lecciones para mejorar el procedimiento empleado en las pruebas experimentales:

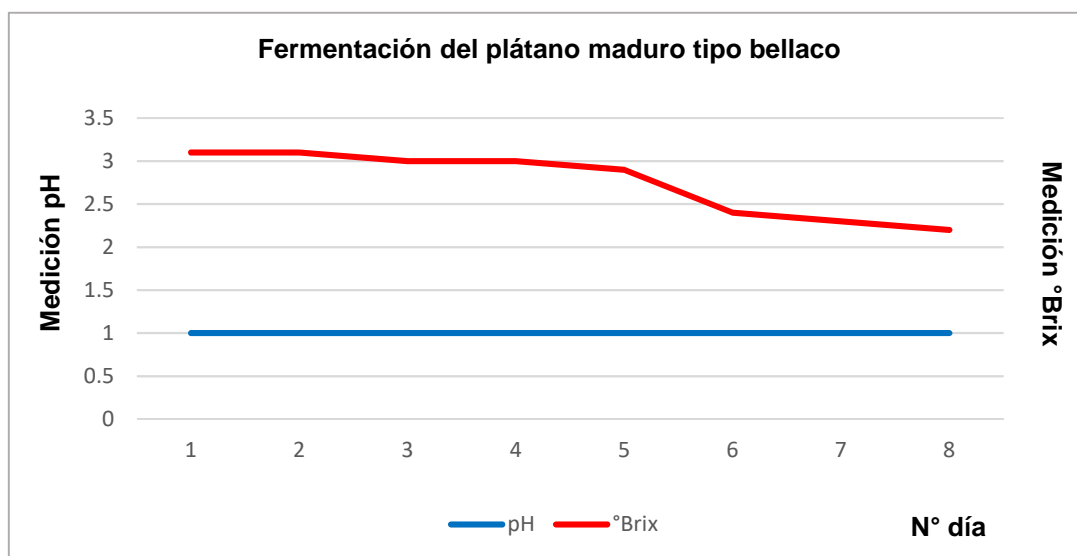
-) El uso de ácido sulfúrico como catalizador en la etapa de hidrólisis ácida en lugar de ácido clorhídrico.
-) Adición de levadura una vez finalizado el proceso de hidrólisis y luego de haber obtenido un valor de pH óptimo que garantice la vida útil de la levadura durante la fermentación.
-) Mejorar los materiales utilizados en la etapa de fermentación. Se emplearon recipientes de plástico transparente y de sellado hermético. Por otro lado, se mejoró el diseño del dispositivo de fermentación, conectando una manguera plástica hacia un recipiente con agua, permitiendo así la liberación del CO₂ pero no el ingreso de aire al dispositivo.

Respecto a las pruebas experimentales, los resultados obtenidos en cada sección se exponen a continuación:

a) Sin Neutralización de Mezcla Hidrolizada.

En la Figura 2 y 3, se muestra una gráfica resumen de los resultados de las mediciones de pH y °Brix durante la fermentación de cada muestra.

Figura 2. Mediciones de pH y °Brix durante la fermentación de la muestra de plátano maduro

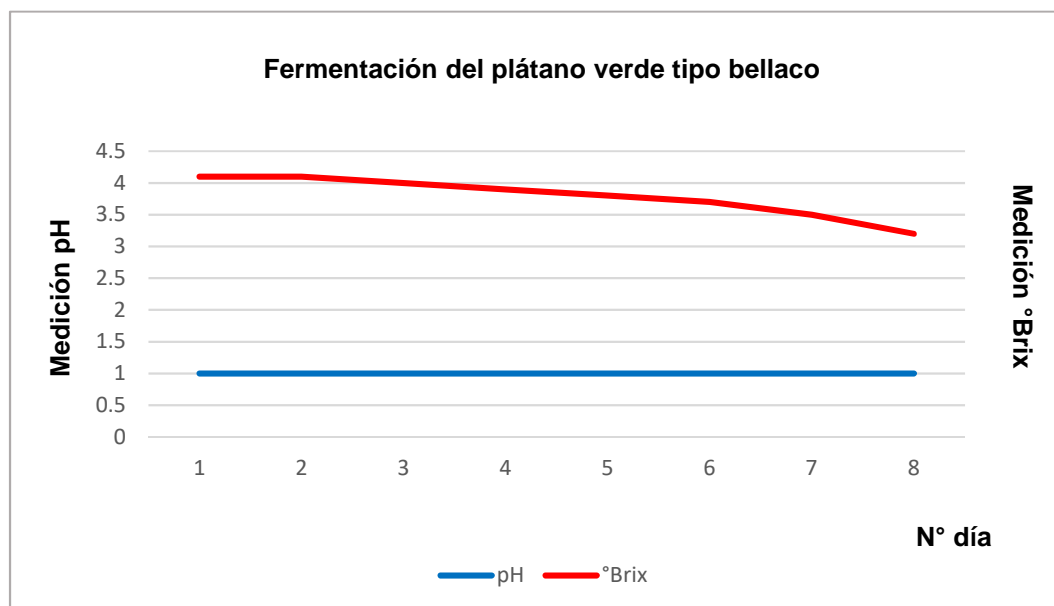


Fuente: Elaboración propia

En la Figura 2 se puede observar que conforme pasan los días, el °Brix disminuye, de 3.1° a 2.2° aproximadamente. Esto significa que la cantidad de azúcares (glucosa) en la solución, aunque muy poco, disminuye convirtiéndose en alcohol. El pH se mantiene constante en 1; por lo tanto, el medio sigue siendo ácido (debido al ácido sulfúrico).

En la Figura 3 se puede observar que conforme han pasado los días, el °Brix disminuye, de 4.1° a 3.2° aproximadamente. Esto significa que la cantidad de azúcares en la solución ha disminuido en menor cantidad que la del experimento anterior. El pH se mantiene constante en 1; por lo tanto, el medio sigue siendo ácido.

Figura 3. Mediciones de pH y °Brix durante la fermentación de la muestra de plátano verde



Fuente: Elaboración propia

Transcurridos los 8 días de fermentación se procede a la destilación de la solución previamente filtrada mediante el uso de organza. La destilación de una muestra de 600 mL para cada tipo de cáscara de plátano duró 2 horas, obteniéndose 86 mL de destilado producto de la cáscara de plátano verde con un contenido de 11.02% de alcohol; mientras que, para el tipo de cáscara de plátano maduro se obtuvo 75 mL de destilado con un contenido de 8.43 % de alcohol (Ver Tabla 6).

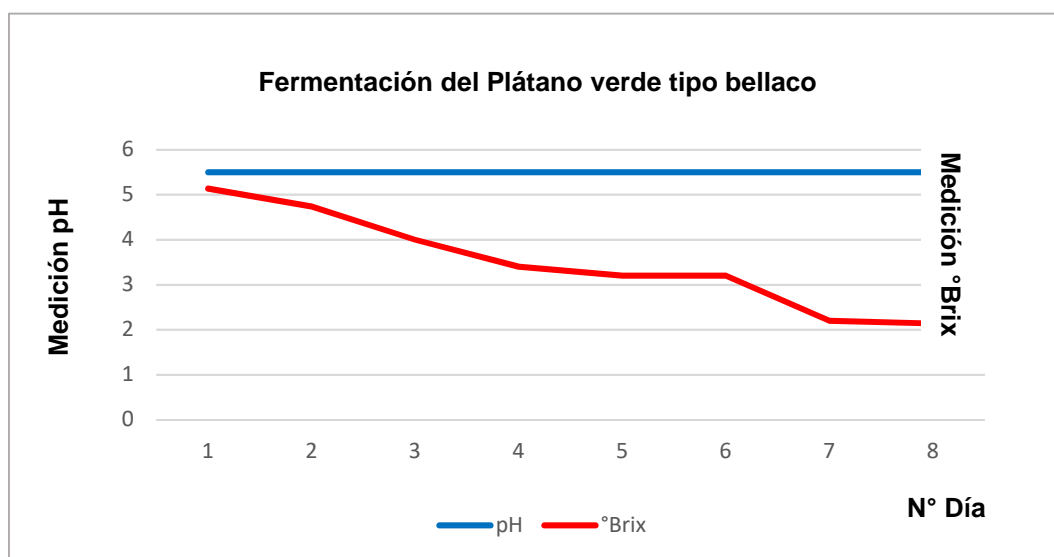
Tabla 6. Resultados obtenidos del proceso de destilación.

Tipo cáscara	Alcoholímetro o (Grados)	Cantidad de mosto filtrado (mL)	Cantidad de Destilado (mL)	Solución Total (mL)	Pureza alcohol (%)	Grado alcohólico del mosto
Verde	0.06	600	86	158	11.02	0.02
Maduro	0.04	600	75	158	8.43	0.01

Fuente: Elaboración propia

b) Con Neutralización de Mezcla Hidrolizada.

En la Figura 4, se muestran los resultados de las mediciones de pH y °Brix durante la fermentación de la muestra neutralizada. Se puede observar que conforme pasan los días, el °Brix disminuye, de 5.4° a 2.1° aproximadamente, lo que significa que la cantidad de azúcares en la solución se convierten en alcohol. Estos resultados muestran una gran mejora respecto de las pruebas experimentales sin neutralización; ya que, la variación del °Brix final pasa de 0.9 a 3.3. El pH se mantiene constante en 5.5 y el medio es relativamente ácido.

Figura 4. Mediciones de pH y °Brix durante la fermentación de la muestra de plátano verde

Fuente: Elaboración propia

Transcurridos los 8 días de fermentación se procede a la destilación de la solución previamente filtrada. La primera destilación se realizó a partir de una muestra de 500 mL de solución fermentada, la cual duró 2 horas, obteniéndose 99 mL de destilado con un contenido de 63.33% de alcohol. Posteriormente se realizaron 3 destilaciones más para alcanzar una pureza de 95% de alcohol, como se indica en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados de la medición del grado alcohólico en las destilaciones sucesivas

Nº destilación	Alcoholímetro (Grados)	Cantidad Destilado (mL)	Solución Total (mL)	Pureza alcohol (%)
1	0.33	99	190	63.33
2	0.25	64	190	74.22
3	0.18	38	180	85.26
4	0.1	18.9	180	95.24

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados encontrados se afirma la hipótesis; ya que, es posible obtener etanol a una pureza mayor al 95% utilizando la cáscara de plátano como materia prima. Se define que es mejor utilizar el plátano tipo bellaco verde y se validan los procesos planteados de hidrólisis, fermentación y destilación.

5. Evaluación Económica-Financiera para Implementación

Este estudio experimental también pretende ser punto de partida de una oportunidad de negocio para la industria de chifles en Piura. Por tanto, si una pequeña empresa productora de chifles decide producir su propio biocombustible a partir de sus desechos e implementar el diseño de línea propuesto en esta investigación, la siguiente información podría brindarle algunos conocimientos económicos-financieros.

De acuerdo al análisis de pérdidas y ganancias, considerando la inversión inicial (S/. 25, 441) y los distintos costos y gastos que conlleva la implementación del diseño de línea, se proyecta una utilidad neta de S/. 5, 544 al año, lo que indicaría el monto ahorrado.

Se define el punto de equilibrio diario de materia prima en 207 plátanos, cantidad que está muy por debajo de la demanda frecuente de una pequeña chiflería (1200 plátanos aproximadamente). Por este motivo, no habría inconveniente alguno respecto a la cantidad de materia prima necesaria para producir su propia demanda de bioetanol.

Con respecto a la tasa interna de retorno (TIR), esta resultó en un sólido 52%. Por otro lado, el valor actual neto (VAN) de la implementación del proyecto es de S/. 30, 241 lo que indica que el proyecto sí genera un ahorro significativo en el largo plazo. Finalmente, el rendimiento de la inversión en el tiempo se evalúa a través del Payback, el cual indica que el plazo de recuperación de la inversión hecha es de 5 años y 11 meses aproximadamente; es decir, que después de ese plazo el ahorro es neto.

6. Conclusiones

Esta investigación muestra resultados exitosos acerca de la producción de etanol a partir de cáscara de plátano o banano, bajo condiciones controladas a escala de laboratorio, aplicando diferentes métodos y procesos tales como hidrólisis ácida y fermentación anaeróbica. Su éxito abre las puertas a futuras investigaciones a nivel industrial; puesto que, se confirmó que la cáscara de plátano verde puede ser considerada como materia prima para la producción de etanol, siendo un aporte para solucionar la dependencia de los combustibles fósiles y generar oportunidades de negocio.

Uno de los procesos clave en la etapa experimental es la fermentación, la cual debe desarrollarse en un medio controlado (pH entre 4 y 6); puesto que, si el medio es muy ácido produce la muerte de la levadura, teniendo como consecuencia una fermentación incompleta. Por ello, al neutralizar el ácido sulfúrico con bicarbonato de sodio el valor del pH se eleva hasta 5.5, permitiendo que la levadura se desarrolle y funcione como facilitadora en la conversión de glucosa en alcohol durante la fermentación.

En cuanto al proceso de destilación fraccionada, mientras más destilaciones sucesivas se realicen mayor concentración de alcohol se obtiene en el destilado; no obstante, se debe tener en cuenta que, mediante este proceso, sólo se puede llegar hasta 96% de pureza; si se quisiera aumentar la concentración hasta un 99.7%, como es el caso del etanol carburante utilizado para la obtención de gasohol, se debe añadir el proceso de deshidratación.

Por otro lado, se demuestra que hay una diferencia significativa entre la producción de bioetanol a base de cáscara de plátano tipo bellaco verde y maduro; ya que, dispone de mayor cantidad de material lignocelulósico que se transforma en etanol, logrando mayor pureza de alcohol.

Finalmente, el incremento de la demanda de chifles en el extranjero es una gran oportunidad para las empresas peruanas dedicadas al rubro, para empezar a apostar por alternativas que generen mayor productividad y rentabilidad en su negocio y aprovechar al máximo el recurso del que disponen. Esta investigación demuestra que una empresa chiflera pequeña puede satisfacer el punto de equilibrio de materia prima y obtener un ahorro si decide producir su propio biocombustible.

Referencias Bibliográfica

- Cabrera, E., & Almeida, J. (2017). *Obtención de bioetanol a partir de hidrólisis enzimática y fermentación de Arracacha*. Quito: UCE.
- Díaz, C., & Herrera, F. (2016). *Producción de etanol combustible a partir de lignocelulosas*. Popayan, Colombia: Universidad del Cauca.
- Escalante, J., & Fuentes, H. (2013). *Estudio experimental de obtención de bioetanol a partir de residuos agrícolas de banano orgánico en Piura*. Piura: Universidad de Piura.
- Halim, R., Harun, R., Danquah, M., & Webley, P. (Marzo de 2012). Microalgal cell disruption for biofuel development. *Applied Energy*, 91(1), 116-121.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta ed.). Ciudad de México, Mexico: Mc Graw Hill.
- Ibarz, A., & Barbosa-Cánovas, G. (2005). *Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Meneses, N. (28 de Junio de 2015). Vraem: Muestran 20 variedades de plátanos. *Diario Correo*. Recuperado el 2 de Diciembre de 2016, de goo.gl/k0q1eV
- Monsalve, G., Medina, V., & Ruiz, A. (2006). Producción de etanol a partir de la cáscara de banano y de almidón de yuca. *Dyna*, 73(150), 21-27.
- Montero, N. (24 de Junio de 2016). *pH*. *Teoriastar.blogspot*. Recuperado el 18 de Septiembre de 2016, de goo.gl/XXTK12
- Oliva, M. (2014). *Posible proceso productivo de etanol con residuos de banano y sus impactos en el Valle del Chira*. Piura: Universidad de Piura.
- Parra, S. (8 de Mayo de 2012). *¿Qué cultivo es mejor para obtener etanol? ¿Maíz o el azúcar de caña?* Recuperado el 08 de Octubre de 2016, de XatacaCiencia: <http://bit.ly/2qTFgP5>
- Sánchez, A., Gutierrez, A., Muñoz, J., & Rivera, C. (2010). Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos. *Tumbaga*, 61-91.
- Vázquez, H., & Dacosta, O. (Diciembre de 2007). Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, VIII(4), 249-259.
- Velásquez, H., Oliveira, S., & Ruiz, A. (2010). Análisis energético y exergético del proceso de obtención de etanol a partir de la fruta del banano. *Revista Facultad de Ingeniería*, 94-103.
- Venemedia. (23 de Septiembre de 2016). *ConceptoDefinición.de*. Recuperado el 12 de Abril de 2017, de <http://conceptodefinicion.de/ph/>
- Zapata, A., & Peláez, C. (2010). Producción en continuo de etanol a partir de banano de rechazo (cáscara y pulpa) empleando células inmovilizadas. *Revista Tumbaga*, 1(5), 49-60.
- Zola, M., Barranzuela, M., Castillo, D., Correa, E., & Rey, J. (2016). *Estudio experimental de la obtención de biocombustible a partir de cáscara de plátano y su uso en cocinas acondicionadas de la industria chiflera en la ciudad de Piura, Perú*. Piura: Universidad de Piura.

5.2. Propuesta de implementación: Evaluación

En esta sección se realizan dos evaluaciones para una posible implementación del estudio experimental para resolver la problemática de los desechos (cáscaras de plátano) y/o brindar una oportunidad de negocio a las empresas de la industria de chifles; es decir, la aplicación de los resultados encontrados en el artículo a una escala de producción.

En primer lugar, se realiza una Evaluación Ambiental para tomar conocimiento del impacto que tendría la implementación del proyecto en el medio ambiente. Con ello, se determina si el proyecto es viable ambientalmente. En segundo lugar, se lleva a cabo una Evaluación Económica – Financiera para saber si la implementación es viable económicamente; es decir, si su implementación es rentable para las empresas productoras de chifles en la ciudad de Piura.

5.2.1. Evaluación Ambiental para implementación

Debido a la contaminación ambiental producida por la actividad del sector industrial en general, una de las principales preocupaciones cuando se ejecuta un proyecto relacionado a algún tipo de energía, son los posibles daños colaterales al medio ambiente.

Se puede decir que, cualquier sustancia que al ser agregada a la atmósfera y que genere un efecto apreciable sobre las personas o el medio en el que viven, puede ser considerado como un contaminante. Entre las sustancias comúnmente mencionadas se encuentran los derivados del carbono, azufre y nitrógeno, como se puede apreciar en la **Figura 15** (Sans & De Pablo, 1999).

	Aire limpio	Aire contaminado
CO ₂	320	400
CO	0,1	40 + 70
CH ₄	1,5	2,5
N ₂ O	0,25	?
NO _x	0,001	0,2
O ₃	0,02	0,5
SO ₂	0,0002	0,2
NH ₃	0,01	0,02

Figura 155. Comparación de las concentraciones de gases contaminantes entre aire limpio y contaminado.³
Fuente: Ingeniería ambiental: Contaminación y tratamientos (Sans & De Pablo, 1999)

En el caso específico de los combustibles, el problema recae en la contaminación provocada por la liberación de compuestos gaseosos del carbono como los hidrocarburos en la combustión. Como consecuencia de ello, se debe brindar mayor atención a los gases de efecto invernadero como el CO₂, que son los causantes del aumento de la temperatura en las capas bajas de la atmósfera, mediante la absorción de la radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre (Domènech, 2000).

³ Concentración en ppm.

Además, se debe tener en cuenta que el costo ambiental de los combustibles no está ligado exclusivamente a su uso, sino también a otros factores como el transporte utilizado para llevarlo de un lugar a otro y la maquinaria empleada en su producción.

5.2.1.1. Generación de Bioetanol

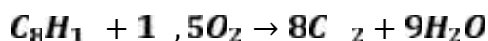
Existen entradas y salidas a lo largo de los procesos involucrados en la obtención de bioetanol. Entre los principales recursos se encuentra la cáscara de plátano verde y el recurso hídrico, impactando uno de forma contraria al otro. La cáscara en este caso, influye de manera positiva, dado que permite un mejor aprovechamiento del residuo de la materia prima no empleada en la elaboración de chifles, el cual casi siempre es desechado, representando entre 40% y 50% del peso total del fruto, que causa malos olores por la descomposición del mismo.

Por otro lado, la variedad de plátano necesaria para la elaboración de chifles es de cáscara verde, generando que ésta tenga que pasar por un proceso previo de hidrólisis en el que ingresa además de la cáscara, el agua y como salida el agua con la diferencia de que esta será en estado gaseoso. En cuanto a los residuos sólidos producto de la filtración, podrían ser utilizados como sustrato para compostaje y fertilizantes.

5.2.1.2. Uso en la Industria de Chifles

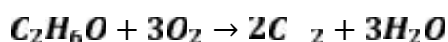
Con la implementación del estudio experimental a una escala piloto, se pretende disminuir el uso de combustibles como el carbón, empleado por pequeñas empresas artesanales, o kerosene, utilizado también por pequeñas empresas artesanales, pero aún con métodos poco recomendables. Estos combustibles, no solamente afectan a la atmósfera, sino que dañan directamente a las personas, pues están relacionados a la calidad del aire en el espacio de combustión; es decir, en lugares cercanos a las cocinas donde se fríen los chifles. Además, los trabajadores están expuestos a quemaduras, incendios e intoxicaciones (Lindmeier, 2014).

Se sabe que todo combustible fósil ocasiona un mayor impacto en la atmósfera que el que produce el bioetanol; prueba de ello, se tiene que la combustión de un kilogramo de petróleo emite 7.14 Kg de CO₂, mientras que un kilogramo de alcohol quemado produce 0.956 Kg de CO₂, demostrando que el petróleo produce siete veces más gases de efecto invernadero respecto al alcohol. Además, según el doctor Felipe Soto; PhD brasileño especialista en biocombustibles; afirma que al hacer la combustión de un litro de gasolina, se emiten 2.28 kg de CO₂ (ver **Reacción 1**); mientras que, al darse la combustión de un litro de etanol, se llega a emitir 1.53 kg de CO₂ (ver **Reacción 2**) (Mosquera, Fernández, & Mosquera, 2010).



Reacción 1: Reacción de la gasolina.

Fuente: *CO₂ emissions analyze for several fuel of taxis sector on Pereira and Dosquebradas* (Mosquera, Fernández, & Mosquera, 2010)



Reacción 2: Reacción del etanol.

Fuente: Elaboración propia.

La aplicación de etanol como combustible hace que su uso sea eco-amigable porque reduce las emisiones de monóxido de carbono, benceno y otras sustancias nocivas para la salud. Un estudio preliminar del ciclo de vida del etanol de celulosa mostró que se reduce en un 89% las emisiones de gases invernadero sobre el uso de petróleo. En contraste, el etanol fermentado de azúcar reduce gases invernadero en un promedio de 13% (Falasca & Bernabé, 2010).

Todo tipo de obtención de etanol genera una reducción de los GEI. Cabe hacer la aclaración que también se generan emisiones de CO₂ en el proceso de fermentación para convertir el material sólido a etanol, cuyo rendimiento teórico es de 0.511 g de etanol y 0.489 g de CO₂ por 1 g de glucosa; sin embargo, las emisiones producidas por el petróleo, en todas sus fases desde la extracción hasta su uso, son mayores.

Además, en cuanto al ciclo de carbono de etanol, éste permite que la captura de CO₂ generado por el etanol sea mucho más sencilla y contribuya al medio ambiente (Ver **Figura 16**). Esto, enmarcado a la implementación del proyecto, reduciría la cantidad de balones de gas y/o kerosene consumidos para la elaboración de chifles, produciendo no solo una mejora económica sino reduciendo emisiones de GEI, disminuyendo la materia desechada (cáscara), además de contar con una fuente de energía limpia e independizarse del otro combustible.

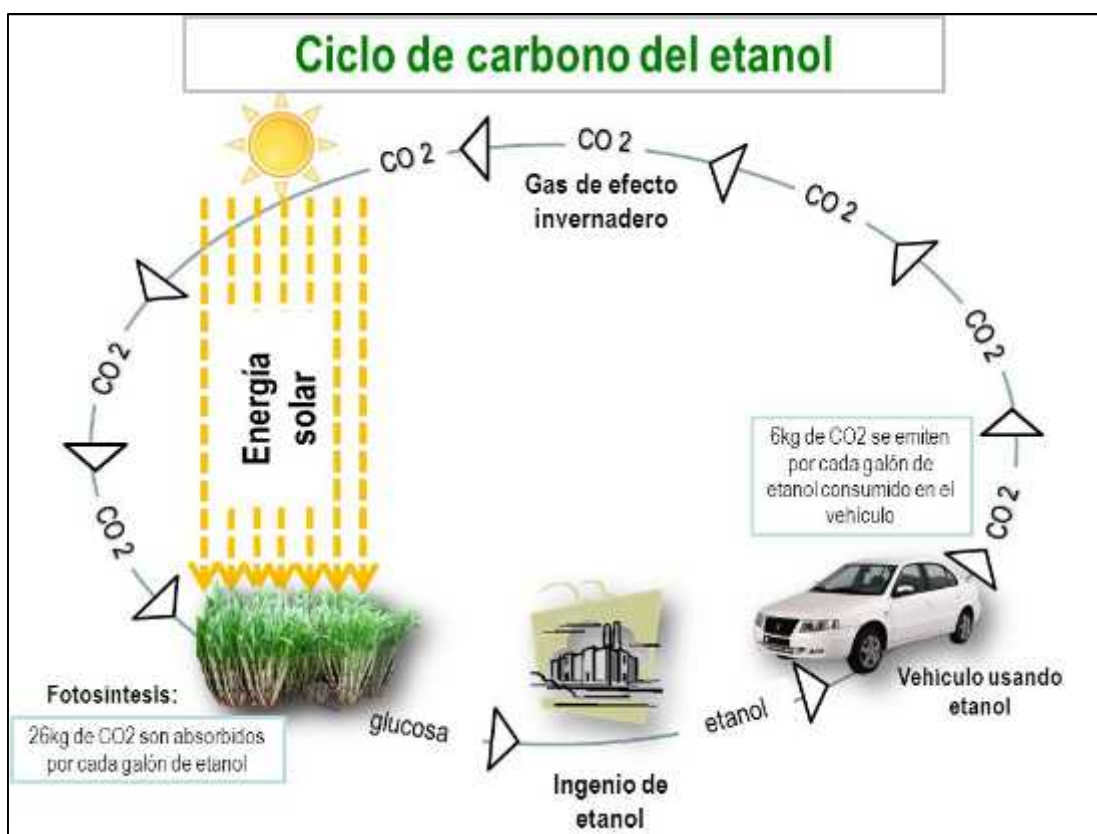


Figura 166. Ciclo de Carbono a partir de Etanol

Fuente: Biocombustibles. Etanol producido de biomasa de celulosa (Ho, 2016).

De lo expuesto, se puede afirmar que la implementación de una escala piloto del proyecto tiene una evaluación ambiental positiva y alentadora.

5.2.2. Evaluación Económica – Financiera para implementación

Uno de los objetivos de la implementación del proyecto a escala piloto es conseguir un ahorro económico por parte del cliente; es decir, por parte de las empresas de la industria chiflera en la ciudad de Piura. Para ello, se ha realizado una evaluación detallada del dinero ahorrado al cesar el consumo de GLP doméstico (gas de cocina) y reemplazarlo por bioetanol.

Se ha realizado una estimación del gasto mensual en combustible, basada en la información disponible sobre la producción de chifles en las empresas de éxito, ascendiendo el monto a S/. 1,463 (Ver **Anexo 6**).

Por otra parte, se realizó un cuadro de pérdidas y ganancias (Ver **Tabla 14**) considerando la inversión inicial (S/. 25, 441.3) y los distintos costos y gastos que conlleva la puesta en marcha del proyecto entre los cuales se encuentran los insumos para el proceso de hidrólisis, servicios, depreciación de maquinaria, mano de obra, adquisición de maquinaria y equipos, entre otros. De los cálculos se obtuvo una Utilidad neta de S/. 5, 543.7 al año, lo que significa que, si una pequeña empresa decide producir su propio biocombustible ahorraría dicho monto.

Tabla 14: Cuadro de Pérdidas y Ganancias

ESTADO DE RESULTADOS						
Período (año)	0	1	2	3	4	5
Ahorro	0.0	17,550.0	17,550.0	17,550.0	17,550.0	17,550.0
Inversión	-25,441.3	-5,088.3	-5,088.3	-5,088.3	-5,088.3	-5,088.3
Utilidad Bruta	-25,441.3	12,461.7	12,461.7	12,461.7	12,461.7	12,461.7
Gasto de Ventas	0.0	-1,535.7	-1,535.7	-1,535.7	-1,535.7	-1,535.7
Gasto por Depreciación	0.0	-968.6	-968.6	-968.6	-968.6	-968.6
UAI	-25,441.3	9,957.5	9,957.5	9,957.5	9,957.5	9,957.5
Gasto Financiero	0.0	-4,413.7	-4,413.7	-4,413.7	-4,413.7	-4,413.7
Utilidad Neta	0.0	5,543.7	5,543.7	5,543.7	5,543.7	5,543.7

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la tasa interna de retorno (TIR), esta resultó en 52%. Por otro lado, el valor actual neto (VAN) de la implementación del proyecto es de S/. 30, 241 lo que indica que el proyecto sí genera un ahorro significativo para las pequeñas y medianas empresas de la industria de chifles en Piura (Ver **Anexo 7**).

Finalmente, se evaluó el rendimiento de la inversión en el tiempo, para ello se hizo uso de un criterio estático de valoración de inversiones como el *Payback*, el cual indica que el plazo de recuperación de la inversión hecha es de 5 años y 11 meses (Ver **Tabla 15**); es decir, que después de ese plazo el ahorro es neto.

Tabla 15: *Payback* de la inversión

Cálculo del <i>Payback</i>	
Costo de Inversión	32 999.3
Valor Residual	4115
n (Años del proyecto)	5
Flujo de caja 0	-25, 441
Flujo de caja 1	5, 544
Flujo de caja 2	5, 544
Flujo de caja 3	5, 544
Flujo de caja 4	5, 544
Flujo de caja 5	5, 544
Plazo de Recuperación de la inversión:	5 años, 11 meses y 12 días

Fuente: Elaboración propia

En este resumen de evaluación financiera se tocan los puntos específicos para determinar la rentabilidad de la implementación del proyecto de inversión. De acuerdo al estudio realizado y al análisis concluido se tiene como resultado que la implementación del proyecto es considerado rentable.

Por la información recopilada de la industria chiflera, se ha estimado una demanda de bioetanol mínima de 6.5 m³/año para la cual se requieren 29 718.7 kg de materia prima (cáscara de plátano). Esta cantidad de materia prima representa el 40% del peso total del plátano verde que las empresas emplearían para la producción de chifles; por lo tanto, el punto de equilibrio anual para cubrir sus necesidades básicas de producción es 74 297 plátanos (Ver **Anexo 8**). Por esto, podemos afirmar que una empresa pequeña de chifles sí tendría la cantidad de materia prima suficiente para cubrir su demanda de bioetanol; ya que, se compran como mínimo 1200 plátanos verdes tipo bellaco diariamente (Ver **Anexo 6**).

Los resultados del estudio financiero son favorables; puesto que, se logró estructurar los pilares para obtener los recursos y los medios de adquisición del capital y soporte, con la cual se lograría la realización y desarrollo del proyecto de inversión mediante el aporte del cliente, en una cantidad proyectada de S/.19 799.6, integrando a ello la suma de S/. 13 199.7, que se adquirirá en una institución financiera liquidando el préstamo en un plazo de 5 años, estableciendo así, el capital planeado para lograr el correcto funcionamiento del proyecto.

Conclusiones

1. La abundante disponibilidad a nivel regional y nacional de plátano o banano, combinado con el bajo costo del fruto, hace de la cáscara de plátano una atractiva solución para proponerse como materia prima en la obtención de bioetanol a un costo razonablemente bajo, como se puede apreciar en los resultados obtenidos de manera exitosa.
2. Partiendo del diseño del proceso de producción y analizando cada una de las variables, entradas y salidas de las operaciones unitarias involucradas, se obtuvo un prototipo de bioetanol a partir de la cáscara de plátano, puro al 95%, incoloro y libre de impurezas. Asimismo, dicho diseño permitió establecer una línea de producción a escala de laboratorio para la obtención de etanol, la cual puede ser replicada por cualquier persona o empresa que quiera producir su propio biocombustible a partir de cáscara de plátano.
3. El principal beneficio que ofrece el bioetanol a partir de la cáscara de plátano es dar valor agregado a los residuos orgánicos del proceso de fabricación de chifles y brindar una oportunidad de negocio a las empresas chifleras pues, si bien el poder calorífico del bioetanol es menor, éste representa una solución para la dependencia de los combustibles fósiles y el calentamiento global que amenaza el futuro de nuestra generación.
4. El alcance de esta investigación no sólo contempla el estudio de la obtención de etanol a partir de cáscara de plátano; sino también, brinda una propuesta de aplicación tangible para lo cual se presentan dos evaluaciones respecto a la implementación de una planta piloto, una ambiental y otra económica-financiera, que pueden ser tomadas como base para el desarrollo de un proyecto de innovación por parte de una empresa de chifles.
5. Los resultados obtenidos de la experimentación, si bien son a escala de laboratorio, pueden ser replicados y utilizados para futuras líneas de investigación, esto con la motivación y la visión de que, a mediano o largo plazo, la propuesta de innovación presentada pueda ser ejecutada a escala industrial y así poder utilizar el bioetanol de cáscara de plátano como biocombustible a nivel mundial.
6. A partir de la evaluación ambiental realizada, se afirma que la alternativa de utilizar las cáscaras de plátano como materia prima para la obtención de etanol es ambientalmente amigable y atractiva. Esto se evidencia en las reducciones de desechos orgánicos y la disminución de emisiones de dióxido de carbono antes generadas a partir del uso de combustibles como el GLP doméstico, kerosene y leña en la industria de chifles en la ciudad de Piura.
7. En la evaluación económica-financiera se demuestra que el ahorro, respecto a la generación de bioetanol y disminución del uso de otros combustibles, se puede percibir

a partir del primer año con una utilidad neta de S/. 5, 543.7 y que, si bien el payback no es atractivo para un inversionista, la implementación es rentable al largo plazo.

8. A favor de futuras líneas de investigación se plantean las siguientes alternativas de solución para la implementación del proyecto:
 - J Implementar la planta piloto sólo en empresas productoras de chifles que dispongan del capital necesario y los niveles de producción suficientes para que la generación y el consumo de bioetanol se equiparen, de ese modo disminuir los costos de producción y obtener un sistema sostenible dentro de la empresa.
 - J Fundar una asociación de pequeñas y medianas empresas chifleras, aminorando así los costos de inversión de cada una, teniendo acceso a una mayor cantidad de materia prima y; por ende, a una mayor producción de etanol que satisfaga la demanda de cada una de las empresas asociadas.
 - J Realizar un estudio de factibilidad acerca del diseño de una planta industrial de generación de bioetanol a partir de cáscara de plátano verde, que recolecte o compre la materia prima de las industrias chifleras de Piura y pueda comercializar el etanol obtenido entre las mismas empresas o destinarlo al mercado nacional de combustibles.
9. La metodología y el enfoque cuantitativo en la que se basan esta investigación fueron de vital importancia para su éxito. El método científico debe ser secuencial y probatorio, cada fase debe preceder a la siguiente y no se puede eludir o saltar alguna de ellas. En la investigación cuantitativa, cada una de las fases deben ser capaces de conducir a un resultado concreto que pueda ser comprobado y replicado. Se resalta también, la importancia del planteamiento del problema y los objetivos, pues son los pilares de la tesis, ya que definen lo que se pretende lograr con ésta.
10. Finalmente, con el propósito de comunicar el éxito de las experimentaciones se plasmaron los resultados de la investigación en el artículo científico de nombre “Estudio experimental de la obtención de bioetanol a partir de la cáscara de plátano en Piura” a presentarse en el I Congreso Internacional de Ingeniería y Dirección de Proyectos y III Congreso Regional IPMA-LATNET 2017.

Bibliografía

- Acevedo, J., & Sarmiento, A. (2008). *Simulación y diseño básico de un reactor de hidrólisis enzimática de bagazo de caña*. Santander, Colombia.
- Area, M., Aguilar, S., Felissia, F., Núñez, C., Lozano, L., Alonso, J., Vera, E., & Vega, M. (1 de Noviembre de 2006). Pulpado hidroalcohólico de alto rendimiento de bagazo de caña de azúcar para la fabricación de cartones. *Virtual Pro*(58), 12.
- Barrientos, P. (2008). Los biocombustibles y la producción de etanol. *Pensamiento Crítico*, 115-136.
- Bosch, M. (2014). *Azúcar, Etanol y Energía*. Obtenido de Adecoagro: <http://bit.ly/2ra7aHi>
- BusinessTech. (2017). *¿Quiénes somos?* Recuperado el 23 de Marzo de 2016, de Caña Brava: <http://www.canabrava.com.pe/>
- Cabrera, E., & Almeida, J. (2017). *Obtención de bioetanol a partir de hidrólisis enzimática y fermentación de Arracacha*. Quito: UCE.
- Calle, D. (9 de Octubre de 2010). De residuo de banano a etanol. *UN Periódico*, pág. 3.
- Central de Noticias. (2012). *Maple Etanol inició operaciones en Piura*. Obtenido de Central de Noticias: <http://bit.ly/2oeS12K>
- Charry, L. (21 de febrero de 2011). Producción nacional de etanol se triplicará al 2020; el país tiene potencial de crecimiento. *Portafolio*, págs. 10 -11.
- Cheesman, E. (1948). Classification of the bananas. III. Critical notes on species: *M. paradisiaca* L. and *M. sapientum* L. *Kew Bulletin*, 145-153.
- Conocimientos básicos: Filtración*. (29 de Marzo de 2017). Obtenido de GUNT Hamburg: http://www.gunt.de/images/download/filtration_water_spanish.pdf
- Córdova, N. (15 de Agosto de 2015). *Pure Biofuels inauguró planta que producirá 52 millones de galones de biodiésel por año*. Obtenido de Andina: <http://bit.ly/2r1fjxD>
- Costa, J. (1991). *Curso de ingeniería química*. Barcelona, España: Reverté S.A.
- Coulson, J., Richardson, J., Backhurst, J., & Harker, J. (2016). *Ingeniería Química: Operaciones básicas*. Barcelona, España: Reverté.

- Cunza, H. (6 de Octubre de 2011). *Uso de Biocombustibles en el Perú*. Recuperado el 13 de Septiembre de 2016, de OSINERGMIN: <http://bit.ly/2nRoptk>
- Díaz, C., & Herrera, F. (2016). *Producción de etanol combustible a partir de lignocelulosas*. Popayan, Colombia: Universidad del Cauca.
- Domènech, X. (2000). *Química atmosférica*. Madrid: Miraguano, S.A.
- Domínguez, S. (7 de Julio de 2016). Perú puede ser una potencia en la exportación de etanol. *El Peruano*. Recuperado el 24 de Mayo de 2017, de <http://bit.ly/29qEzW4>
- Escalante, J., & Fuentes, H. (2013). *Estudio experimental de obtención de bioetanol a partir de residuos agrícolas de banano orgánico en Piura*. Piura: Universidad de Piura.
- Falasca, S., & Bernabé, M. (2010). ¿Puede una maleza utilizarse como cultivo energético? El caso del alpiste rojo o reed canary grass (*Phalaris arundinacea*). *VI Jornadas de Medioambiente* (págs. 50-60). Buenos Aires: UNICEN.
- Flórez, L., López, J., Cuarán, J., & Arenas, L. (2014). Potential uses of banana peelings: Production of a bioplastic. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 13-17.
- Garritz, A., & Chamizo, J. (1994). *Química*. Ciudad de México: Addison Wesley Iberoamericana, S.A.
- Gracia, C. (10 de Septiembre de 2009). Bioetanol. En C. Gracia Alonso, *Biocombustibles ¿energía o alimento?* (págs. 77-103). Barcelona: Springer.
- Gruber. (28 de Marzo de 2016). *Molinos de martillos*. Obtenido de Trituración y molienda: <http://bit.ly/2qTx9SJ>
- Grupo HPO. (24 de Marzo de 2017). *Heaven Petroleum Operators*. Obtenido de HPO Corp: <http://hpo.pe/hpo/index.php?rule=20:00&id=3>
- Grupo Palmas. (11 de Noviembre de 2011). *Industrias del espino inicia producción de biodiesel con moderna planta*. Obtenido de Palmas: <http://bit.ly/2r1kayX>
- Halim, R., Harun, R., Danquah, M., & Webley, P. (Marzo de 2012). Microalgal cell disruption for biofuel development. *Applied Energy*, 91(1), 116-121.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta ed.). Ciudad de México, Mexico: Mc Graw Hill.
- Ho, M.-W. (30 de Junio de 2016). *Biocombustibles: etanol producido de biomasa de celulosa, ni sustentable, ni ambientalmente benigno*. Recuperado el 30 de Junio de 2016, de <http://bit.ly/2s8qS3i>
- Hydrothermal Reactor*. (28 de Marzo de 2016). Obtenido de Columbia International Technology: <https://goo.gl/cZGUgL>
- Ibarz, A., & Barbosa-Cánovas, G. (2005). *Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos*. Madrid: Mundi-Prensa.

- INTERCOM. (28 de Marzo de 2016). *Molinos de bolas*. Obtenido de SoloStocks: <https://goo.gl/cZGUgL>
- Koo, W. (11 de Octubre de 2016). *Agrodata Perú*. Obtenido de Agrodata Perú: <http://bit.ly/2rVhbGm>
- Lindmeier, C. (12 de Noviembre de 2014). *Centro de Prensa: Organización Mundial de la Salud*. Recuperado el 18 de Noviembre de 2016, de <http://bit.ly/1oWyAKW>
- Madrid, J., Hernández, F., Cid, J., & Pulgar, M. (1996). Digestibilidad del fruto del limón (citrus limon l.) en caprino. *Archivos de Zootecnia*, 45(169), 79-82.
- Mamma, D., Kourtoglou, E., & Christakopoulos, P. (Mayo de 2008). Fungal multienzyme production on industrial by - products of the citrus - processing industry. *Bioresource Technology*, 99(7), 2373–2383.
- Martín, I., & Salcedo, R. (2011). *Operaciones separación sólido-fluido*. Alicante.
- Meneses, N. (28 de Junio de 2015). Vraem: Muestran 20 variedades de plátanos. *Diario Correo*. Recuperado el 2 de Diciembre de 2016, de goo.gl/k0q1eV
- Monsalve, G., Medina, V., & Ruiz, A. (2006). Producción de etanol a partir de la cáscara de banano y de almidón de yuca. *Dyna*, 73(150), 21-27.
- Montero, N. (24 de Junio de 2016). *Teoriastar.blogspot*. Recuperado el 18 de Septiembre de 2016, de goo.gl/XXTK12
- Morch, K. (13 de Diciembre de 2010). *Odffell PID operates four modern distillation columns*. Obtenido de ODFJELL: <http://bit.ly/2rPghhs>
- Morcilo, J. (1989). *Temas básicos de química*. Alhambra: Pearson.
- Morelos, J. (2016). Análisis de la variación de la eficiencia en la producción de biocombustibles en América Latina. *Estudios Gerenciales*.
- Mosquera, J. D., Fernández, S., & Mosquera, J. C. (Agosto de 2010). CO2 emissions analyze for several fuel of taxis sector on Pereira and Dosquebradas. *Scientia Et Technica*, XVI(45), 141-145.
- Nelson, K. (Enero de 2009). *ASTM establece las normas para el biodiésel*. Obtenido de ASTM Standardization News: <http://bit.ly/2s2YO54>
- Nunura, J. (04 de diciembre de 2011). El chifle de Piura se prepara para conquistar el mundo. *Mediakit Grupo RPP*, pág. 6.
- Oliva, M. (2014). *Posible proceso productivo de etanol con residuos de banano y sus impactos en el Valle del Chira*. Piura: Universidad de Piura.
- Parra, S. (8 de Mayo de 2012). *¿Qué cultivo es mejor para obtener etanol? ¿Maíz o el azúcar de caña?* Recuperado el 08 de Octubre de 2016, de XatacaCiencia: <http://bit.ly/2qTFgP5>

- Pezoa, J. (2016). *GUÍA DE TRABAJOS PRÁCTICOS LABORATORIO I DE QUÍMICA ORGÁNICA*. Santiago.
- Pistonesi, H., Nadal, G., Bravo, V., & Bouille, D. (2008). *Aporte de los biocombustibles a la sustentabilidad del desarrollo en América Latina y el Caribe: Elementos para la formulación de políticas públicas*. Santiago: Naciones Unidas.
- RFA. (3 de Enero de 2017). *World Fuel Ethanol Production*. Recuperado el 25 de Mayo de 2017, de Renewable Fuels Association: <http://bit.ly/2prxckW>
- Sánchez, A., Gutierrez, A., Muñoz, J., & Rivera, C. (2010). Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos. *Tumbaga*, 61-91.
- Sans, R., & De Pablo, J. (1999). *Ingeniería ambiental: contaminación y tratamientos*. Barcelona: S.A. MARCOMBO.
- Santillana, J., & Salinas, J. (17 de Julio de 2015). *Educación en Ingeniería Química*. Recuperado el 25 de Mayo de 2017, de <http://bit.ly/2s8aRun>
- Taherzadeh, J. (2007). *Enzyme-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials*. Carolina del Norte, EE.UU: Facultad de Ingeniería Química.
- Tello, P. (2014). *Alimentos latinos en la costa oeste de los EEUU*. Lima.
- Torres, K., & Gonzáles, M. (2015). Diseño de tanque de hidrólisis a nivel planta piloto para la producción de miel de agave. *Consejo de ciencia y tecnología del Estado de Guanajuato*, 1-3.
- Tortora, G., Funke, B., & Case, C. (2016). *Microbiology: An Introduction*. USA: Pearson.
- Trituración y Molienda*. (28 de Marzo de 2016). Obtenido de Molino de martillos: <http://www.trituracionymolienda.com/images/Molinomartillos.jpg>
- UNCTAD. (21 de Junio de 2016). *Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo*. Obtenido de <http://bit.ly/2qQvOJ1>
- Valverde, G., Sarria, L., & Monteagudo, Y. (Diciembre de 2007). Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. *Scientia et Technica*, XIII(37), 255-260.
- Vázquez, H., & Dacosta, O. (Diciembre de 2007). Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, VIII(4), 249-259.
- Velásquez, H., Oliveira, S., & Ruiz, A. (2010). Análisis energético y exergético del proceso de obtención de etanol a partir de la fruta del banano. *Revista Facultad de Ingeniería*, 94-103.
- Venemedia. (23 de Septiembre de 2016). *ConceptoDefinición.de*. Recuperado el 12 de Abril de 2017, de <http://conceptodefinicion.de/ph/>

- Zapata, A., & Peláez, C. (2010). Producción en continuo de etanol a partir de banano de rechazo (cáscara y pulpa) empleando células inmovilizadas. *Revista Tumbaga*, 1(5), 49-60.
- Zola, M., Barranzuela, M., Castillo, D., Correa, E., & Rey, J. (2016). *Estudio experimental de la obtención de biocombustible a partir de cáscara de plátano y su uso en cocinas acondicionadas de la industria chiflera en la ciudad de Piura, Perú*. Piura: Universidad de Piura.
- Zola, M., Barranzuela, M., Girón, C., & Guerrero, D. (2017). Estudio experimental de la obtención de bioetanol a partir de la cáscara de plátano en Piura. *I Congreso Internacional de Ingeniería y Dirección de Proyectos y III Congreso Regional IPMA-LATNET*. Lima: Universidad de Piura.

Anexos

Anexo 1: Entrevista con Experto – Visita Técnica a la Empresa Caña Brava

Experto: Ing. Alex Flores, Supervisor de Fermentación y Destilería de Caña Brava

1. ¿Cuál es la cantidad de materia prima utilizada (caña de azúcar) en la planta y cuál es la producción diaria de etanol?

La caña de azúcar es transportada mediante “cañeras” o volquetes. La cantidad de caña procesada es de 5000 toneladas por día, produciéndose 430 m^3 de etanol al día.

Esto se calcula multiplicando la cantidad de caña de azúcar por su RT que es aproximadamente de 15% y el °Brix está entre 13.5 y 14.

2. ¿Cuánto es el tiempo de fermentación de la materia prima después de realizada la hidrólisis?

Una vez que la solución de caña de azúcar y agua salga de la operación de evaporación y, después de haber realizado la hidrólisis para convertir la sacarosa en glucosa, toda esta mezcla, que contiene entre 17 y 18 azúcares totales o RT, pasa al proceso de fermentación en el cuál, se le añade enzimas (levadura especial traída desde Brasil) que ayudará a aumentar la eficiencia de la conversión de glucosa en etanol y C_2H_5OH .

Los fermentadores son 2 y tienen una capacidad de 500 m^3 cada uno. Se llenan con un 10% de levadura en relación a la capacidad del fermentador antes de añadir el jugo evaporado. Se deja un tiempo de fermentación entre 11 y 12 horas en promedio. Después de este proceso al subproducto se le llama vino bruto que contiene aproximadamente 10% de grado alcohólico.

3. ¿Cuántas veces el vino bruto pasa por el proceso de destilación? ¿Cuánto tiempo demora el proceso de destilación estando en proceso continuo?

Como el cliente pide un porcentaje alcohólico de 99.7% cuando requiere alcohol anhidrido y 96% en volumen cuando desea alcohol hidratado, se deben llevar a cabo 2 destilaciones llevadas a cabo en columnas de destilación. En la primera columna de rectificación se logra alcanzar un 40% con una duración de 2 horas y en la segunda, se llega a un 96% en volumen con una duración de 30 minutos.

Para lograr el producto de alcohol anhidrido de 99.7% se lleva a cabo el proceso de deshidratación mediante 3 tamices moleculares que separan las moléculas de agua de las moléculas de etanol.

4. ¿Qué eficiencia tiene el proceso de transformación?

La meta anual de la planta Caña Brava es tener una eficiencia de 85.56% anual.

5. En planta, ¿hay alguna norma técnica o especificación que regule la línea de producción?

La planta, en general, cuenta con la Norma de Calidad ISO 9001 y la Norma ISCC para certificar la sostenibilidad y emisiones de gases de efecto invernadero.

6. ¿Hay alguna norma; además de la Norma Técnica Peruana; para la comercialización de etanol?

No.

7. ¿Cuánto demora todo el proceso en régimen continuo?

Entre 15 y 16 horas.

8. ¿Qué características tiene el bioetanol antes de la mezcla con gasolina para producir gasohol?

El bioetanol debe tener un color transparente y estar libre de impurezas. Si presenta un color amarillento es debido al metanol y las impurezas y puede ser producto del mal estado de los equipos utilizados durante la experimentación

9. ¿En la planta, se realiza la mezcla de etanol con gasolina?

En la planta no realizamos la mezcla de etanol y gasolina para convertirlo en gasohol, pero sí se mezcla con un 2% de gasolina antes de entregarlo a los distribuidores por norma, para que sea distribuido como alcohol carburante y no sea vendido como alcohol apto para consumo humano.

10. ¿Qué tan costoso sería vender etanol puro?

Es muy costoso, ya que en Perú no se tiene la capacidad de necesaria ni siquiera para aumentar el porcentaje de etanol en el gasohol que es de 7.3% mientras que es Brasil oscila entre 13% y 13.5%.

El costo de etanol a 99.7% en volumen cuesta aproximadamente $500 \text{ dólares} / \text{m}^3$.

11. ¿Los estándares de calidad por parte de los compradores son más exigentes que los que pide el Estado Peruano?

En el Perú no hay estándares de calidad, la empresa se acoge a las normas técnicas de los productores de alcohol en Brasil.



Figura 177. Visita técnica a Caña Brava
Fuente: Elaboración propia

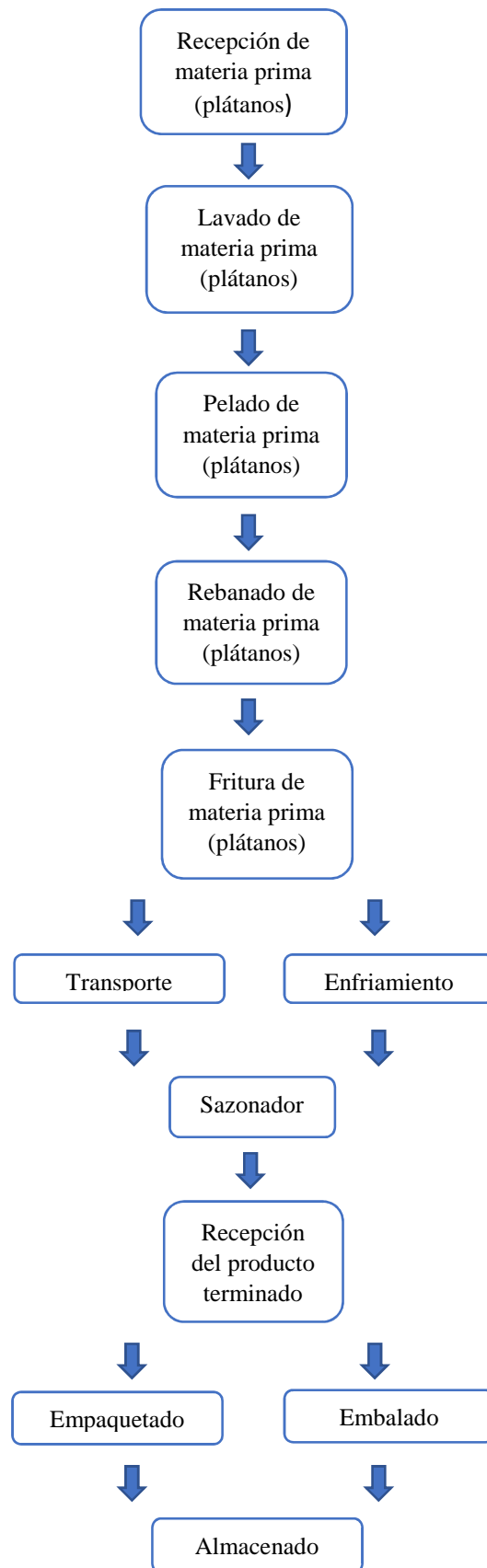
Anexo 2: Proceso de elaboración tradicional de chifles

Figura 18. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de chifles
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3: Exportación de productos nostálgicos a EE. UU (2011-2014 miles US\$)

Productos	2011	2012	Var. % 2012/11
Chifles	1,331	2,912	118.8%
Panetón	1,968	2228	13.2%
Cerveza	848	1195	40.9%
Cusqueña	482	782	62.0%
Cristal	366	414	13.1%
Chicha Morada	305	427	39.8%
Mazamorra morada	50	55	9.0%
Cuy	68	65	-4.8%
Chocoteja	51	41	-19.2%
Turrón	53	69	30.9%
King Kong	28	14	-49.3%
Humita	7	0	-100.0%
Tamal	3.4	0	-100.0%
Chocolate	43	61	41.3%
Cua cua	15	10	-37.5%
Doña Pepa	19	37	100.8%
Sublime	9	14	51.2%
Total	4,757	7,067	49%

Figura 19. Exportación de productos nostálgicos a USA (en miles de US\$) en los años 2011 y 2012

Fuente: ADUANAS – SUNAT (2012)

Exportación de productos nostálgicos a FRII US\$ Miles			
Producto	2012	2013	Var% 2013/12
Chifles	3 110	4 239	36,3
Panetón	2 272	2 000	-12,0
Cerveza	1 378	1 156	-16,1
Cusqueña	859	725	-15,7
Cristal	450	431	-4,1
Otros	69	0	-100,0
Chicha Morada	440	415	-5,7
Chocolate	69	116	69,7
Doña Pepa	40	65	62,0
Sublime	17	39	128,3
Cua Cua	12	13	11,0
Huacatay	121	100	-17,3
Chocoteja	50	86	72,1
Turrón	69	82	18,5
Mazamorra Morada	61	81	32,1
Cuy	76	60	-20,8
Chicha de Jora	64	40	-36,9
Salsa Huancaína	27	34	27,4
King Kong	16	4	-73,6
Tamal	0	2	-
Total	7 752	8 414	8,5

Figura 20. Exportación de productos nostálgicos a USA (en miles de US\$) en los años 2012 y 2013
Fuente: PromPerú (Tello, 2014)

Exportación de productos nostálgicos a EE.UU. US\$ Miles				
Producto	2012	2013	2014	Var. % 2014 - 2013
Chifles	3 084	4 223	6 927	64,0
Cerveza	1 378	1 156	1 199	3,7
Cusqueña	859	725	772	6,5
Cristal	450	431	427	-1,0
Otros	69	-	-	-
Panetón	2 272	2 000	2 215	10,8
Chocolate	75	156	109	-30,1
Casino	7	44	44	0,0
Sublime	17	39	26	-32,0
Cua Cua	12	13	8	-38,3
Doña Pepa	40	60	30	-49,7
Inca Cola	66	49	40	-20,0

Figura 21. Exportación de productos nostálgicos a USA (en miles de US\$) en los años 2012, 2013 y 2014.
Fuente: PromPerú (Tello, 2014)

Anexo 4: Parámetros técnicos de tanques de hidrólisis

Tabla 14. Parámetros técnicos de tanques de hidrólisis

Model	Capacity	Electric power (KW)	Jacket capacity	Diameter inner pot (mm)	Outside the pot diameter R(mm)	Total power (kw)	Stirring speed (r/min)
FE50	50L	3x2	95	400	600	1.1	50 - 80
FE100	100L	6x2	120	500	700	1.1 - 1.5	50 - 80
FE200	200L	6x3	200	600	800	1.1 - 2.2	50 - 80
FE300	300L	6x3	250	700	900	1.5 - 3	50 - 80
FE500	500L	9x3	290	900	1100	2.2 - 4	50 - 80
FE1000	1000L	9x4	560	1200	1400	3 - 5.5	50 - 80
FE2000	2000L	12x4	750	1300	1500	5.5 - 7.5	50 - 80
FE3000	3000L	15x5	1015	1500	1700	5.5 - 11	50 - 80
FE4000	4000L	15x5	1226	1600	1800	5.5 - 11	50 - 80
FE5000	5000L	18x5	1400	1800	2000	11 - 15	50 - 80

Fuente: *Enzyme-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials.* (Tahezadeh, 2007)

Anexo 5: Aceptación del *abstract* del artículo científico.

Resultado de Evaluación de Artículo 201: OBTENCIÓN DE BIOETANOL DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO EN PIURA

Estimado Sr. Barranzuela:

Gracias por enviar su resumen “OBTENCIÓN DE BIOETANOL DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO EN PIURA”, número 201 al I Congreso Internacional de Ingeniería - III Congreso Regional IPMA-LATNET.

Me es grato comunicarle que luego de evaluar su resumen, el Comité Científico ha decidido aprobar su artículo estableciendo los siguientes comentarios y sugerencias de mejora:

Es un tema de interés para la industria de chifles. Será importante analizar y estudiar el proceso de producción de etanol desde un punto de vista tecnológico. Además, se sugiere considerar el análisis de factibilidad económica que asegure una implementación en el corto plazo.

Para que su investigación sea considerada en el Congreso, Ud. debe enviar el artículo completo hasta el día 9 de junio guardando el formato y redacción apropiados.

En nombre del Comité Científico agradezco la oportunidad brindada de hacernos partícipes de vuestra investigación y de ponerla a nuestra consideración.

Atentamente,

Dr. Ing. William Ipanaqué

Presidente del Comité Científico



Figura 22. Resultado de Evaluación de Artículo 201: *Obtención de bioetanol de la cáscara de plátano en Piura*

Fuente: Elaboración propia

Anexo 6: Entrevista con Dueño de Chiflería “La Hojuela”

Entrevistado: Sr. Raymundo, dueño de la Chiflería “La Hojuela”

1. ¿Cuál es la cantidad de plátanos que usa diariamente para producir sus chifles?

En el mercado se compran 1200 plátanos diarios. Dependiendo del grosor se elige de tipo bellaco o dominico, los cuales tienen un costo entre S/. 32 y S/. 37 el ciento. El plátano ecuatoriano es el más caro, pero de una mejor calidad y tiene un costo de S/. 70 soles el ciento. Este tipo de plátano sólo se elige cuando el cliente lo solicita y está dispuesto a cubrir un costo mayor al precio normal.

2. ¿Qué es lo que hace con los desechos (cáscara de plátano)?

Bueno, hasta hace poco se le pagaba un aproximado de S/. 7 a un muchacho para que se lleve la basura, pero ahora, la regalamos por sacos a un señor que tiene criaderos de chanchos y vacas. Necesitamos deshacernos rápido de los desperdicios para evitar a las plagas, como por ejemplo moscas o cucarachas. Esto nos permite mejorar la limpieza del local y prevenir multas del control sanitario que puede llegar en cualquier momento.

3. ¿Podría decirnos cuánta es su producción diaria aproximadamente?

En principio, diariamente se producen 430 bolsas de 160g. La ganancia neta en un día bajo (casi siempre los domingos) es alrededor de S/. 1, 300 y en un día bueno (los días festivos) es de S/. 1, 600.

4. ¿Puede comentarnos los gastos comunes de su Chiflería?

Pues, a grandes rasgos, los gastos son:

-) Luz: S/.145 mensuales, para sellar las bolsas y que el personal pueda escuchar la radio.
-) Agua: S/. 40 mensuales.
-) Gas: S/. 70 diarios.
-) Cocinero: S/.700 semanal
-) Peladores: S/. 10 diarios a cada uno (3 personas)
-) Llenadores: S/. 27 a uno y S/.20 a cada uno de los otros peladores (en total son 3 personas) Vendedora: S/. 300 diarios
-) Desayuno y Almuerzo: S/. 45 diarios para 6 personas.

Anexo 7: VAN y TIR

FLUJO DE CAJA FINANCIERO							
Período	0	1	2	3	4	5	LIQ
Flujo Económico	-35,453	17,550	17,550	17,550	17,550	17,550	0
Flujo Financiamiento Neto	13,200	-4,414	-4,414	-4,414	-4,414	-4,414	0
Flujo Financiero	-22,254	13,136	13,136	13,136	13,136	13,136	0

TIR	52%
Ke	8.04%
WACC	10.5%

Flujo Caja Económico descontado por WACC	S/. 30,241
Flujo Caja Financiero descontado por Ke	S/. 30,140

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 8: Punto de Equilibrio

CÁLCULO DEL PUNTO DE EQUILIBRIO ANUAL				
Volumen EtOH (m ³)	Masa EtOH (k)	k s _i ón	k de Materia Prima	N° Plátanos necesarios
6.5	5 156.2	5 1561.9	29 718.7	74 297

PUNTO DE EQUILIBRIO		
N° Plátanos necesarios al año	N° Plátanos necesarios al mes	N° Plátanos necesarios al día
74 297	6, 192	207

Fuente: Elaboración propia.