



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

**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**

Mayra Zola, Manuel Barranzuela, Dino
Castillo, Ericson Correa, José Rey

Piura, 19 de noviembre de 2016

FACULTAD DE INGENIERÍA

Área Departamental de Ingeniería Industrial y de Sistemas



Esta obra está bajo una [licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](#)

UNIVERSIDAD DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERIA



**“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”**

Ingeniería Industrial y de Sistemas

Barranzuela Puémape, Manuel Eduardo

Castillo Castillo, Dino

Correa Luzón, Ericson Miguel

Rey Rumiche, José Benjamín

Zola Gonzáles, Mayra Alessandra

Sponsor: Dr. Ing. Dante Guerrero Chanduví

Monitora: Ing. Catherin Girón Escobar

Piura, noviembre de 2016



Prólogo

Los actuales biocombustibles generan cada vez más dudas acerca de su viabilidad e impacto ambiental; es por ello que diversas investigaciones y proyectos tecnológicos en el mundo están buscando nuevas formas y fuentes de materias primas para la producción de combustibles renovables, con el objetivo de satisfacer la demanda energética mundial y disminuir la contaminación ambiental causada por los combustibles fósiles. Es así como se ha llegado al estudio y desarrollo de los biocombustibles de segunda generación, cuyas materias primas son los residuos vegetales.

Entre los diversos residuos vegetales que se pueden encontrar en la región Piura se encuentran los residuos de plátano verde (cáscara) de la industria chiflera, los cuales son considerados 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 fuente de materia prima para la producción de bioetanol de segunda generación, que contribuiría a cubrir la demanda interna de las chifleras en la ciudad de Piura.

El equipo del proyecto expresa su profundo agradecimiento a todas aquellas personas que han colaborado con ellos para la realización del presente proyecto, como lo son: el promotor, el Dr. Ing. Dante Guerrero; la monitora: Ing. Catherin Girón; y al Dr. Ing. Gastón Cruz, experto en el tema.



Resumen Ejecutivo

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal realizar un estudio experimental de la obtención de biocombustible a partir de la cáscara de plátano verde y su posterior uso en cocinas acondicionadas para la industria chiflera, el cual se desarrolló en un tiempo de 2 meses y medio y con un presupuesto no mayor a S/. 6 300, con la finalidad de brindar una oportunidad de negocio a las medianas y grandes empresas productoras de chifles en la ciudad de Piura en el largo plazo.

Según PromPerú para el año 2015, se estimó un crecimiento del 2.6% en la producción de chifles, siendo uno de sus principales motivos el incremento en la demanda del plátano bellaco para la elaboración de chifles y harina de plátano. Asimismo, los biocombustibles se han convertido en los sustitutos más atractivos para los combustibles derivados del petróleo, debido principalmente al cambio climático que representa una preocupación mundial y al rápido aumento de los precios del mismo.

Además, el Perú tiene como meta incrementar progresivamente su generación de etanol, partiendo de un 5% propuesto en el 2006, lo que brinda un escenario favorable para el desarrollo de nuevos proyectos ligados a la producción de biocombustibles.

Por lo antes mencionado es que se fundamenta el desarrollo del proyecto, el cual consta de 7 capítulos en los que se incluye: Antecedentes de la investigación, Marco teórico, Experimentación y resultados, Diseño de línea de producción, Propuesta de aplicación, Comparación entre combustibles convencionales y bioetanol de plátano; y, por último, las evaluaciones del proyecto tanto ambientales como económico-financieras.

El resultado de la investigación es un prototipo de bioetanol a partir de cáscara de plátano verde con una pureza de 95% de alcohol, incoloro, libre de impurezas y con un ligero aroma a plátano que puede ser propuesto para su aplicación en cocinas acondicionadas a su uso.

Al mismo tiempo, se puede decir que el proyecto tiene un impacto positivo; ya que, la alternativa de utilizar las cáscaras de plátano como materia prima para la obtención de etanol, es ambientalmente amigable. En cuanto al aspecto económico, la implementación del proyecto es rentable pero no atractiva; puesto que, genera un ahorro anual de S/. 5749 con una inversión de aproximadamente S/. 24 500 y un Payback de 5 años y 7 meses.

Por lo tanto, se afirma que el proyecto “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”, aprovecha una oportunidad de negocio con la que se incrementarán los ingresos y la productividad de las empresas chifleras que decidan implementarlo.



Índice

Prólogo	
Resumen Ejecutivo	
Introducción	1
Capítulo 1 Antecedentes de la Investigación	2
1.1 Investigaciones previas	2
1.2 Situación actual	3
1.2.1 Sector industrial de biocombustible	3
1.2.2 Empresas representativas del sector peruano de biocombustibles	5
1.2.3 Normas Técnicas del Bioetanol	7
1.2.4 Sector industrial de chifles en el Perú	10
Capítulo 2 Marco teórico	12
2.1 Materia prima	12
2.2 Procedimientos	15
2.2.1 Tratamiento preliminar	15
2.2.2 Hidrólisis	19
2.2.3 Fermentación	21
2.2.4 Filtrado	23
2.2.5 Destilación	25
Capítulo 3 Experimentación y resultados	28
3.1 Metodología del experimento	28
3.2 Pruebas preliminares	37
3.2.1 Conclusiones de las pruebas preliminares	39
3.3 Pruebas experimentales	39
3.3.1 Pruebas experimentales sin neutralización	41
3.3.2 Pruebas experimentales con neutralización	45



3.4 Conclusiones de la experimentación	51
Capítulo 4 Diseño de línea para la industria chiflera	52
4.1 Ingeniería de procesos.....	52
4.1.1 Proceso de elaboración de bioetanol a partir de cáscara de plátano	52
4.1.2 Capacidad de línea	54
4.1.3 Especificación de maquinarias y equipos.....	54
4.2 Manual de Organización y Funciones: MOF.....	61
4.3 Manual de Procesos y Procedimientos: MAPRO	66
4.4 Propuesta de disposición en planta.....	79
4.4.1 Identificación y dimensionamiento de áreas	79
4.4.2 Matriz de interrelaciones.....	79
4.4.3 Diagrama de interrelaciones.....	81
4.4.4 Diagrama de espacios	82
4.5 Propuesta de plan de capacitación.....	83
4.5.1 Alcance	83
4.5.2 Objetivos.....	83
4.5.3 Estrategias.....	83
4.5.4 Tipo de capacitación	83
4.5.5 Modalidad de capacitación.....	83
4.5.6 Nivel de capacitación.....	84
4.5.7 Desarrollo del plan.....	84
4.5.8 Recursos	85
4.5.9 Presupuesto.....	86
Capítulo 5 Propuesta de aplicación: Cocina a bioetanol	88
5.1 Chimenea de bioetanol.....	88
5.1.1 Características de las chimeneas de bioetanol.....	90



5.1.2 Ventajas de las chimeneas de bioetanol.....	90
5.1.3 Desventajas de las chimeneas de bioetanol.....	91
5.2 Cocina de bioetanol.....	91
Capítulo 6 Comparación entre el combustible actual vs bioetanol de plátano	92
6.1 Características del bioetanol	92
6.1.1 Ventajas del bioetanol	95
6.1.2 Desventajas del bioetanol	95
6.2 Combustible fósil: Butano	95
6.3 Kerosene	96
6.4 Cuadro comparativo.....	98
Capítulo 7 Evaluaciones del Proyecto	100
7.1 Evaluación Ambiental del Proyecto	100
7.1.1 Generación de Bioetanol.....	101
7.1.2 Uso en la Industria Chiflera	101
7.2 Evaluación Económica - Financiera.....	103
Conclusiones y recomendaciones.....	105
Bibliografía	108
Anexos	114
Anexo 1: Entrevista con Experto – Visita Técnica a la Empresa Caña Brava	114
Anexo 2: Exportación de productos nostálgicos a EEUU (2011-2014 miles US\$)	117
Anexo 3: Cuadro de pérdidas y ganancias	119
Anexo 4: VAN y TIR	120
Anexo 5: Punto de Equilibrio.....	120
Anexo 6: Entrevista con Dueño de Chiflería “La Hojuela”	121
Anexo 7: Certificado de Aprobación del Prototipo	122



Introducción

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, 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, el equipo del proyecto encontró información relevante sobre el proceso empleado en la producción de chifles en la ciudad de Piura. Las empresas, compran el 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 del proyecto: ¿cómo utilizar la cáscara de plátano verde?

Después de una lluvia de ideas y apoyándose de herramientas de búsqueda bibliográfica, se llegó a una respuesta: pasar la cáscara por un proceso que permita obtener bioetanol. Una vez logrado dicho objetivo, la empresa podrá utilizarlo como fuente de energía.

Para dar inicio a la experimentación que permita llegar a conclusiones significativas, fue importante primero realizar un estudio teórico de las materias primas utilizadas y los procedimientos por los cuales debe seguir para poder obtener bioetanol, seguido de la experimentación. Ésta, se ha llevado a cabo utilizando una metodología gracias a la cual se logró obtener bioetanol de poco más de 95% de concentración, consiguiendo uno de los objetivos principales del desarrollo del proyecto.

Se ha diseñado una línea para la industria chiflera a pequeña escala, con la cual se han obtenido datos de eficiencias, cuello de botella y capacidad. Información relevante para una posible implementación y puesta en marcha. Por ello, se ha especificado también un Manual de Organización y Funciones (MOF) y un Manual de Procesos y Procedimientos (MAPRO).

El equipo del proyecto ha propuesto el uso del biocombustible obtenido en una cocina adecuadamente acondicionada, de esta forma, la empresa que decida continuar el proyecto con la implementación, pueda reducir sus costos de compra de combustibles y; por lo tanto, obtener una mayor productividad en su proceso productivo.

Debido al enfoque que se ha dado, se finalizó con la realización de una comparación entre el combustible actual con respecto al bioetanol de cáscara de plátano. Además, se analizaron los impactos ambientales y financieros que conlleva la puesta en marcha de la línea de producción.



Capítulo 1

Antecedentes de la Investigación

1.1 Investigaciones previas

El etanol se ha convertido en una alternativa ambientalmente viable para la reducción de las emisiones de GEI (Gases de efecto invernadero), producto de la combustión de los derivados del petróleo.

Diversos países a lo largo del mundo, han desarrollado investigaciones y/o estudios acerca de la generación de biocombustibles a partir de materia orgánica, muestra de ello, se tiene que Estados Unidos y Brasil son los mayores productores de etanol, asignando grandes hectáreas de cultivo a la producción de materia prima, maíz y caña de azúcar respectivamente, para la obtención de este recurso. Según el Centro Global de Biocombustible, en el año 2010, Estados Unidos se consolidó como el mayor productor de etanol del 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 de todo el mundo. (Anónimo, 2011)

Actualmente, como ya se ha mencionado, la caña de azúcar, el maíz e inclusive la remolacha se han convertido en la principal entrada para la producción de etanol. Sin embargo, no existen producciones conocidas de bioetanol a base de cáscara de plátano verde a niveles industriales a pesar de que existen estudios que han demostrado que los excedentes del banano muestran un gran potencial para la elaboración de este biocombustible.

Por otro lado, 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)

Además del antes ya mencionado, existen diversas propuestas de desarrollo del etanol a base de banano; por ejemplo, en el estudio “Análisis energético y exergético del proceso de obtención de etanol a partir de la fruta del banano”, se analiza 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. (Velásquez, Ruiz, & Oliveira, 2010)

Otra tesis relacionada al banano 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



Bioetanol de Plátano

a partir de residuos agrícolas de banano orgánico (hojas, pseudotallos, raquis), a nivel de laboratorio. (Escalante & Fuentes, 2013)

1.2 Situación actual

1.2.1 Sector industrial de biocombustible

En la actualidad, los biocombustibles se han convertido en los sustitutos más atractivos para los combustibles derivados del petróleo, debido principalmente al cambio climático que representa una preocupación mundial y al rápido aumento de los precios del mismo.

Países como Estados Unidos y Brasil lideran el crecimiento de la producción de bioetanol, mientras que la Unión Europea ha sido la principal fuente de crecimiento de la producción de biodiesel. (Anon, 2016)

No obstante, otros países también han comenzado a aumentar su producción de biocombustibles y, para el 2020, se espera una demanda como la que se muestra en la *Tabla 1.1*.

Tabla 1.1: Demanda de producción de biocombustible esperada al 2020

País	Demanda al año 2020	
	Bioetanol	Biodiesel
	(ktep)	
Brasil	12 673	5711
Argentina	713	1506
Bolivia	76	87
Chile	360	788
Colombia	532	560
Costa Rica	137	114
Ecuador	263	320
El Salvador	101	104
Guatemala	189	271
Honduras	76	83
México	4760	2045
Nicaragua	35	48
Panamá	104	108
Paraguay	24	164
Perú	135	300
Trinidad y Tobago	84	58
Uruguay	36	120
Rep. Bolivariana de Venezuela	1739	370
TOTAL	22 035	12 756

Fuente: Energiayambienteandina.net (García, 2016)

Además, como se muestra en la *Figura 1.1*, se viene planteando metas políticas para los biocombustibles, según cada continente y país. Es así que, el Perú tiene como meta incrementar progresivamente su generación de etanol, partiendo de un 5% propuesto en el 2006, lo que brinda un



escenario favorable para el desarrollo de nuevos proyectos ligados a producción de biocombustibles.

METAS DE POLÍTICA PLANTEADAS PARA LOS BIOCOMBUSTIBLES		
País / Región	Bioetanol	Biodiesel
América del Norte		
USA	Renewable Fuels Standard y Alternative Fuels Standard: 28,000 millones de lts. de combustibles renovables en el 2012; 132,000 millones de lts. de combustibles renovables y alternativos en 2017 (15% del uso proyectado de gasolinas al 2017).	
Canadá	5% en 2010	2% de contenido renovable en diesel oil y fuel oil en 2012
Europa		
Unión Europea	5.75% al 2010, 8% al 2015 y 10% al 2020 para biocombustibles en sustitución de diesel oil y gasolinas para transporte (computado sobre base energética)	
Asia		
Japón	Sustitución de 500,000m ³ de gasolinas para transporte por año al 2010 (1.8 millones de lt/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	
Oceania		
Australia	350 millones de litros de biodiesel+bioetanol al 2010	
LAyC		
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 y 5% desde el 2013 y 20% al 2020
Colombia	10% a partir del 2006, por regiones	5% a partir del 2008
Paraguay	18% mínimo	1% en 2007, 3% en 2008, 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

Figura 1.1: Metas de política planteadas para los biocombustibles.

Fuente: *Energiayambienteandina.net* (García, 2016)

Los precios de productos agrícolas se han visto incrementados drásticamente durante los últimos 3 años debido a una combinación de factores que se refuerzan mutuamente, entre los que se incluye la demanda de biocombustible.

A febrero de 2016, según el informe de la UNCTAD¹, los biocombustibles avanzados producidos a partir de biomasa no alimentaria, o de segunda generación, se han convertido en una realidad comercial. Esto, en el contexto de las tecnologías avanzadas, 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.

¹ Del inglés United Nations Conference on Trade and Development, significa Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo.



Bioetanol de Plátano

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 respectivamente, según el informe, por la República Popular China, Canadá, la Unión Europea, y Brasil.

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. (Anónimo, 2016)

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 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. (Adecoagro, 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. (Anónimo, 2016)

Algunas de las empresas dentro del sector que se pueden mencionar son:

- Caña Brava: Empresa localizada en Piura, 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, la cual tiene una capacidad de producción de 430 mil litros de etanol por día, con una molienda de 5000 toneladas diarias de caña (**Anexo 1**), y finalmente Bioenergía del Chira S.A. la cual es responsable de la generación de la energía eléctrica a partir del bagazo. (Caña Brava, 2016)
- 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. Esta planta 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. (Maple Energy, 2012)
- Corporación Azucarera del Perú S.A. (Coazúcar): Siembra y procesamiento de la caña de azúcar y comercialización de subproductos derivados (azúcar, alcoholes, melaza y bagazo).
- Otras como: Alambique Tumán y Empresa Agroindustrial Laredo, producción de etanol a partir de caña de azúcar. (Caña Brava, 2016)

1.2.2 Empresas representativas del sector peruano de biocombustibles

La empresa Sucroalcolera del Chira S.A. (Caña Brava) es el único productor de Alcohol Carburante a partir de caña de azúcar. Esta planta entró en producción a fines del tercer trimestre del año 2009.

En el mismo valle del Chira, se ubica el proyecto para producción de etanol a partir de caña de azúcar



de la empresa Maple Energy. (Maple Energy, 2012)

Tabla 1.2: 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: Elaboración propia a partir de Caña Brava (2016) y Maple Energy (2012)

Algunas empresas productoras de otro tipo de combustible, como lo es el Biodiesel se muestran en la Tabla 1.3.



Tabla 1.3: 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: Elaboración propia a partir de Industrias del Espino (2016), Pure Biofuels (2016), HPO Corp (2016)

1.2.3 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 1.4* se muestran las especificaciones técnicas para el etanol de acuerdo a la NTP² del año 2009 y se detallan los métodos de ensayo 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 típico.

Tabla 1.4: 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	-	-

² Abreviatura de Norma Técnica Peruana.



Características	Especificaciones		Método de ensayo		
	Mín.	Max.	ASTM	EN	NTP
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 Método modif. A	.	.
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 (OSINERGMIN, 2016)*

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 1.5* muestra las especificaciones técnicas del etanol carburante en Estados Unidos y Brasil, normalizadas por la ASTM (American Society for Testing and Materials) y ANP (Agencia Nacional de Petróleo, Gas y Biocombustibles) 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, a su vez se expone que el grado alcohólico que exigen países como Brasil y Suiza es casi del 100%, mientras que en EE. UU es de 92%. Se aprecia que son Suiza y el Continente Europeo los que mayores 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.



Bioetanol de Plátano

Tabla 1.5: Especificaciones técnicas del etanol carburante alrededor del mundo

Característica	Unidad		País o Continente			
			EEUU	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 a 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: Estudio Experimental De Obtención De Bioetanol A Partir De Residuos Agrícolas De Banano Orgánico En Piura (Escalante & Fuentes, 2013)



1.2.4 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, innovándolo, dado que ahora no simplemente se elaboran de la forma tradicional; es decir, salada, sino también en otras presentaciones como dulces, picantes y alargados.

La industria ha tomado representatividad no solo a nivel nacional sino también internacionalmente logrando posicionarse en países de Europa y Estados Unidos. Según PromPerú, las exportaciones de chifles peruanos ascendieron a US\$1.3 millones en el primer semestre del 2011, 23% más respecto al similar período de 2010. (Gestión, 2015)

Para el 2011, Estados Unidos fue el país al que se le destinó el 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. **(Anexo 2)**

Para el año 2015, se estimó un crecimiento del 2.6% del principal recurso para su elaboración, siendo uno de sus principales motivos el incremento de la demanda del plátano bellaco para la elaboración de chifles y harina de plátano.

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. (Anónimo, 2015)

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. (RPP Noticias, 2011)



Bioetanol de Plátano

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 las empresas productores del plátano bellaco que ven en este aumento de la demanda una oportunidad para crecer. Todo esto supone por ende un crecimiento también del desecho (cáscara de plátano), el cual equivale al 40% en peso del plátano, y de acuerdo a investigaciones y/o estudios puede ser considerada como materia prima para la obtención de biocombustible, dejando de ser un desecho más para convertirse en una oportunidad que genere utilidad y rentabilidad al negocio.



Capítulo 2

Marco teórico

2.1 Materia prima

- **Maíz**

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

El grano representa aproximadamente la mitad del peso seco aéreo de la planta (ver *Tabla 2.1*). 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. (Gracia, 2009)

A través del proceso de hidrólisis, se obtiene del almidón contenido en el grano de maíz o en la celulosa, 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 piruvato. A partir de aquí, sólo la ruta que conduce al etanol es activada por la levadura. (Gracia, 2009)

Tabla 2.1. Composición típica de la planta de maíz

Componentes de la planta	Porcentaje del peso seco (%)	Biomasa kg PS/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 (chalias)	8.9	1366
Total caña	38.5	5910
Total planta	100	15350

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

- **Caña de azúcar**

La composición de la caña de azúcar se resume en la *Tabla 2.2*. La caña propiamente dicha, es la fracción que se exprime para extraer el azúcar y que constituye el 77% de la biomasa aérea total. El caldo que se obtiene exprimiendo la caña contiene un 44% de sacarosa y un 7% de otros azúcares. En total, el 51 % de la biomasa seca de los tallos de la caña lo constituyen azúcares susceptibles de ser sometidos a fermentación para obtener bioetanol. (Gracia, 2009)

En efecto, cada tonelada de caña, de la que 770 kg corresponden a los tallos de la caña, permite 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



Bioetanol de Plátano

o, si se prefiere, 5610 kcal/litro. 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 2.2: Composición típica de caña de azúcar

Componente de la planta	Peso fresco tm/ha	Peso seco tm/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: Biocombustible: ¿Energía o alimento? (Gracia, 2009)

- **Comparación entre el maíz y la caña de azúcar**

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. (Quo, 2015)

Pero la caña de azúcar crece en agrupaciones más densas que el maíz, así que un acre ($4.046 m^2$) de azúcar de caña puede producir al menos 2.333 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 que crece a latitudes más elevadas, tiene un periodo de crecimiento anual más corto. (Gracia, 2009)

Además de ello, hay que sumarle que en la actualidad producir etanol procedente de caña de azúcar es más amigable con el medioambiente, pues 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. (Quo, 2015)



- **Composición y contenido de materia prima**

En la *Tabla 2.3*, se muestran valores promedio de algunos tipos de materia prima utilizados en la elaboración de etanol, respecto al material lignocelulósico.

Tabla 2.3. Composición promedio en material lignocelulósico.

Material lignocelulosico	%(w/w) BS Celulosa	%(w/w) BS Celulosa	%(w/w) BS Celulosa	Referencias
Cascarilla de arroz	39.05 25.89-35.5	18.1 – 21.35	22.80 18.20 – 24.6	(Valverde et al., 2007)
Bagazo de caña	48.81	24.42	25.82	(Area,2002)
Desechos cítricos (Bagazo y cáscara)	20.63 16.2 ± 0.5	10.86 13.8 ± 0.3	2.62 1.0 ± 0.3	(Sánchez, M. et al., 1996) Limón –Citrus limón L (Mamma et al., 2008) Naranja
Subproductos de Plátano (Cáscara de Banano)	13.2	14.8	14.00	(Monsalve et al., 2006)

Fuente: Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos (Sánchez, Gutierrez, Muñoz, & Rivera, 2010)



2.2 Procedimientos

2.2.1 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 pretratamiento 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 pretratamiento 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.

2.2.1.1 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 la materia prima, se realiza el proceso de limpieza de la materia, para separar los contaminantes y excedentes de la materia que no favorezcan al proceso de obtención del etanol.

El equipo comúnmente propuesto para el pretratamiento de la materia prima a través del método *Liquid Hot Water* (LHW) consiste en un reactor hidrotérmico químico de acero inoxidable S316 de alta aleación³ (ver Figura 2.1). La temperatura y presión de trabajo máxima del reactor es de 350 °C y 20 MPa respectivamente. (Col-Int Tech, 2016)

El reactor 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 pretratada.

El reactor tiene 15 mm de espesor y una capacidad de 50 m³, con una capacidad de procesamiento diario de 1 000 t/día.

³ 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.

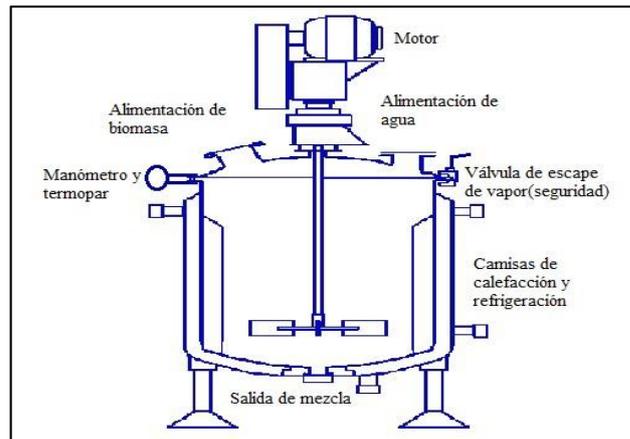


Figura 2.1 Reactor Hidrotérmico de acero inoxidable.
Fuente: Hydrothermal chemical reactor (Col-Int Tech, 2016)

2.2.1.2 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, 2016)

Existen diferentes tipos de moliendas, entre los cuales se encuentran:

- Con molinos de bolas: Consiste en ingresar una cierta cantidad de bolas de determinado material que, por fricción entre cada una de las bolas, y gracias al giro del cuerpo del molino, hace que se reduzca el tamaño. (Costa, 1991)

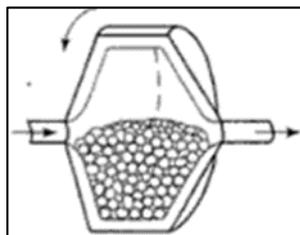


Figura 2.2 Representación de molinos con bolas.

Fuente: Schimd & Kalpakjian (2002)



Bioetanol de Plátano

- Con molinos de martillos: En su interior contienen martillos oscilantes que golpean al material al girar el molino. De esta forma, se reduce el material gracias a la fuerza ejercida por dicho martillo. (Costa, 1991)

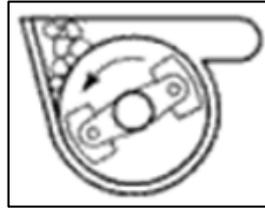


Figura 2.2 Representación de molinos de martillos.

Fuente: Schimd & Kalpakjian (2002)

- Trituración por rodillos: Para realizar esta operación se necesitan dos rodillos que al girar hacen chocar el material de ingreso consigo mismo y con los rodillos, reduciéndolo. (Schimd & Kalpakjian, 2002)

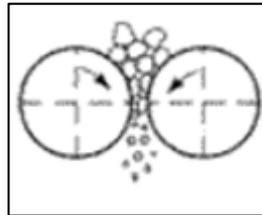
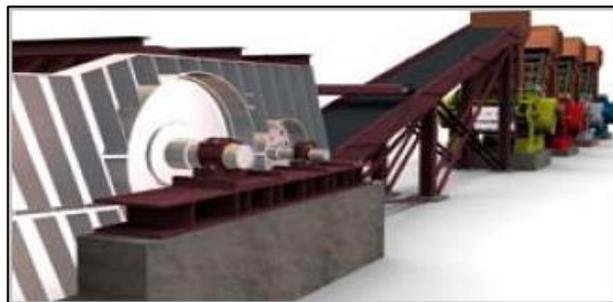


Figura 2.4 Representación de trituración por rodillos.

Fuente: Schimd & Kalpakjian (2002)

Para llevar a cabo la molienda se suele usar una desfibradora, la más usada es una desfibradora pesada en línea de Fives Cail (ver Figura 2.5 y Figura 2.6) la cual está compuesta por un rotor de seis barras, una faja transportadora que va acompañada de un nivelador y un tambor de alimentación por donde pasa la materia prima de forma continua al rotor que acciona los yunques y martillos. (Anónimo, 2016)

Este equipo presenta un diseño del rotor que da una cobertura completa en toda la anchura de la máquina. Los martillos oscilantes, que reducen la materia prima en trozos más pequeños, se solapan entre sí ligeramente para asegurar que exista una cobertura total de área de barrido.



Fuente: Desfibradora pesada en línea - Fives Sugar - Bioenergy - Catálogo PDF (Anónimo, 2016)



Figura 2.6 Partes de una desfibradora pesada.

Fuente: Desfibradora pesada en línea - Fives Sugar - Bioenergy - Catálogo PDF (Anónimo, 2016)

Algunas especificaciones técnicas del equipo se muestran en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4: Especificaciones técnicas de la desfibradora pesada en línea

Capacidad (tch)	Ancho (pulgadas)	Potencia Instalada (kW)	Índice de preparación
200 - 450	72	1800 - 4000	hasta 92%
250 - 600	78	2200 - 5400	hasta 92%
350 - 700	84	3100 - 6300	hasta 92%
450 - 800	90	4000 - 7200	hasta 92%
600 - 1000	102	5400 - 9000	hasta 92%

Fuente: Desfibradora pesada en línea - Fives Sugar - Bioenergy - Catálogo PDF (Anónimo, 2016)

2.2.1.3 Cocción

Proceso bajo el cual la materia prima es sometida a calor cuyo objetivo principal es 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, 2016)



2.2.2 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. (Vásquez & Dacosta, 2016)

2.2.2.1 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. (Pezoa, 2016)

2.2.2.2 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, exoglucanasas y b-glucosidasas. (Pezoa, 2016)

2.2.2.3 Maquinaria: Tanque Químico para Hidrólisis

Para la hidrólisis se emplea un reactor (ver Figura 2.7), en este caso un tanque SUS316L es de acero inoxidable de baja aleación. La temperatura y presión máxima de trabajo del tanque es de 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)

El 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. (Acevedo & Sarmiento, 2008)

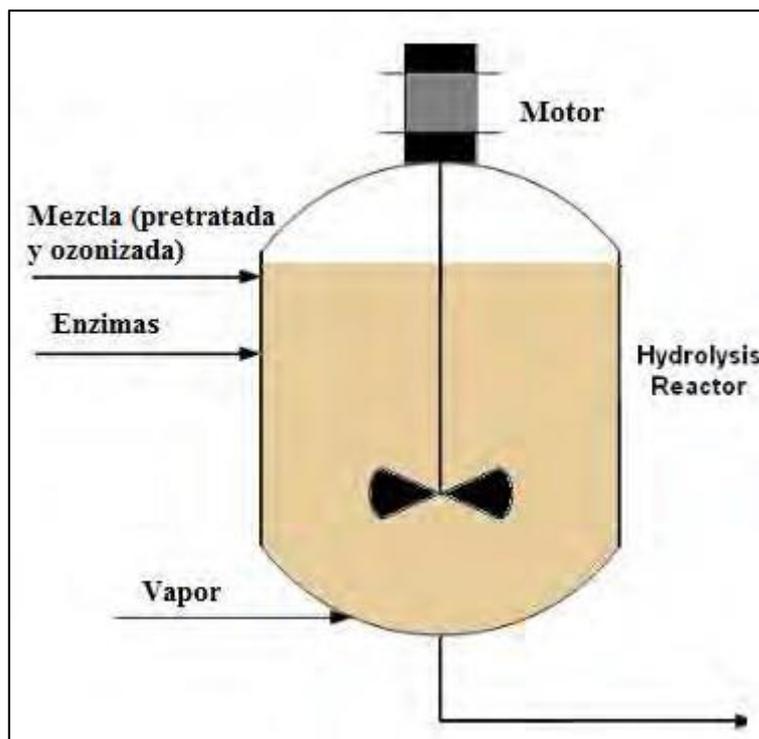


Figura 2.7 Reactor para Hidrólisis.

Fuente: Simulación y diseño básico de un reactor de hidrólisis enzimática de bagazo de caña (Acevedo & Sarmiento, 2008)

Algunos parámetros técnicos se encuentran en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5: Parámetros técnicos de tanques de fermentación

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. (Taherzadeh, 2007)



2.2.3 Fermentación

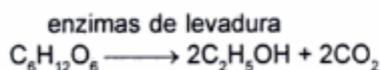
La fermentación, aunque popularmente posee solamente la función de producir alcohol, posee diferentes perspectivas desde las que se puede abarcar. Empezando por aplicaciones generales que están relacionadas con la cocina, hasta industriales, en las que importan factores como la cantidad de oxígeno que interviene en la reacción. (Tortora , Funke & Case, 2007)

Según Tortora, Funke & Case et al. (2007) 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 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 *Reacción 2.1*. Como se puede comprobar en dicha ecuación, se trata de una reacción óxido-reducción que se lleva a cabo sin presencia de oxígeno. (Garritz & Chamizo, 1998)



Reacción 2.1 Fermentación con enzimas de levadura.

Fuente: Garritz & Chamizo (1998)

Como se ve en la *Figura 2.8*, los productos finales de la fermentación varían según sea el organismo empleado en el proceso. Así es como al usar la *Saccharomyces*⁴ se obtiene etanol y CO_2 , productos en los cuales se tiene interés en la producción de bioetanol.

⁴ Nombre científico para la levadura.

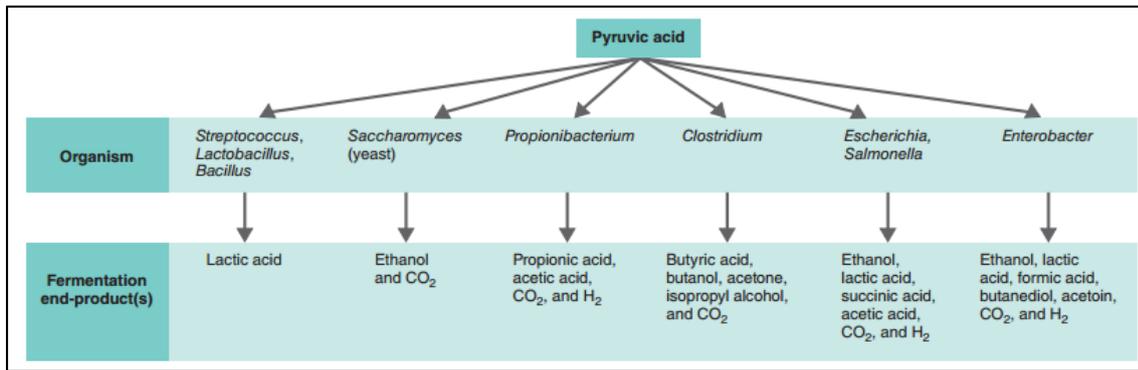


Figura 2.8 Productos de la fermentación del ácido pirúvico según el medio.

Fuente: Tortora, Funke & Case (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. (Vásquez & Dacosta, 2016)

El rendimiento teórico para la fermentación es de 0.511 g. de etanol y 0.489 g. de CO₂ por 1 gr 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. (Vásquez & Dacosta, 2016)

Para esta operación, el equipo más común es un tanque de fermentación, cuyos componentes se pueden observar en la Figura 2.9.

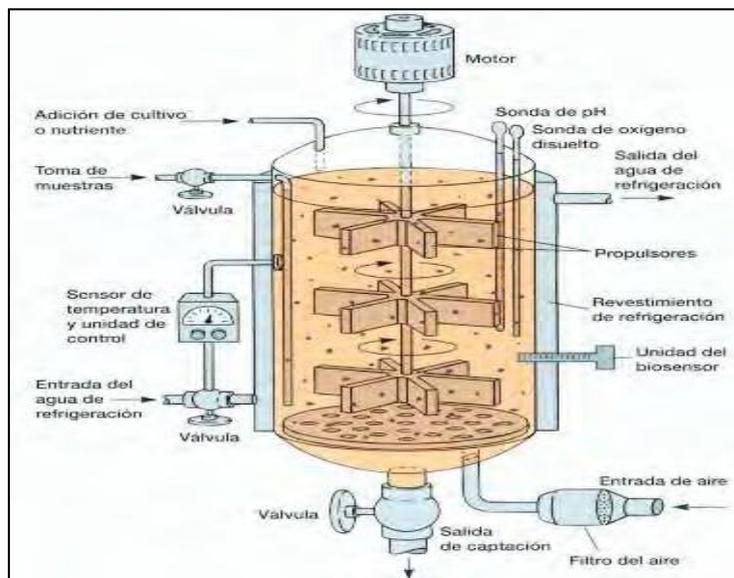


Figura 2.9 Tanque de Fermentación alcohólica.

Fuente: Diseño de Biorreactores (BIOREACTORCRC, 2008)

Algunos aspectos técnicos del tanque de fermentación se muestran en la Figura 2.10.



Bioetanol de Plátano

Datos Básicos

Voltaje:	380 V	Lugar del origen:	China (Continental)
Condición:	Nuevo	Proceso de tipos:	Etanol
Proceso:	El tanque de almacenaje	Peso:	100 kg-5000 kg
Certificación:	CE ISO	Dimensión (L*W*H):	requisito
nombre:	Tanque de Almacenamiento De Alco...	tipo:	Horizontal
polaco:	interior Pulido Espejo	garantía:	12 Meses
capacidad:	la Petición de los clientes	uso:	líquido Etc
Marca:	Hengcheng		
Número de Modelo:	HC-R2		
Energía (W):	0.75KW		
Material:	de Acero inoxidable		
volumen:	50-100000L		
lugar de origen:	shangahi china		



Figura 2.10 Tanque de Fermentación de acero inoxidable.

Fuente: Alibaba.com (2016)

2.2.4 Filtrado

Se denomina filtración al proceso unitario 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)

En esta operación puede suceder que lo que se desee sea 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. (Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2005)

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

- Filtración de torta (*cake filtration*, ver Figura 2.11): 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. (Salcedo, Font, & Martin, 2011)

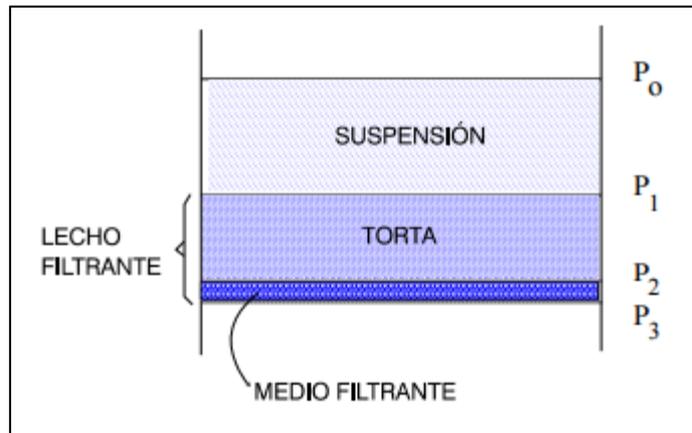


Figura 2.11 Esquemización de la Filtración de torta.

Fuente: Salcedo, Font & Martin (2011)

- Filtración de lecho profundo (*filter bed, bed or deep-bed filtration, ver Figura 2.12*): La finalidad de esta filtración es conseguir un efluente clarificado sin partículas finas. Para ello, la entrada para 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. (Salcedo, Font & Martin, 2011)

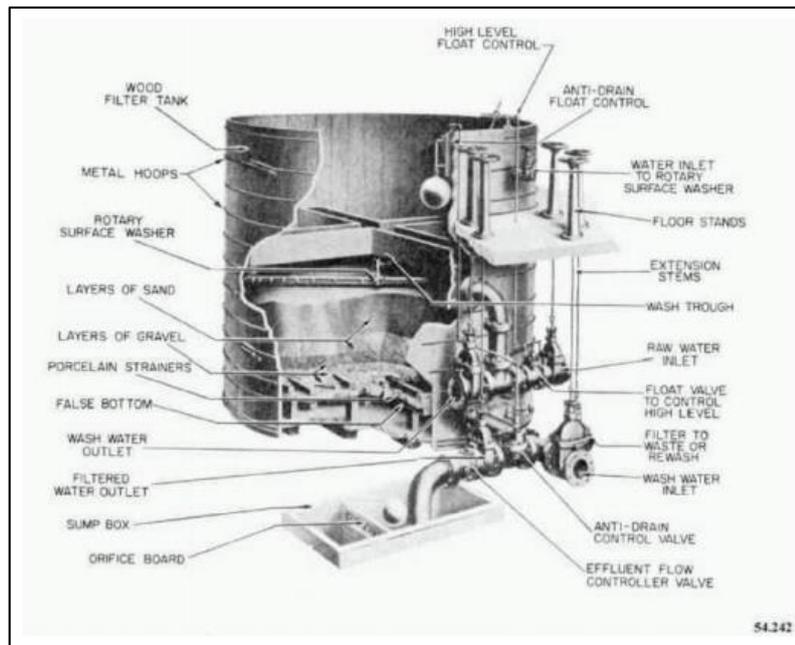


Figura 2.12 Esquema de Filtración de lecho profundo.

Fuente: Salcedo, Font & Martin (2011)

- Filtración de flujo cruzado o ultrafiltración (*screening and cross-flow filtration, ver Figura 2.13*): En este caso, los sólidos encontrados son realmente pequeños (de 5µm hasta 0.03µm), debido a esto no existe una torta tal cual, sino que hay dos flujos de salida. Primero, un



Bioetanol de Plátano

líquido filtrado (sin solutos) y segundo, como una corriente de rechazo, un líquido concentrado en solutos. (Salcedo, Font, & Martin, rua.ua.es, 2011)

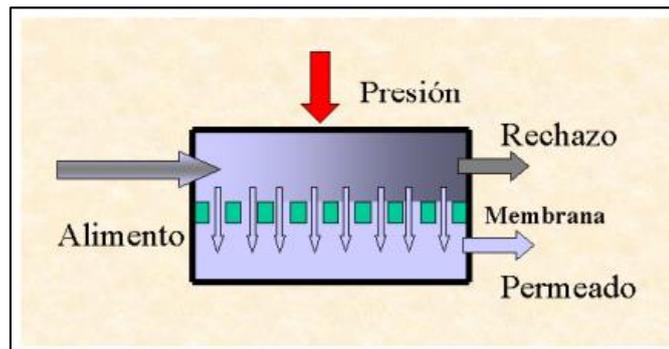


Figura 2.13 Esquema de la filtración de flujo cruzado o ultrafiltración.

Fuente: Salcedo, Font & Martin (2011)

2.2.5 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 2.14a) o discontinua (ver Figura 2.14b), 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)

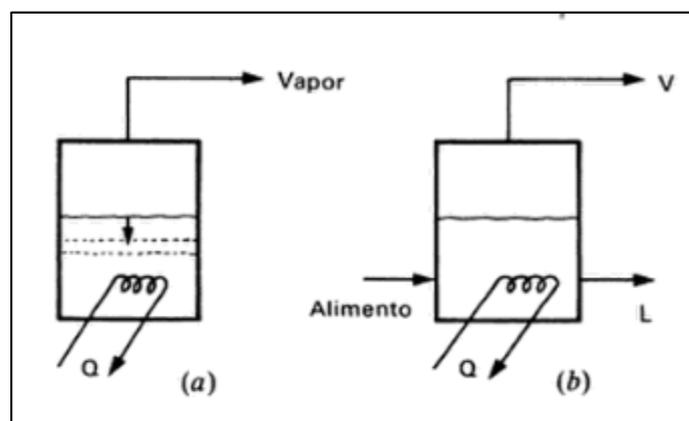


Figura 2.13 Destilación simple continua(a) y discontinua(b).

Fuente: Curso de Ingeniería Química (Costa, 1991)



En la rectificación (ver Figura 2.15), 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 se utiliza alguna otra corriente del proceso que sean más frías. Al igual que la destilación simple, puede ser continua o discontinua. (Costa, 1991)

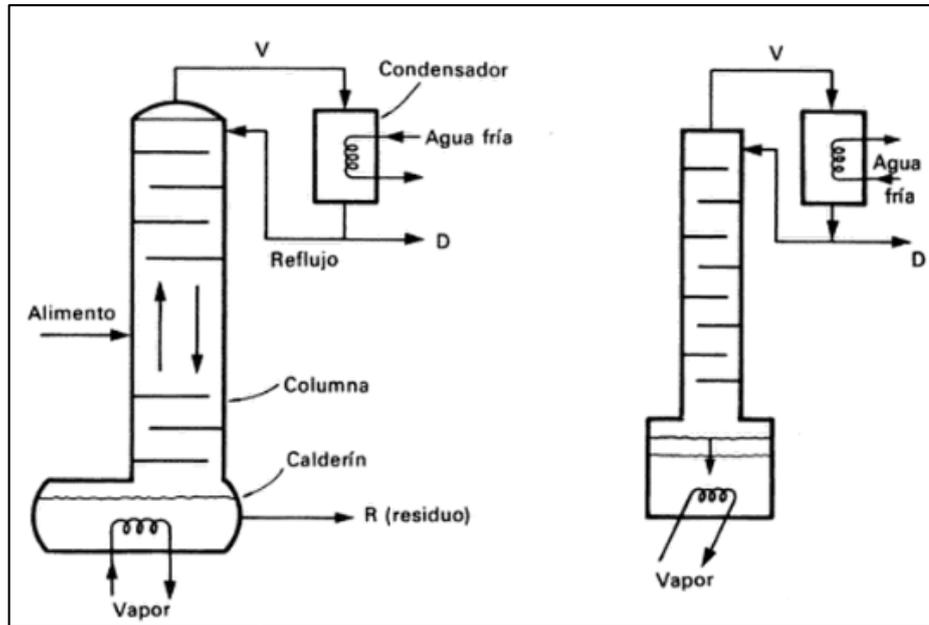


Figura 2.15 Derecha: rectificación continua, izquierda: rectificación discontinua.

Fuente: Curso de Ingeniería Química (Costa,1991)

Para la destilación; también se utiliza un deshidratador (ver Figura 2.16), que consiste en una torre de destilación extractiva, una torre de recuperación del solvente, condensadores y decantadores.

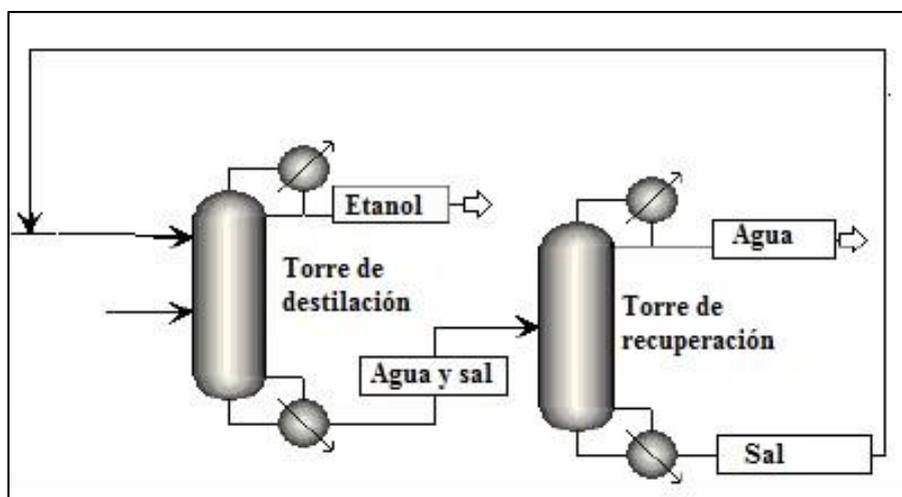


Figura 2.16 Proceso de Destilación Extractiva.

Fuente: Our Distillation Columns (ODFJELL, 2016)



Bioetanol de Plátano

La torre de destilación extractiva es 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. (ODFJELL, 2016)

La torre de recuperación es 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. (SING, 2016)



Capítulo 3

Experimentación y resultados

3.1 Metodología del experimento

- **Objetivo de la Experimentación**

El presente capítulo tiene por objetivo 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 tenga una pureza mínima de 95% de alcohol, sea incoloro, libre de impurezas y con un ligero aroma a plátano que pueda ser propuesto para su aplicación en cocinas acondicionadas en la industria chiflera de la ciudad de Piura.

- **Consideraciones Iniciales**

Antes de realizar las pruebas de laboratorio, se definieron conceptos y premisas iniciales de cómo llevar a cabo la experimentación, de manera que se trató de estandarizar procedimientos y mediciones para el éxito de la misma. Las consideraciones iniciales más importantes son:

- Prueba preliminar: Experimentación ejecutada por el equipo del proyecto en donde sólo se realizan los procedimientos de transformación de la materia prima (cáscara de plátano).
- Prueba experimental: Experimentación ejecutada por el equipo del proyecto en donde se realizan los procedimientos de transformación de la materia prima (cáscara de plátano) y el control de las variables preestablecidas, llevando un registro de las mediciones para su posterior análisis y comparación.
- Grados Brix (°Brix): Son una unidad de cantidad y sirven para determinar el cociente total de materia seca, es este caso, azúcares disueltos en un líquido. Los grados Brix se cuantifican con un refractómetro.
- pH: Es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidrógeno $[H]^+$ presentes en determinadas disoluciones.
- 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.
- Estricto cuidado de mantener en condiciones óptimas los equipos de medición, encargados de controlar las variables preestablecidas.
- Especial cuidado en que no hubiese interferencias de algún otro agente externo al experimento, todo ello para obtener bioetanol a partir de cáscara de plátano verde con una pureza de 95% de alcohol.



Bioetanol de Plátano

- **Variables de Control**

Las principales variables de control en cada prueba realizada fueron los °Brix, temperatura y pH, ya que de esta forma se pudo plasmar gradualmente el avance de conversión del azúcar contenido en la cáscara de plátano en alcohol durante los procesos de hidrólisis y fermentación.

- **Técnicas utilizadas**

Para la ejecución de la experimentación se utilizaron 3 técnicas: Juicio de Expertos, Método Científico y la técnica de Prueba y Error.

La técnica de Juicio de Expertos se utilizó para la definición de los materiales, equipos e instrumentos y durante el monitoreo de las principales variables de control en cada prueba realizada. Se consultó a profesionales como el Dr. Gastón Cruz y la Dra. Nora Grados, docentes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Piura, con especialización en temas químicos.

El Método Científico y la Técnica de Prueba y Error definieron el desarrollo y ejecución de nuestras experimentaciones. Debido a ello, la secuencia de los procedimientos y procesos se rigen por la lógica y dependencia de resultados. En la *Figura 3.1* se muestra el diagrama de flujo del proceso seguido para la experimentación en general.

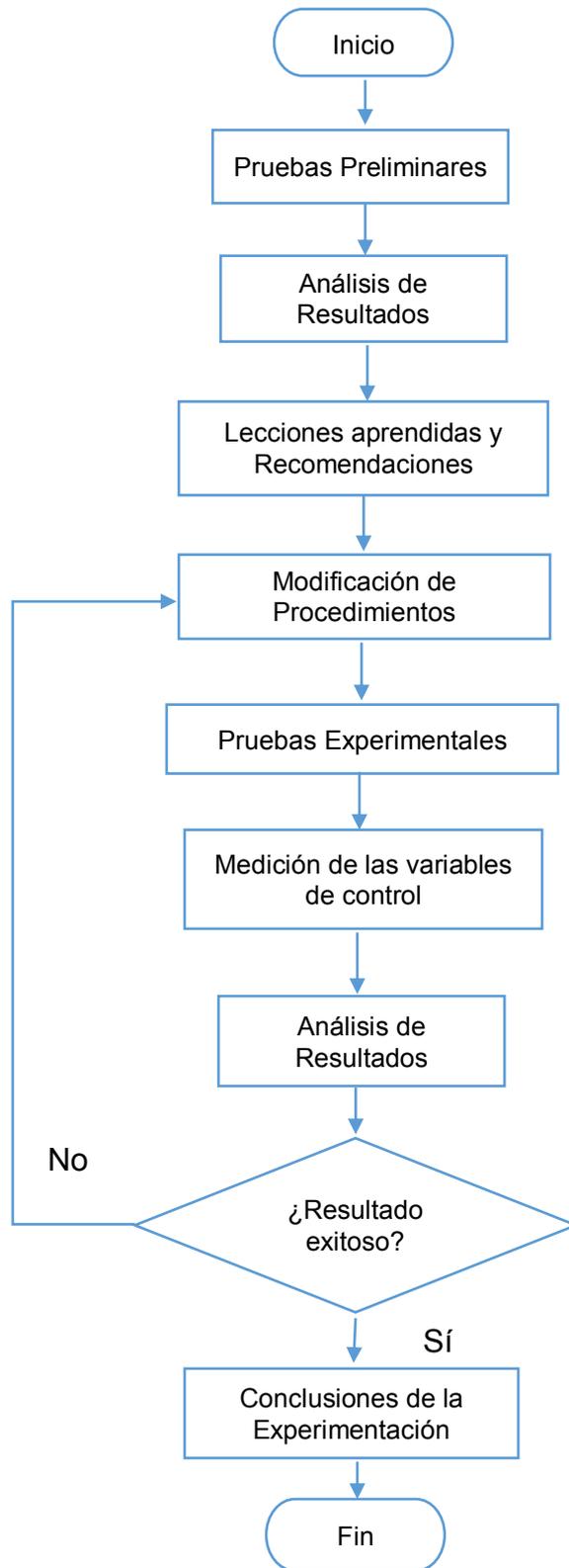


Figura 3.1: Diagrama de Flujo del Proceso de Experimentación

Fuente: Elaboración propia



Bioetanol de Plátano

- **Materiales, Equipos e Instrumentos**

Los materiales, equipos e instrumentos empleados en la experimentación se detallan en las *Tablas 3.1 y 3.2.*

Tabla 3.1: Materia prima e insumos utilizados durante las pruebas

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_2SO_4)		Azúcar	
Ácido Clorhídrico (HCl)		Agua	



Materia Prima e Insumos	Imagen	Materia Prima e Insumos	Imagen
Envases plásticos		Papel aluminio	
Cinta aislante		Envases de vidrio	

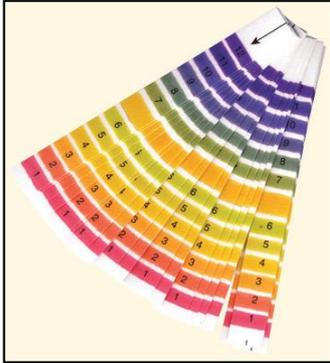
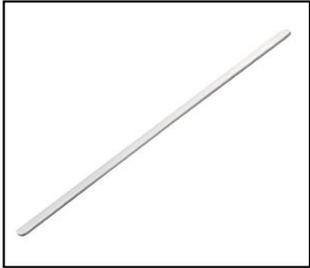
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Imágenes



Tabla 3.2: Equipos e instrumentos empleados en las pruebas

Equipos e Instrumentos	Imagen	Equipos e Instrumentos	Imagen
Pretratamiento		Pretratamiento	
Cuchillo de acero inoxidable		Balanza	
Licadora		Cuchara de aluminio	
Pretratamiento e Hidrólisis		Pretratamiento e Hidrólisis	
Olla de acero inoxidable		Refractómetro	



Equipos e Instrumentos	Imagen	Equipos e Instrumentos	Imagen
Pretratamiento e Hidrólisis		Pretratamiento e Hidrólisis	
Papel Tornasol			
Hidrólisis		Hidrólisis	
Termómetro de Mercurio		Cucharita de acero inoxidable	
Guantes		Agitador	
Fermentación		Fermentación	
Manguera fina		Jeringa	



Equipos e Instrumentos	Imagen	Equipos e Instrumentos	Imagen
Fermentación		Fermentación	
Recipientes			
Destilación		Destilación	
Abrazadera		Rejilla	
Codos		Probeta	
Balón		Alcoholímetro	



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

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Imágenes

Asimismo, previo a la experimentación, el equipo de trabajo decidió hacer unas pruebas preliminares que pudieran servir como entrenamiento y/o aprendizaje, con la finalidad de corregir y estandarizar los procesos y operaciones unitarias necesarias para la obtención de bioetanol a base de cáscara de plátano mediante la técnica de Prueba y Error. En consecuencia, se aprovecharon las lecciones aprendidas de las pruebas preliminares y se procedió a realizar las pruebas experimentales haciendo los cambios correspondientes, los cuales se mencionarán más adelante.

Por último, en algunas pruebas se emplea, además de la cáscara de plátano verde, cáscara de plátano maduro para establecer una comparación y validar si hay una diferencia significativa en la obtención de bioetanol.



3.2 Pruebas preliminares

Para empezar las pruebas preliminares primero se diseñó la línea de producción a escala de laboratorio a seguir en este procedimiento, la cual se muestra en la *Figura 3.2*.

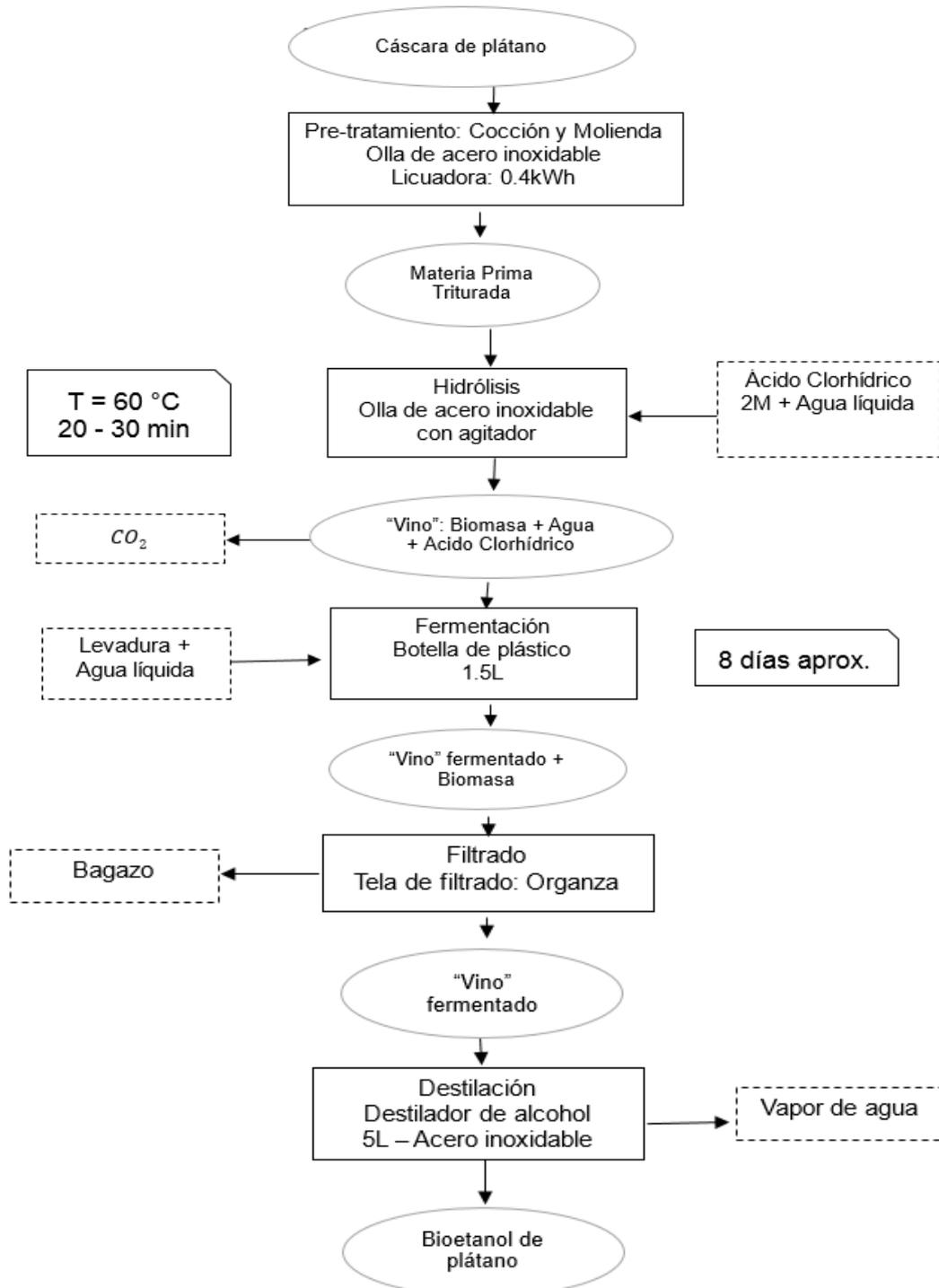


Figura 3.2: Diseño de Línea de Producción a escala de laboratorio

Fuente: Elaboración propia



Una vez definida la línea de producción, se decidió realizar una comparación entre dos tipos de cáscara de plátano verde, palillo y bellaco, esto con el fin de fundamentar si es que había cierta diferencia en la calidad y concentración del bioetanol al finalizar todos los procedimientos. Finalmente, se definieron los materiales e instrumentos requeridos para realizar las pruebas.

Teniendo como variables de control preestablecidas 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 añadido en la hidrólisis y el tiempo de hidrólisis, se obtuvo los resultados presentados en las *Tablas 3.3 y 3.4*.

Tabla 3.3: Pesos del plátano verde

Pesos del plátano verde						
N° de plátano	Tipo Palillo			Tipo Bellaco		
	Peso (g.)		Porcentaje de cáscara (%)	Peso (g.)		Porcentaje de cáscara (%)
	Peso Total	Peso cáscara		Peso Total	Peso cáscara	
1	240	100	41.67	140	70	50.00
2	305	135	44.26	155	85	54.84
3	305	125	40.98	160	85	53.13
4	310	125	40.32	154	80	51.95
5	290	120	41.38	165	70	42.42
Promedio	290	121	41.72	155	78	50.47

Fuente: Elaboración propia

El tiempo de cocción de la cáscara de plátano verde tipo palillo fue de 10 minutos y el de tipo bellaco fue de 12 minutos.

Tabla 3.4: Hidrólisis para la cáscara de plátano verde

Hidrólisis para la cáscara de plátano verde		
Variables de Control	Tipo palillo	Tipo bellaco
Cáscara procesada (g.)	121	78
Agua (mL)	250	250
Tiempo hidrólisis (min)	3	4.25
HCl (gotas)	90	80

Fuente: Elaboración propia

Después de realizar la hidrólisis, la mezcla de cada tipo de plátano fue colocada por separado en una galonera de plástico cerrada y conectada a una botella de plástico mediante una manguera fina para pasar por el proceso de fermentación durante 8 días. El color de la mezcla con el transcurso de los días pasó de verde oscuro a verde claro. El olor de la mezcla era desagradable pero no consiguió tener el olor a alcohol que se requiere para confirmar que este proceso fue exitoso. Esta afirmación fue corroborada durante el proceso de destilación; puesto que, si bien no se midieron los grados alcohólicos en esta parte, era evidente que la solución tenía muchísima



Bioetanol de Plátano

más concentración de agua que de alcohol.

Es por eso que, el primer intento se considera fallido. La causa principal del fallo se debe a que el proceso de fermentación no se hizo en las condiciones adecuadas ni con los materiales óptimos.

3.2.1 Conclusiones de las pruebas preliminares

Después haber realizado las pruebas preliminares se encontraron muchas deficiencias tanto en los insumos empleados como en los instrumentos utilizados para la fermentación. Entre las más importantes podemos mencionar:

- El uso de ácido clorhídrico (HCl) para la hidrólisis. Inicialmente, se planteó el uso de ácido sulfúrico (H_2SO_4) para realizar el proceso de hidrólisis y facilitar la separación de enlaces en componentes más sencillos (glucosa) convirtiéndolos en azúcares, necesarios y favorables para que en la fermentación se transformen en alcohol. Sin embargo, su venta es por grandes volúmenes y muy regulada, por ello no tuvimos acceso a su compra. Como solución propusimos el ácido clorhídrico, éste tiene un efecto mucho más agresivo y corrosivo que el ácido sulfúrico por lo que los enlaces se rompen de manera drástica disminuyendo la glucosa que se necesita.
- El proceso de fermentación no se llevó a cabo en condiciones favorables ni con los materiales adecuados. En nuestro propósito de medir el dióxido de carbono (CO_2), producto de la fermentación del “vino” se conectaron dos recipientes, uno en el que se depositó la mezcla y el otro vacío, por medio de una manguera fina y se sellaron para evitar que el aire ingrese por las aberturas. Esta decisión fue errada porque no dejamos escapar el CO_2 , evitando que se transformaran completamente los azúcares en alcohol.

3.3 Pruebas experimentales

Teniendo en cuenta las lecciones aprendidas tras las pruebas preliminares, nuestro equipo decidió cambiar la metodología de trabajo llevada hasta ese momento y se tomaron 3 decisiones importantes:

- El uso de ácido sulfúrico para la hidrólisis. El Ing. Gastón Cruz, a través del Laboratorio de Química – Udep nos facilitó la obtención de este insumo para la experimentación.
- Antes de colocar la mezcla hidrolizada en la botella de plástico graduada, se le añadió 4 gramos de levadura para facilitar la fermentación.
- Se cambiaron los materiales usados en la fermentación. Ahora se emplearon botellas de plástico transparente graduadas que permiten una mejor visualización del avance de la fermentación. Además, ya no se medirá el dióxido de carbono eliminado, por lo que la botella que contiene la mezcla estará conectada mediante una manguera fina a un recipiente con agua, permitiendo así la salida del CO_2 pero no el ingreso de aire a la mezcla.
- Se decidió dividir las pruebas experimentales en dos secciones, la primera es sin neutralizar la mezcla hidrolizada y la segunda, con neutralización de la mezcla hidrolizada antes del proceso unitario de fermentación.

Por otro lado, se rediseñó la línea de producción a escala de laboratorio a seguir en este procedimiento, lo cual se muestra en la *Figura 3.3*.

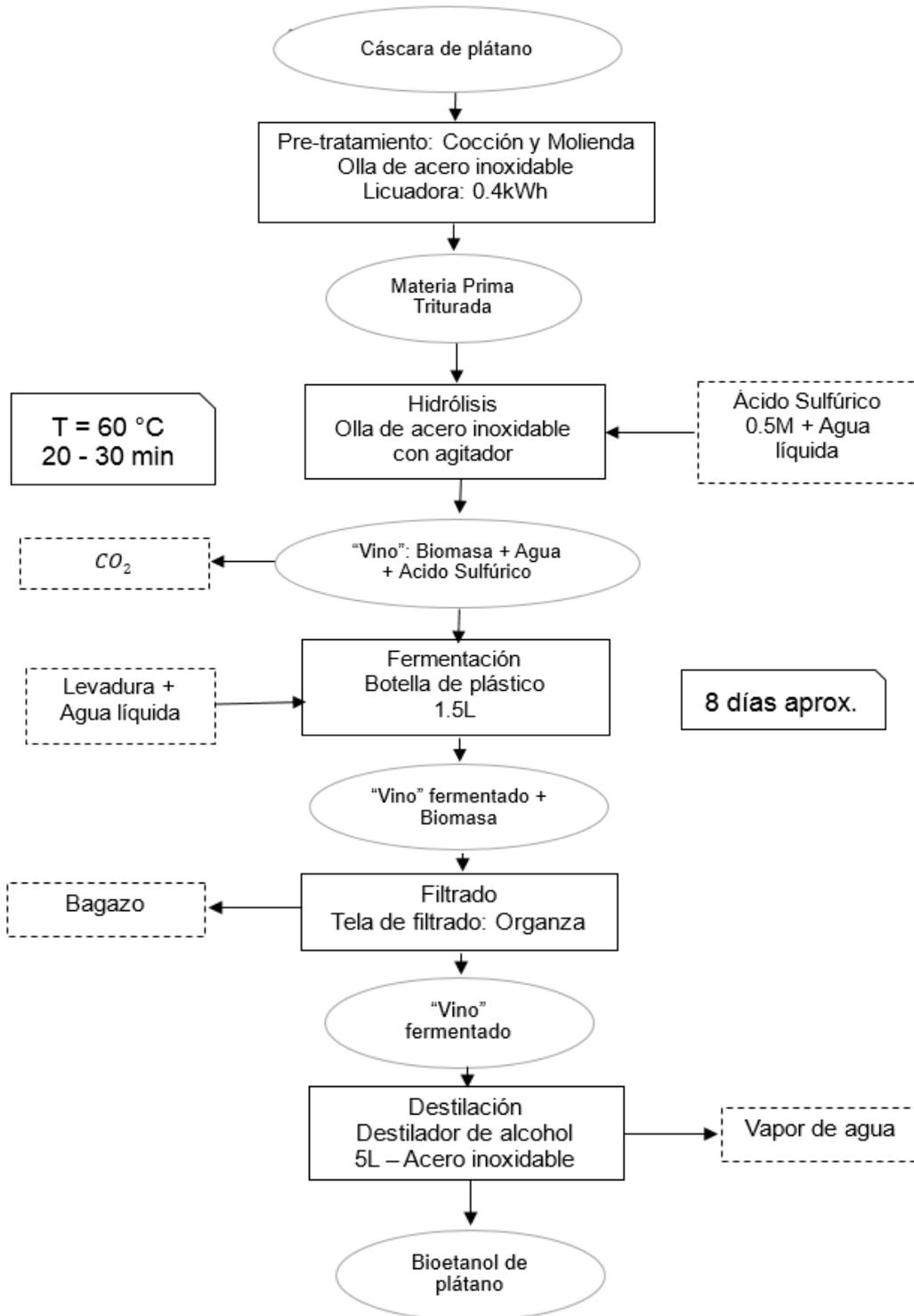


Figura 3.3: Rediseño de la línea de producción a escala de laboratorio

Fuente: Elaboración propia



3.3.1 Pruebas experimentales sin neutralización

Una vez redefinida la línea de producción, 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 cierta diferencia en la calidad y concentración del bioetanol al finalizar todos los procedimientos. Finalmente, se definieron los materiales e instrumentos requeridos para realizar los experimentos.

Siguiendo los procedimientos descritos en la *Figura 3.3* y, teniendo las siguientes variables como variables de control preestablecidas se obtuvieron estas mediciones:

- El peso de cada plátano usado y el peso de la cáscara de plátano.

Tabla 3.5: Pesos del plátano tipo bellaco

Pesos del plátano Tipo bellaco						
N° de plátano	Plátano verde			Plátano maduro		
	Peso (kg)		Porcentaje de cáscara (%)	Peso (kg)		Porcentaje de cáscara (%)
	Peso Total	Peso cáscara		Peso Total	Peso cáscara	
1	0.16	0.06	37.50	0.18	0.08	44.44
2	0.17	0.07	41.18	0.175	0.07	40.00
3	0.15	0.08	53.33	0.15	0.07	46.67
4	0.18	0.07	38.89	0.145	0.07	48.28
5	-	-	-	0.15	0.07	46.67
Promedio	0.17	0.07	42.42	0.16	0.072	45

Fuente: Elaboración propia

- El tiempo de cocción de las cáscaras de plátano verde fue de 8 minutos 12 segundos y el tiempo de las cáscaras de plátano maduro fue de 9 minutos 13 segundos.
- El pH y los °Brix de las muestras antes de la hidrólisis.

Tabla 3.6: Resultado de pH y °Brix de las muestras antes de la Hidrólisis

Muestras antes de la Hidrólisis				
Número de 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

- El agua añadida en la hidrólisis, la cantidad de ácido sulfúrico añadido en la hidrólisis, el tiempo de hidrólisis.



Tabla 3.7: Hidrólisis para la cáscara de plátano tipo bellaco

Hidrólisis para la cáscara de plátano tipo bellaco		
Variables de Control	Plátano verde	Plátano maduro
Cáscara procesada (kg)	0.07	0.072
Agua (mL)	400	600
Tiempo hidrólisis (min)	27.82	23
H ₂ SO ₄ 0,5M (mL)	330	440
Temperatura (°C)	60	60

Fuente: Elaboración propia

- El pH y los grados Brix de las muestras después de la hidrólisis.

Tabla 3.8: Resultado de pH y °Brix de las muestras después de la Hidrólisis

Muestras después de Hidrólisis				
Número de 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

- El tiempo de activación de la levadura, el pH y los °Brix de las muestras después de la hidrólisis mezclada con la levadura activada.

Tabla 3.9: Activación de la levadura de mezcla para la Fermentación

Activación de la levadura			
Descripción	Cáscara de plátano verde	Cáscara de plátano maduro	Unidades
	Cantidad	Cantidad	
Levadura	4	4	g.
Azúcar	4	4	g.
Agua	50	50	mL
Tiempo de activación	10	25	min
pH	1	1	-
°Brix	4.1	3.2	kg de sólidos solubles / kg de solución

Fuente: Elaboración propia



3.4.1.1 Control de la Fermentación

El proceso de fermentación se monitorea diariamente tomando 5 muestras para medir el *pH* y los °Brix. A continuación, se mostrarán las mediciones realizadas.

Tabla 3.10: Mediciones de pH y °Brix durante la Fermentación del Plátano tipo Bellaco

Mediciones de pH y °Brix durante la Fermentación del Plátano tipo Bellaco					
Día	N° de Prueba	Cáscaras de plátano maduro		Cáscaras de plátano verde	
		pH	°Brix	pH	°Brix
1	1	1	3	1	4
	2	1	3.1	1	4.1
	3	1	3.1	1	4.1
	4	1	3.1	1	4
	5	1	3.1	1	4.1
2	1	1	3.1	1	4.1
	2	1	3	1	4.1
	3	1	3.1	1	4.1
	4	1	3.1	1	4.1
	5	1	3.1	1	4
3	1	1	3.1	1	4
	2	1	3.1	1	4
	3	1	3	1	4
	4	1	3	1	4
	5	1	3	1	4
4	1	1	3	1	3.9
	2	1	3	1	3.9
	3	1	3	1	3.9
	4	1	3	1	3.9
	5	1	3	1	3.9
5	1	1	2.9	1	3.8
	2	1	2.9	1	3.8
	3	1	2.9	1	3.8
	4	1	2.9	1	3.8
	5	1	2.9	1	3.8
6	1	1	2.4	1	3.7
	2	1	2.4	1	3.7
	3	1	2.4	1	3.7
	4	1	2.4	1	3.7
	5	1	2.4	1	3.7
7	1	1	2.3	1	3.5
	2	1	2.3	1	3.5
	3	1	2.3	1	3.5
	4	1	2.3	1	3.5
	5	1	2.3	1	3.5



Mediciones de pH y °Brix durante la Fermentación del Plátano tipo Bellaco					
Día	N° de Prueba	Cáscaras de plátano maduro		Cáscaras de plátano verde	
		pH	°Brix	pH	°Brix
8	1	1	2.2	1	3.2
	2	1	2.2	1	3.2
	3	1	2.2	1	3.2
	4	1	2.2	1	3.2
	5	1	2.2	1	3.2

Fuente: Elaboración propia

En la *Figura 3.4* se puede observar que conforme pasan los días, los °Brix han ido disminuyendo, de 3. 1° a 2. 2° aproximadamente. Esto significa que la cantidad de azúcares (glucosa) en la solución, aunque muy poco, ha ido disminuyendo convirtiéndose en alcohol. El pH se mantiene constante en 1; por lo tanto, sigue el medio sigue siendo ácido (debido al ácido sulfúrico).

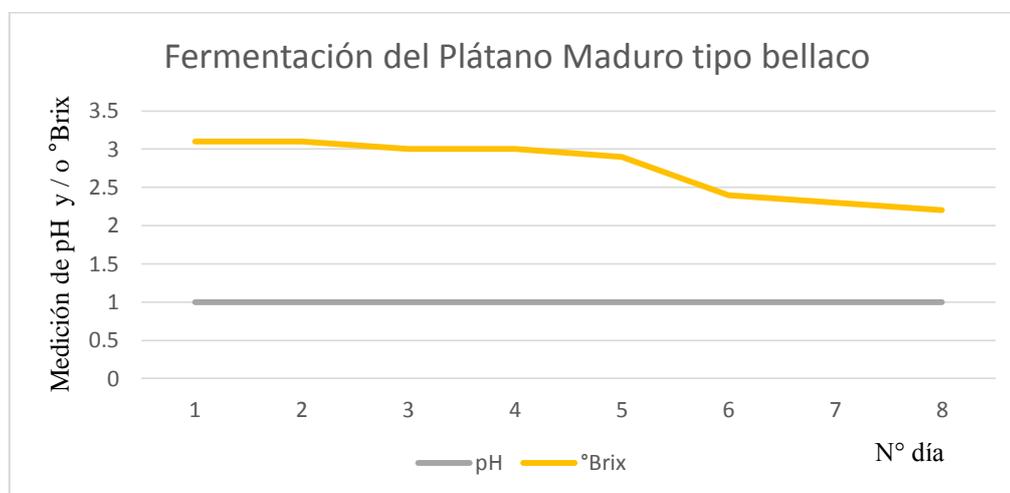


Figura 3.4: Mediciones de pH y °Brix durante la Fermentación de la Muestra de Plátano Maduro tipo Bellaco

Fuente: Elaboración propia

En la *Figura 3.5* se puede observar que conforme han pasado los días, los °Brix han ido disminuyendo, de 4. 1° a 3. 2° aproximadamente. Esto significa que la cantidad de azúcares (glucosa) 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 (debido al ácido sulfúrico).

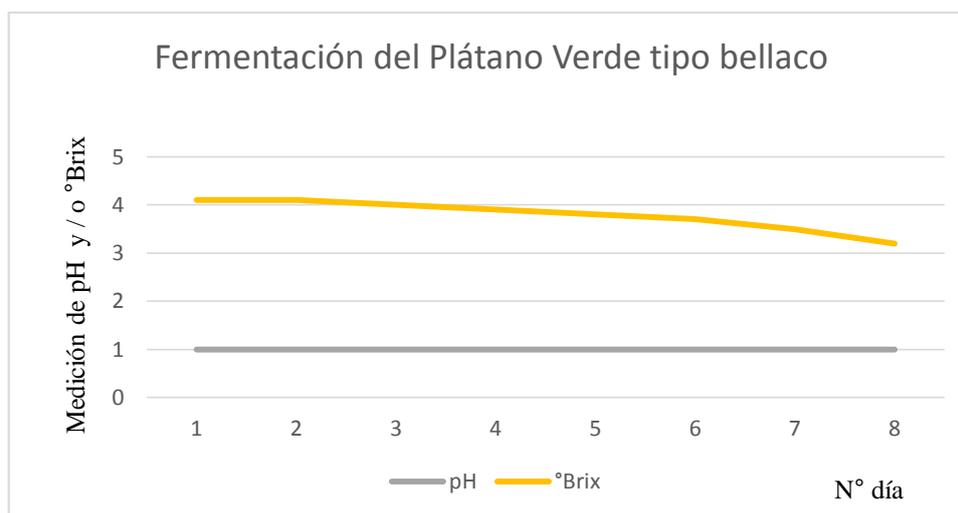


Figura 3.5: Mediciones de pH y °Brix durante la Fermentación de la Muestra de Plátano Verde tipo Bellaco

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.

Tabla 3.11: Medición del Grado Alcohólico en las muestras

Medición del Grado Alcohólico						
Tipo de cáscara de plátano	Lectura del Alcoholímetro (Grados)	Cantidad de vino filtrado (mL)	Cantidad de Destilado (mL)	Solución Total (mL)	Pureza de 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

3.3.2 Pruebas experimentales con neutralización

Para este tipo de prueba experimental se sigue el mismo procedimiento descrito en la *Figura 3.3* con la única salvedad que, antes del proceso unitario de Fermentación y para neutralizar el medio ácido en el que se llevará a cabo la adición de la levadura, se deberá añadirse a la solución una base; como por ejemplo, bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$) alcanzando un *pH* que esté entre 5 y 6.

Se definieron las siguientes variables como variables de control preestablecidas y se obtuvieron estas mediciones:



- El peso de cada plátano usado y el peso de la cáscara de plátano.

Tabla 3.12: Pesos del plátano tipo bellaco

Pesos del plátano Tipo bellaco			
N° de plátano	Plátano verde		
	Peso (kg)		Porcentaje de cáscara (%)
	Peso Total	Peso cáscara	
1	0.35	0.16	45.71
2	0.36	0.16	44.44
3	0.38	0.17	44.74
4	0.38	0.18	47.37
5	0.35	0.17	48.57
Promedio	1.82	0.84	46.15

Fuente: Elaboración propia

- El tiempo de cocción de las cáscaras de plátano verde fue de 9 minutos 31 segundos.
- El pH y los °Brix de las muestras antes de la hidrólisis.

Tabla 3.13: Resultado de pH y °Brix de las muestras antes de la Hidrólisis

Muestra antes de Hidrólisis		
Número de 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

- El agua añadida en la hidrólisis, la cantidad de ácido sulfúrico añadido en la hidrólisis, el tiempo de hidrólisis.



Bioetanol de Plátano

Tabla 3.14: Hidrólisis para la cáscara de plátano tipo bellaco

Hidrólisis para la cáscara de plátano tipo bellaco	
VARIABLES DE CONTROL	Plátano verde
Cáscara procesada (kg)	0.84
Agua (mL)	200
Tiempo hidrólisis (min)	164
H ₂ SO ₄ 0,5M (mL)	250
Temperatura (°C)	60

Fuente: Elaboración propia

- El pH y los grados Brix de las muestras durante la hidrólisis.

Tabla 3.15: Resultado de pH y °Brix de las muestras durante la Hidrólisis

Mediciones durante la hidrólisis			
Nº 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.
- El tiempo de activación de la levadura, el pH y los °Brix de las muestras después de la hidrólisis mezclada con la levadura activada y el bicarbonato de sodio.

Tabla 3.16: Activación de la levadura de mezcla para la Fermentación

Activación de la levadura		
Descripción	Cáscara de plátano verde	Unidades
	Cantidad	
Levadura	4	g.
Temperatura de activación	40	°C
Azúcar	4	g.
Agua	50	mL
Tiempo de activación	25	min
pH	5.5	-
°Brix	5.6	kg de sólidos solubles / kg de solución

Fuente: Elaboración propia

3.4.2.1 Control de la Fermentación

El proceso de fermentación se monitorea diariamente tomando 5 muestras para medir el pH y los °Brix. A continuación, se mostrarán las mediciones realizadas.

Tabla 3.17: Mediciones de pH y °Brix durante la Fermentación del Plátano tipo Bellaco

Mediciones de pH y °Brix durante la Fermentación del Plátano tipo Bellaco			
Día	N° de Prueba	Cáscaras de plátano verde	
		pH	°Brix
5/10/2016	1	5.5	5.2
	2	5.5	5.2
	3	5.5	5.1
	4	5.5	5.1
	5	5.5	5.1
6/10/2016	1	5.5	4.8
	2	5.5	4.8
	3	5.5	4.7
	4	5.5	4.7
	5	5.5	4.7
7/10/2016	1	5.5	4



Bioetanol de Plátano

<i>Mediciones de pH y °Brix durante la Fermentación del Plátano tipo Bellaco</i>			
Día	N° de Prueba	Cáscaras de plátano verde	
		pH	°Brix
	2	5.5	4
	3	5.5	4
	4	5.5	4
	5	5.5	4
8/10/2016	1	5.5	3.4
	2	5.5	3.4
	3	5.5	3.4
	4	5.5	3.4
	5	5.5	3.4
9/10/2016	1	5.5	3.2
	2	5.5	3.2
	3	5.5	3.2
	4	5.5	3.2
	5	5.5	3.2
10/10/2016	1	5.5	3.2
	2	5.5	3.2
	3	5.5	3.2
	4	5.5	3.2
	5	5.5	3.2
11/10/2016	1	5.5	2.2
	2	5.5	2.2
	3	5.5	2.2
	4	5.5	2.2
	5	5.5	2.2
12/10/2016	1	5.5	2.2
	2	5.5	2.2
	3	5.5	2.1
	4	5.5	2.1
	5	5.5	2.1

Fuente: Elaboración propia

En la *Figura 3.6* se puede observar que conforme pasan los días, los °Brix han ido disminuyendo, de 5. 4° a 2. 1° aproximadamente. Esto significa que la cantidad de azúcares (glucosa) en la solución, ha ido disminuyendo convirtiéndose en alcohol. Estos resultados muestran una gran mejora respecto de las pruebas experimentales sin neutralización; ya que, la variación de los °Brix finales pasan de 0.9 a 3.3. El pH se mantiene constante en 5.5; por lo tanto, sigue el medio sigue siendo relativamente ácido (debido al ácido sulfúrico).

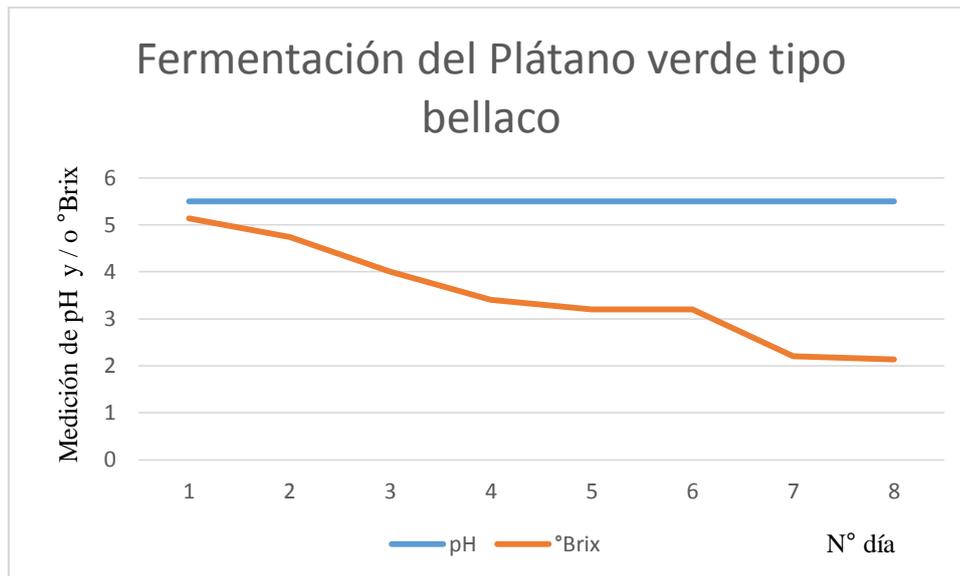


Figura 3.6: Mediciones de pH y °Brix durante la Fermentación de la Muestra de Plátano verde tipo Bellaco

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 primera destilación se realizó de una muestra de 500 mL de la fermentación de la cáscara, la cual duró 2 horas, obteniéndose 99 mL de destilado producto de la cáscara de plátano verde con un contenido de 63.33% de alcohol. Posteriormente se realizaron 3 destilaciones más para alcanzar una pureza de 95% de alcohol.

Tabla 3.18: Medición del Grado Alcohólico en la muestra

Medición del Grado Alcohólico en la primera destilación						
Tipo de cáscara de plátano	Lectura del Alcoholímetro (Grados)	Cantidad de vino filtrado (mL)	Cantidad de Destilado (mL)	Solución Total (mL)	Pureza de alcohol (%)	Grado alcohólico del mosto
Verde	0.33	500	99	190	63.33	12.54

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 3.19: Medición del Grado Alcohólico en las destilaciones

Medición del Grado Alcohólico en las destilaciones				
N° de destilación	Lectura del Alcoholímetro (Grados)	Cantidad de Destilado (mL)	Solución Total (mL)	Pureza de 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

3.4 Conclusiones de la experimentación

Tras realizar las pruebas experimentales sin neutralización y, observar los resultados de la destilación de cada una de ellas podemos afirmar que:

- El grado alcohólico es bajo en la primera destilación. Los grados bajos de alcohol obtenidos en la destilación son producto de que la fermentación se desarrolle en medio ácido ($pH = 1$), generando que la levadura no acelere la descomposición de los azúcares de la materia prima.
- Los °Brix dependen de la cantidad procesada de cáscara de plátano; es decir, mientras más materia se procese y menos agua se añada durante la mezcla, más se elevarán los °Brix.
- La diferencia en la producción de bioetanol a base de cáscara de plátano tipo bellaco verde y maduro no es significativa. En las gráficas del control de la fermentación se puede observar que la disminución de °Brix de la cáscara de plátano maduro se convierte más rápido en alcohol que la cáscara de plátano verde pero que, al destilar, se obtiene mayor concentración de alcohol en la cáscara de plátano verde.

Tras realizar las pruebas experimentales con neutralización y, observar los resultados de cada una de las destilaciones podemos afirmar que:

- Al neutralizar el ácido sulfúrico con bicarbonato de sodio se eleva el pH hasta 5.5, lo cual permite que la levadura se desarrolle y funcione como facilitadora en la conversión de glucosa en alcohol durante la fermentación.
- El grado alcohólico aumenta considerablemente en la primera destilación (63.33%). Además, el tiempo de este proceso disminuye conforme aumenta el número de destilaciones realizadas, así como también, la concentración del grado alcohólico del destilado.
- En la gráfica de control de la fermentación se puede observar que la disminución de °Brix de la cáscara de plátano verde se convierte más rápido y que al destilar, se obtiene mayor concentración de alcohol desde la primera destilación.

Como conclusiones generales se puede afirmar que los resultados mejoran notablemente al neutralizar el ácido sulfúrico con bicarbonato de sodio; puesto que, evita que la levadura muera en un medio ácido agresivo como en el que se encontraba antes y que, mientras más destilaciones se hagan mayor concentración de alcohol se obtendrá en el destilado, teniendo en cuenta que, mediante este proceso, sólo se puede llegar hasta 96.7% de pureza.



Capítulo 4

Diseño de línea para la industria chiflera

4.1 Ingeniería de procesos

4.1.1 Proceso de elaboración de bioetanol a partir de cáscara de plátano

El resultado de la investigación previa es un prototipo de bioetanol a partir de cáscara de plátano verde con una pureza de 95% de alcohol, incoloro, libre de impurezas y con un ligero aroma a plátano. A continuación, se detalla el proceso de elaboración de dicho prototipo:

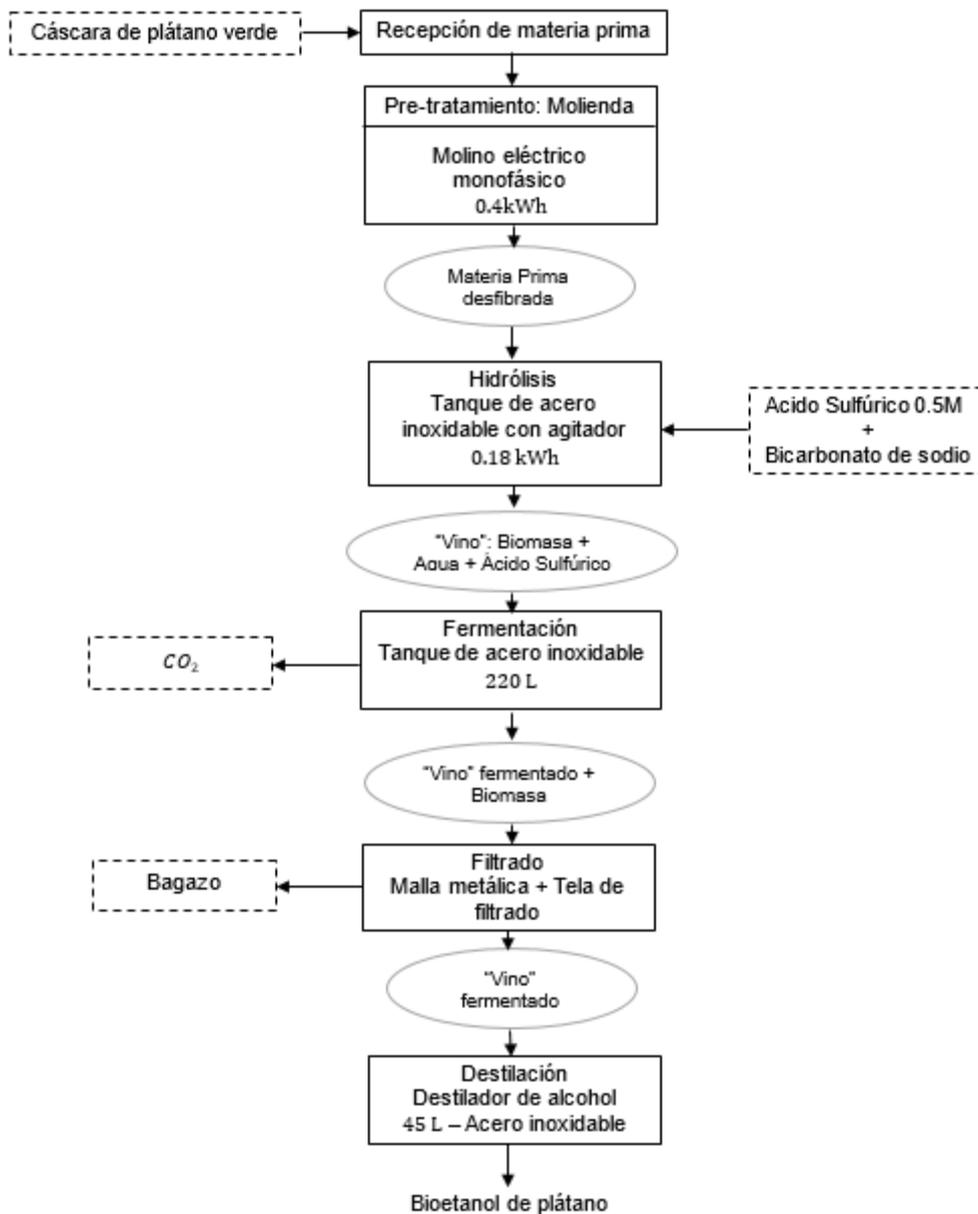


Figura 4.1: Diagrama de Flujo de la Línea de producción de Bioetanol a base de cáscara de plátano verde

Fuente: Elaboración propia



Bioetanol de Plátano

- **Recepción de materia prima:** La materia prima será almacenada en recipientes plásticos, recepcionada y transportada por los operarios. Se debe realizar una inspección de las condiciones de limpieza de la materia prima y registrar las características de color y peso.
- **Molienda:** La materia prima debe ser sometida a un proceso de molienda o desfibración, de este modo se logra extraer el agua, almidón y glucosa de la materia prima. El objetivo de este proceso es facilitar las reacciones químicas en el proceso de hidrólisis. Se utilizará un molino monofásico eléctrico semi-industrial marca “CORONA”.
- **Hidrólisis:** El proceso de hidrólisis consiste en agregar a la materia prima molida un ácido, en nuestro caso ácido sulfúrico, con el objetivo de convertir el almidón, fructosa y sacarosa en glucosa, que finalmente se convertirá en etanol. Se utilizará un tanque de hidrólisis de acero inoxidable, el cual contará con un mezclador eléctrico, una resistencia de inmersión y un panel de control de temperatura.
- **Fermentación:** En este proceso la materia prima hidrolizada pasa a la etapa de fermentación con el objetivo de convertir la glucosa obtenida en etanol. La fermentación debe ser llevada de manera hermética y controlando una variable crítica denominada °Brix. El proceso se llevará a cabo en un tanque de fermentación hermético y de acero inoxidable.
- **Filtrado:** El proceso de filtrado consiste en hacer pasar la mezcla fermentada por un filtro constituido por una malla metálica y una tela de filtrado, de ese modo filtrar las partículas sólidas de gran tamaño y de tamaño menor respectivamente. El objetivo de esta operación es obtener una mezcla de etanol y agua sin impurezas, necesaria para el proceso de destilado.
- **Destilación:** El proceso final de la línea consiste en la destilación del “vino” o mezcla, previamente fermentada y filtrada a partir de procesos de evaporación y condensación del alcohol. La condición necesaria para el proceso es una temperatura de 78°C (temperatura de ebullición del etanol), de este modo obtener la mayor cantidad de etanol de 95% de pureza. Para el proceso de destilación se usará un destilador semi-industrial para destilado de alcoholes.



4.1.2 Capacidad de línea

La capacidad de la línea de producción está estimada en 14000 L de bioetanol anuales. Esta capacidad está basada en la demanda promedio de bioetanol que una empresa dedicada a la fabricación de chifles necesitaría y en la cantidad de materia prima disponible.

Tabla 4.1 Demanda de energía por la empresa chiflera - Butano

Combustible	Demanda diaria	Demanda anual	Poder cal. (Kcal/kg)	Q total (Kcal)
Butano	15 kg	4680 kg	11739	54 938 520

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.2 Volumen necesario de bioetanol

Combustible	Poder cal. (kcal/kg)	Q necesario (Kcal)	Masa EtoH (kg)	Volumen EtoH (m ³)
Etanol	7103.25	54 938 520	7734.3	9.8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.3 Cantidad de plátanos necesarios

Masa Etanol (Kg)	Kg solución	kg MP	Nº Plátanos
7734.3	77342.79	25780.93	64452.33

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.4 Oferta de materia prima

Oferta de MP	Peso (kg)	% utilizado	% cáscara	MP (kg/día)	MP (kg/año)
1200	720	0.6	0.4	288	103 680

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Especificación de maquinarias y equipos

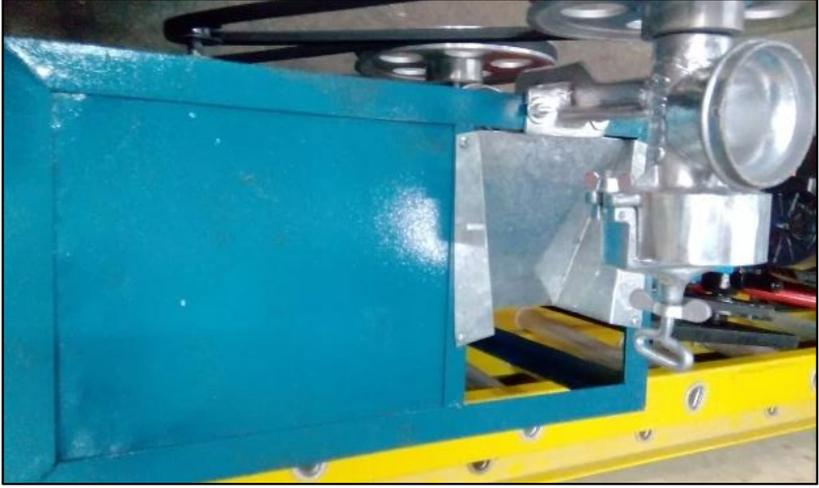
4.1.3.1 Molienda

El tratamiento preliminar es usualmente uno de los más importantes, por ello es de gran importancia elegir el más adecuado mediante un análisis técnico y económico de los mismos, el cual consiste en una búsqueda de información acerca de las especificaciones técnicas y precios de los equipos y maquinaria que más se acomodan a la propuesta de diseño de línea anteriormente planteada.

Después de haber realizado el análisis correspondiente, se ha escogido como tratamiento preliminar la operación de molienda, para la cual se ha seleccionado la siguiente maquinaria:



Tabla 4.5 Especificaciones del molino eléctrico monofásico

Molino Eléctrico monofásico	
Funciones	Desfibrado y triturado de la materia prima (cáscara de plátano verde).
Datos	<ul style="list-style-type: none">• Capacidad: 2.9 Kg/min• Potencia: 0.5 HP• Energía consumida: 0.4kWh• Costo: S/. 500• Cantidad: 1
Equipamiento	<ul style="list-style-type: none">• Depósitos de plástico para el transporte de la materia prima.• Guantes de tela
Detalles	Molino eléctrico monofásico semi-industrial marca “CORONA”
Imagen	

*Figura 4.2 Molino eléctrico monofásico
Fuente: Mercado Libre Perú (2016)*

Fuente: Elaboración propia

4.1.3.2 Hidrólisis ácida

Después de haber sometido la materia prima al pretratamiento para reducir la cristalinidad de la celulosa y descomponer la estructura de la biomasa, se lleva a cabo la hidrólisis de la materia prima, cáscara de plátano verde bellaco, con el objetivo de convertir la celulosa a glucosa.

Después de realizado el análisis económico se ha escogido la hidrólisis ácida puesto que el costo de las enzimas es muy alto y cae fuera del presupuesto del proyecto.

Para la hidrólisis se ha escogido el siguiente equipo: Tanque de hidrólisis con agitador, resistencia de inmersión y termostato.



Tabla 4.6 Especificaciones del tanque de hidrólisis

Tanque con agitador	
Funciones	Mezclar por medio de agitación la mezcla de biomasa y ácido sulfúrico.
Datos	<ul style="list-style-type: none"> • Material: Acero inoxidable • Capacidad: 220 L • Costo: S/. 6000 • Potencia: 0.1 HP – (60-500 rpm) • Cantidad: 1
Equipamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Depósitos de plástico para el transporte de la materia prima. • Guantes de nitrilo.
Detalles	Tanque de acero inoxidable con agitador eléctrico.
Imagen	
	<p><i>Figura 4.3 Tanque de hidrólisis</i> <i>Fuente: Mercado Libre Perú (2016)</i></p>

Fuente: Elaboración propia



Tabla 4.7 Especificaciones de la resistencia de inmersión y termostato

Resistencia de inmersión y termostato	
Funciones	Calentar y controlar la temperatura de la mezcla en 60°C.
Datos	<ul style="list-style-type: none">• Material: Cobre niquelado• Potencia: 2kW• Voltaje de trabajo: 220V• Precio: S/. 70• Cantidad: 1
Detalles	Resistencia eléctrica de inmersión y termostato para el control y manejo de la temperatura de mezcla.
Imagen	

Figura 4.4 Resistencia de inmersión

Fuente: Mercado Libre Perú

Fuente: Elaboración propia



Tabla 4.8 Especificaciones del equipo de control

Equipo de control	
Funciones	Permite la inspección y el control de la temperatura y velocidad de mezcla.
Datos	<ul style="list-style-type: none"> • Variador de tensión monofásico 50-60 Hz • Precio: S/. 200 • Cantidad: 1
Detalles	Tablero de control para temperatura y velocidad de la mezcla.
Imagen	
	<p><i>Figura 4.5 Panel de control de temperatura</i> <i>Fuente: Mercado Libre Perú. (2016)</i></p>

Fuente: Elaboración propia

4.1.3.3 Fermentación

El paso siguiente al proceso de hidrólisis es la fermentación. El proceso unitario de fermentación consiste en la conversión de los azúcares del jugo (producto de la hidrólisis) en alcohol.

Una vez terminada la fermentación, la mayoría de los azúcares se habrán convertido en etanol y CO₂.

Para la fermentación se ha escogido el siguiente equipo:



Tabla 4.9 Especificaciones del tanque de fermentación

Tanque de fermentación	
Funciones	Fermentar de manera anaeróbica la mezcla de biomasa y ácido sulfúrico.
Datos	<ul style="list-style-type: none">• Material: Acero inoxidable• Capacidad: 220L• Precio: S/.800• Cantidad: 1
Equipamiento	<ul style="list-style-type: none">• Depósitos de plástico para el transporte del “vino” (mezcla de biomasa y ácido sulfúrico).• Guantes de nitrilo.• Cubre boca
Detalles	Tanque de fermentación con cierre hermético para fermentación anaeróbica.
Imagen	

Figura 4.6 Tanque de fermentación
Fuente: Metalúrgica Vezeta (2016)

Fuente: Elaboración propia

4.1.3.4 Filtrado

Para el proceso de filtrado se usará una malla metálica o tamiz industrial junto con una tela de filtrado. Los tamices industriales son construidos con precisión intercalando la malla metálica y la tela de filtrado entre dos marcos formados por troquelado amortiguado. Por lo que, se filtrará el bagazo producto de la fermentación y se dará paso al vino (solución de etanol y agua) hacia el proceso de destilación.



Tabla 4.10 Especificaciones del filtro

Características del tamiz	
Funciones	Filtrar la biomasa de mayor volumen y el vino fermentado como entrada para el proceso de destilado.
Datos	<ul style="list-style-type: none"> • Material: Acero Inoxidable • Diámetro: 1.5 pulgadas • Precio: S/. 300 • Cantidad: 1
Detalles	Conjunto de malla metálica y tela de filtrado para filtrado de mezclas sólido-líquido.
Imagen	 <p style="text-align: center;"> <i>Figura 4.7 Filtro metálico</i> <i>Fuente: Mercado Libre Perú (2016)</i> </p>

Fuente: Elaboración propia

4.1.3.5 Destilación

La destilación es una operación por la cual se separa el vino en sus componentes, obteniendo finalmente: etanol, agua y vinaza.

Para la destilación se usará un dispositivo de destilación de vino o destilador de alcohol semi-industrial con caldera incluida.



Tabla 4.11 Especificaciones del destilador de alcohol

Destilador de alcohol semi-industrial	
Funciones	Destilado del vino fermentado en etanol.
Datos	<ul style="list-style-type: none">• Material: Acero Inoxidable• Capacidad: 45L• Diámetro: 70 cm aprox.• Altura de la caldera: 30 cm aprox.• Cantidad: 1
Equipamiento	<ul style="list-style-type: none">• Depósitos de plástico para el transporte del “vino” fermentado (mezcla de biomasa y ácido sulfúrico).• Guantes de nitrilo.• Cubre boca
Detalles	Destilador semi-industrial para destilado de alcoholes.
Imagen	

Figura 4.8 Destilador de alcohol
Fuente: Aliexpress (2016)

Fuente: Elaboración propia

4.2 Manual de Organización y Funciones: MOF

El Manual de Organización y Funciones, es un documento normativo que describe las funciones específicas a nivel de cargo o puesto de trabajo de los trabajadores de una empresa. Además, describe el poder y autoridad que posee cada puesto de trabajo y el perfil de los trabajadores que los ocupan.



Este manual proporciona información a los servidores, directivos y funcionarios sobre sus funciones y ubicación dentro de la estructura general de la organización al igual que su dependencia jerárquica y coordinación para el cumplimiento de funciones.

En la *Figura 4.9* se muestra una propuesta de organigrama general que una empresa de la industria chiflera tendría si adoptara la producción de bioetanol dentro de sus operaciones, la cual está conformada por el gerente general en el nivel jerárquico más alto, seguido del jefe de producción quien es responsable de los operarios que ocupan el cargo de operarios de máquinas.

Cabe resaltar que este organigrama es una opción para las empresas chifleras, por lo que, si algún interesado externo deseara utilizar el proyecto de manera independiente, el uso de este organigrama no sería necesario.

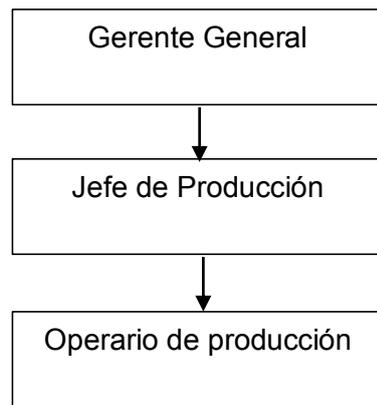


Figura 4.9 Organigrama de la empresa

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se detalla el Manual de Organización y Funciones.



Bioetanol de Plátano

	MANUAL DE ORGANIZACIÓN Y FUNCIONES	
	JEFE DE PRODUCCIÓN	CÓDIGO: MOF – J1

NOMBRE DEL PUESTO: Jefe de producción	
LÍNEA DE AUTORIDAD Y SUBORDINACIÓN	Depende jerárquicamente de: Gerente General
	Ejerce Línea de Autoridad sobre: <ul style="list-style-type: none"> • Operarios de producción

MISIÓN DEL PUESTO	Organizar y dirigir las actividades y procesos involucrados en la producción de bioetanol a partir de cáscara de plátano, así como la determinación de las condiciones ideales de producción que permitan obtener el mejor beneficio para la empresa y debe supervisar las actividades que realizan los puestos sobre los que ejerce autoridad.
--------------------------	---

FUNCIONES PRINCIPALES	<ol style="list-style-type: none"> 1. Supervisa toda la transformación de la materia prima y material de almacenaje del producto terminado. 2. Coordina las labores del personal del turno. Controla la labor de los operarios en general. 3. Vela por el correcto funcionamiento de maquinarias y equipos. 4. Entrena y supervisa a cada trabajador encargado de algún proceso productivo durante el ejercicio de sus funciones. 5. Monitorea indicadores de control y puntos de control en los procesos. 6. Vela por la calidad del producto terminado (bioetanol). 7. Emite informes, analiza resultados, genera reportes de producción que respalden la toma de decisiones. 8. Cumple y hace cumplir los manuales de procesos y las buenas prácticas de manufactura. 9. Controla la seguridad, higiene y limpieza de la línea de producción. 10. Vela por el correcto funcionamiento de maquinarias y equipos.
------------------------------	--



PERFIL DEL PUESTO	Nivel Educativo:	Grado Académico:
	Técnico	Técnico
	Profesión / Ocupación:	
	Operario capacitado en procesos químicos	
	Especialización:	Conocimientos de Informática:
	Ninguna	Ninguno
	Conocimiento de Idiomas:	Conocimientos Especiales
	Ninguno	Ninguno
	Experiencia Laboral:	Experiencia Laboral en otros sectores:
	Trabajador de la empresa chiflera por más de 6 meses.	No es requisito fundamental
	Habilidades	
<ul style="list-style-type: none"> • Trabajo en equipo. • Capacidad física. 		



Bioetanol de Plátano

	MANUAL DE ORGANIZACIÓN Y FUNCIONES	
	OPERARIO DE PRODUCCIÓN	CÓDIGO: MOF – 01

NOMBRE DEL PUESTO: Operario de producción	
LÍNEA DE AUTORIDAD Y SUBORDINACIÓN	Depende jerárquicamente de: Jefe de producción
	Ejerce Línea de Autoridad sobre: <ul style="list-style-type: none"> • Ninguno

MISIÓN DEL PUESTO	Operar las distintas máquinas del proceso productivo de bioetanol y velar por el óptimo funcionamiento de la maquinaria.
--------------------------	--

FUNCIONES PRINCIPALES	<ol style="list-style-type: none"> 1. Llevar a cabo la molienda de la materia prima (cáscara de plátano verde). 2. Llevar a cabo el proceso de hidrólisis. 3. Llevar a cabo el proceso de fermentación. 4. Llevar a cabo el proceso de filtrado. 5. Llevar a cabo el proceso de destilación. 6. Transporte de la materia prima de cada una de las entradas y salidas de cada uno de los procesos. 7. Almacenamiento del bioetanol en galoneras y transporte a almacén.
------------------------------	---



PERFIL DEL PUESTO	Nivel Educativo:	Grado Académico:
	Secundaria	Ninguno
	Profesión / Ocupación:	
	Operario	
	Especialización:	Conocimientos de Informática:
	Ninguno	Ninguno
	Conocimiento de Idiomas:	Conocimientos Especiales
	Ninguno	Ninguno
	Experiencia Laboral:	Experiencia Laboral en otros sectores:
	Trabajador de la empresa chiflera por más de 6 meses.	No es requisito fundamental
Habilidades		
<ul style="list-style-type: none"> • Trabajo en equipo. • Capacidad física. 		

4.3 Manual de Procesos y Procedimientos: MAPRO

En el Manual de Procesos y Procedimientos se representarán los procesos involucrados en la producción de bioetanol a partir de cáscaras de plátano verde; así como también, las relaciones entre los recursos humanos que laboran en estos procesos. Dichas relaciones se indican mediante flechas y registros que representan flujos de información. A continuación, se describirán los procesos involucrados desde la recepción de la materia prima hasta el almacenaje en galoneras en el almacén de producto terminado. Adicionalmente, se incluirá el diagrama de flujo de cada proceso para una mejor comprensión del mismo.



Bioetanol de Plátano

	MANUAL DE PROCESOS Y PROCEDIMIENTOS	
	RECEPCIÓN DE MATERIA PRIMA	CÓDIGO: MP – 01

Definición:

Proceso mediante el cual se recepciona los lotes de cáscara de plátano verde que serán utilizados como materia prima para la producción de bioetanol.

Objetivo:

Mantener la seguridad de la planta, verificar que el producto tenga las condiciones adecuadas para el proceso y llevar un registro en peso del ingreso de la materia prima.

Área responsable:

Área de producción.

Requisitos:

- La materia prima debe estar limpia y no debe existir presencia de otros materiales, ya sean orgánicos o inorgánicos, como metales.
- Información de la materia prima: Color y peso aproximado.

Procedimiento:

La materia prima será recepcionada en envases plásticos (bateas), por parte de los operarios quienes se encargarán de revisar, por simple inspección, si la materia prima cumple con los requisitos de limpieza, a su vez, se registrará el color y el peso aproximado de la materia prima en un registro manual. Seguidamente, se informará al jefe de producción la recepción de la materia prima y se transportarán las bateas a una zona de almacenaje temporal.



Diagrama de flujo:

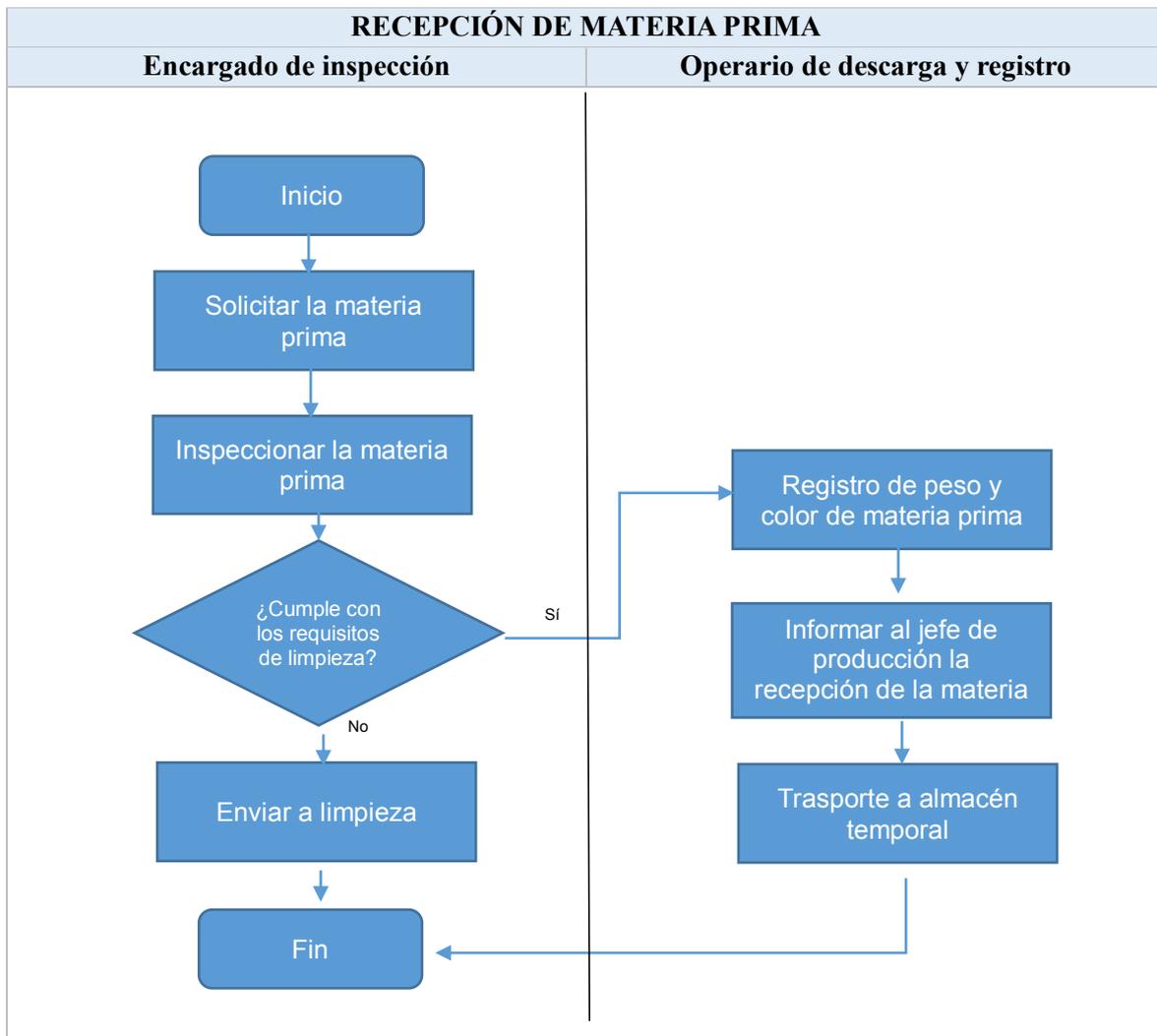


Figura 4.10 Diagrama de Flujo del procedimiento de Recepción de materia prima

Fuente: Elaboración propia



	MANUAL DE PROCESOS Y PROCEDIMIENTOS	
	MOLIENDA	CÓDIGO: MP – 02

Definición:

Proceso mediante el cual se realiza la molienda de la materia prima para su posterior entrada al proceso de hidrólisis.

Objetivo:

Busca mejorar la transformación de azúcares en el momento de la fermentación y evitar la degradación de carbohidratos.

Área responsable:

Área de producción

Requisitos:

- La materia prima debe estar limpia y no debe existir presencia de otros materiales ya sean orgánicos o inorgánicos, como metales.

Procedimiento:

Uno de los operarios deberá revisar las conexiones y encender el molino eléctrico, con ayuda de otro operario deberá colocar la cáscara de plátano en la entrada del molino evitando desborde y llevar a cabo la molienda de la materia prima que será usada cada día. La materia prima molida deberá ser recogida en recipientes plásticos (bateas), para posteriormente ser trasladadas al tanque de hidrólisis.

Por su parte, el jefe de producción deberá tomar los datos de las variables de control, tales como °Brix y pH de la materia prima molida.



Diagrama de flujo:

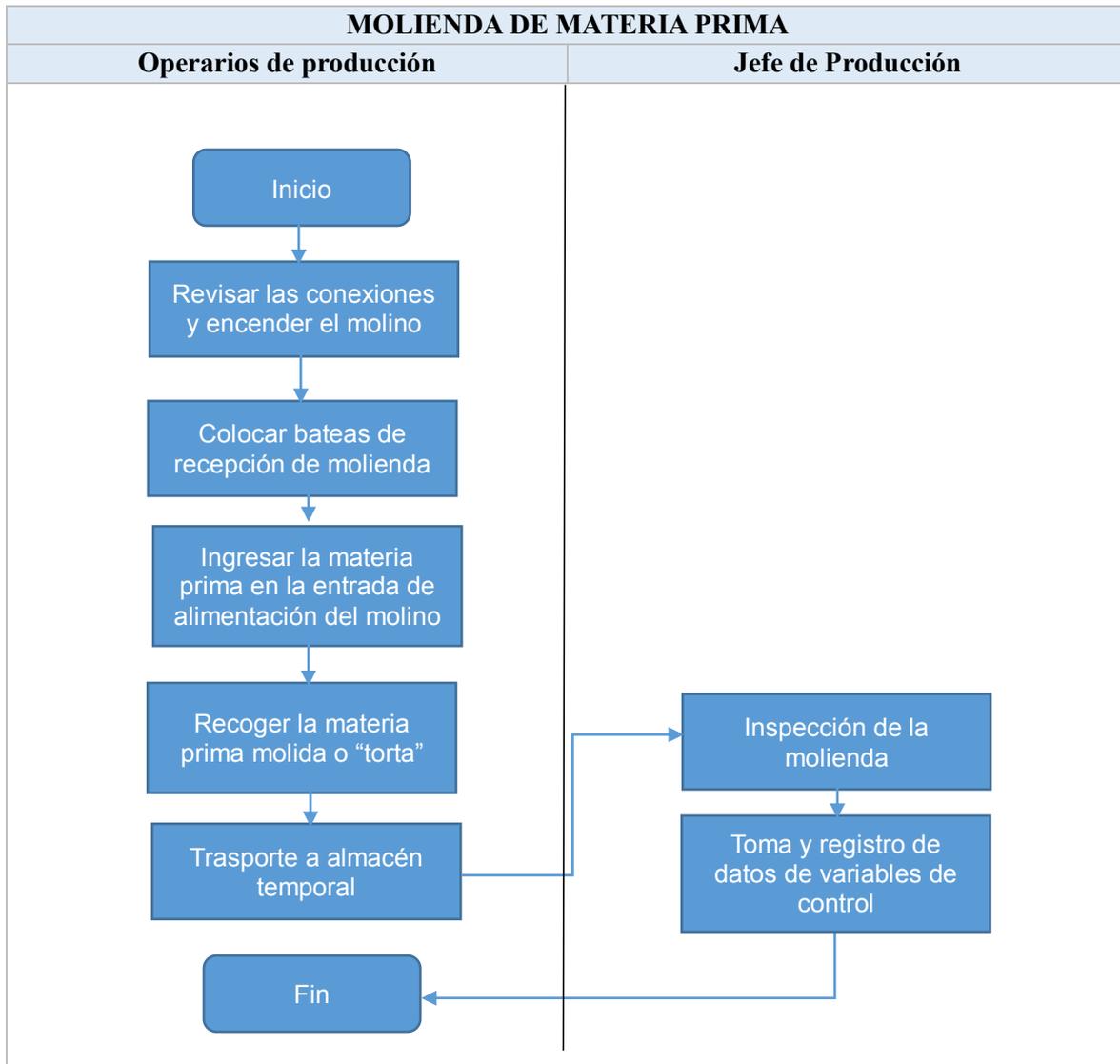


Figura 4.11 Diagrama de Flujo del procedimiento de Molienda de materia prima

Fuente: Elaboración propia



	MANUAL DE PROCESOS Y PROCEDIMIENTOS	
	HIDRÓLISIS ÁCIDA	CÓDIGO: MP – 03

Definición:

Proceso mediante el cual se realiza la hidrólisis de la materia prima, previamente molida, con uso de una solución de ácido sulfúrico 0,5 M (0,5 molar).

Objetivo:

Aumentar la cantidad de azúcares, a partir de la conversión del almidón, sacarosa y fructosa en glucosa.

Área responsable:

Área de producción

Requisitos:

- La temperatura de hidrólisis debe ser de $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- El pH durante la hidrólisis debe estar entre los valores de 2-3.

Procedimiento:

Los operarios deberán inspeccionar el buen estado del tanque de hidrólisis antes de iniciar las operaciones. Una vez verificado su buen estado, se procederá a colocar la materia prima molida dentro del tanque de hidrólisis; así mismo, se agregará la cantidad necesaria de ácido sulfúrico y bicarbonato de sodio para el proceso, según la cantidad de materia prima utilizada, finalmente se procederá a cerrar el tanque, encender el agitador eléctrico y fijar la temperatura en 60°C . Por otro lado, el jefe de producción deberá inspeccionar y controlar el pH y °Brix de la mezcla, así como también, la duración de todo el proceso de hidrólisis, una vez terminado se verificará los grados °Brix para validar la conversión de almidón en glucosa; si cumple se procederá a retirar la mezcla y transportarla a la siguiente fase de fermentación, si no cumple se deberá mantener la mezcla en hidrólisis por más tiempo.



Diagrama de flujo:

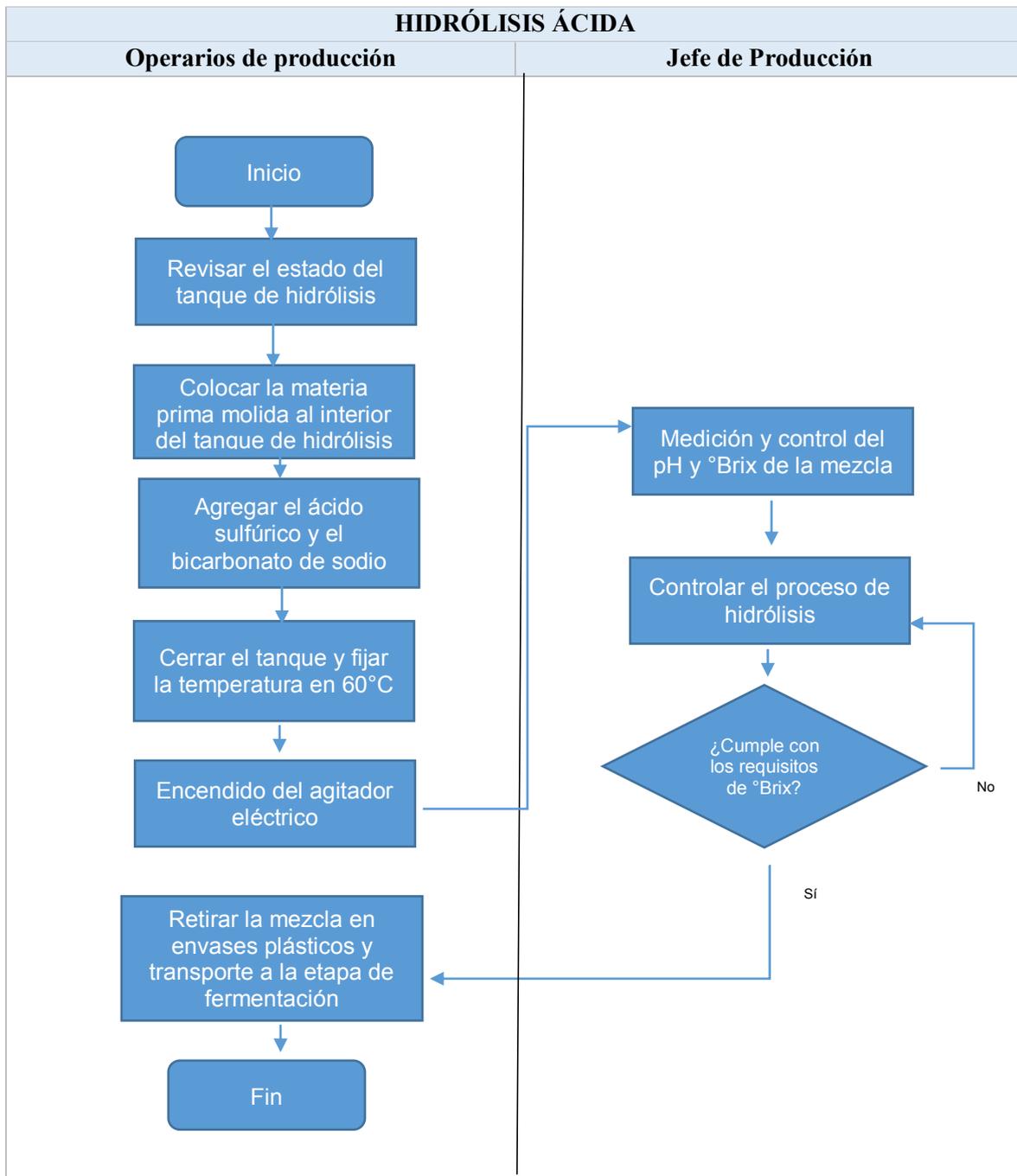


Figura 4.12 Diagrama de Flujo del procedimiento de Hidrólisis ácida

Fuente: Elaboración propia



Bioetanol de Plátano

	MANUAL DE PROCESOS Y PROCEDIMIENTOS	
	FERMENTACIÓN	CÓDIGO: MP – 04

Definición:

Proceso mediante el cual se realiza la fermentación de la mezcla de materia prima, agua y ácido sulfúrico, en un tanque de fermentación.

Objetivo:

Convertir la mayoría de los azúcares en bioetanol y CO_2 .

Área responsable:

Área de producción

Requisitos:

- La duración de la fermentación debe ser de 11h.

Procedimiento:

Los operarios deberán inspeccionar el buen estado del tanque de fermentación antes de iniciar las operaciones, una vez verificado su buen estado, se procederá a colocar la mezcla de biomasa y ácido sulfúrico dentro del tanque de fermentación. Por su parte, el jefe de producción debe medir los grados °Brix de la mezcla y registrarlos. Una vez registrado la muestra, el operario deberá agregar la levadura, mezclarla y cerrar herméticamente el tanque de fermentación.

Finalmente, el jefe de producción deberá controlar todo el proceso de fermentación, una vez terminado y cumpliendo con los requisitos necesarios de °Brix se procederá a retirar la mezcla en contenedores metálicos y transportados a la etapa de filtrado.



Diagrama de flujo:

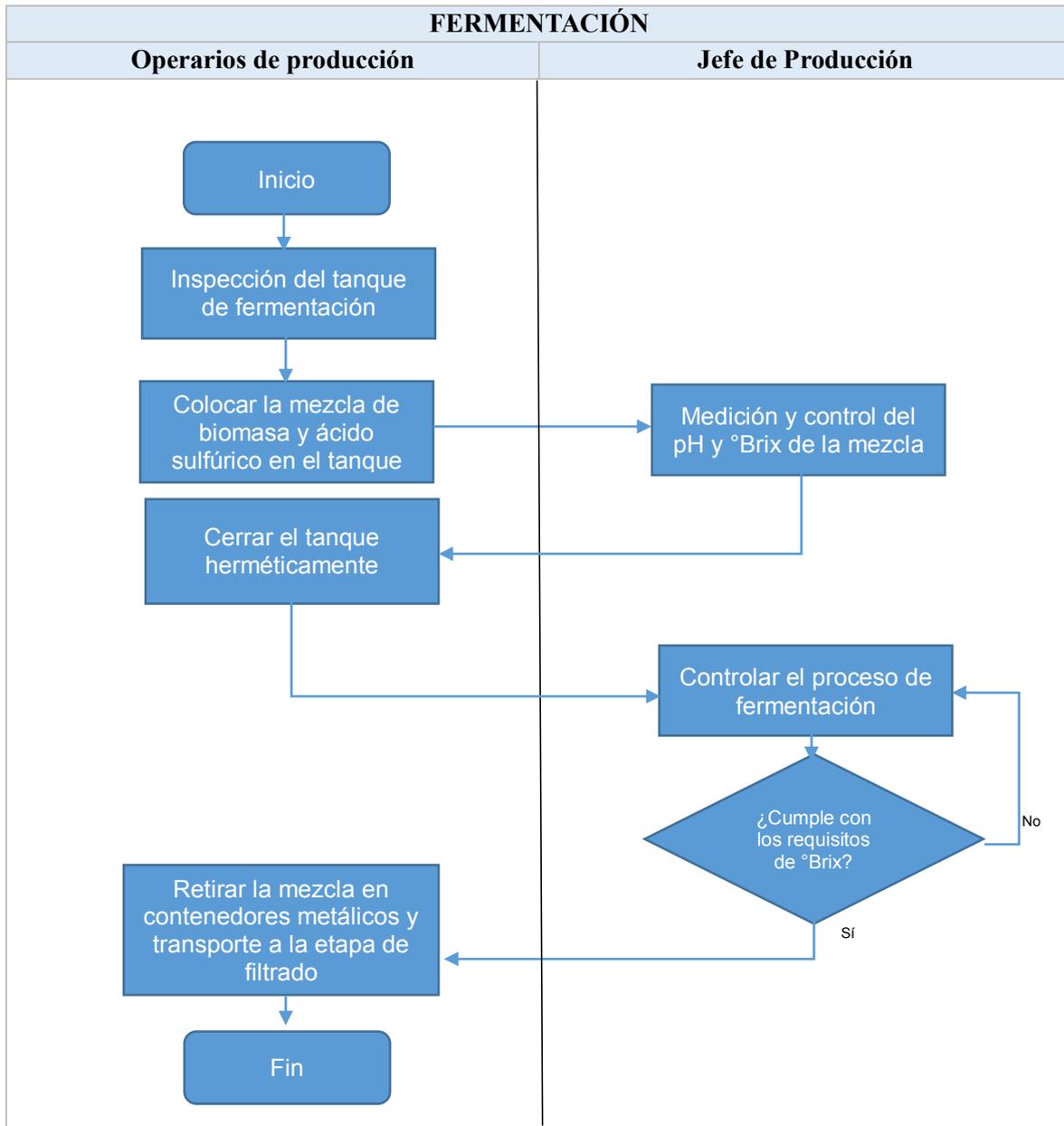


Figura 4.13 Diagrama de Flujo del procedimiento de Fermentación

Fuente: Elaboración propia



	MANUAL DE PROCESOS Y PROCEDIMIENTOS	
	FILTRADO	CÓDIGO: MP – 05

Definición:

Proceso mediante el cual se realiza el filtrado de la mezcla para la obtención del “vino” fermentado para su posterior destilado.

Objetivo:

Separar la biomasa (sólida) del vino fermentado (líquido) para su posterior destilación.

Área responsable:

Área de producción

Requisitos:

- El resultado del filtrado debe ser un líquido sin presencia de materia sólida de gran tamaño.

Procedimiento:

Los operarios deberán colocar la malla de filtrado en conjunto con la red metálica en la entrada de un contenedor metálico, verter la mezcla en el contenedor haciendo pasar la misma por el filtro. Por otro lado, el jefe de producción deberá verificar que no exista ningún material sólido de gran tamaño en la mezcla, si esta cumple con los requisitos se retirará el filtro y se transportará la mezcla filtrada hacia la etapa de destilado. Si no cumple se debe filtrar nuevamente.



Diagrama de flujo:

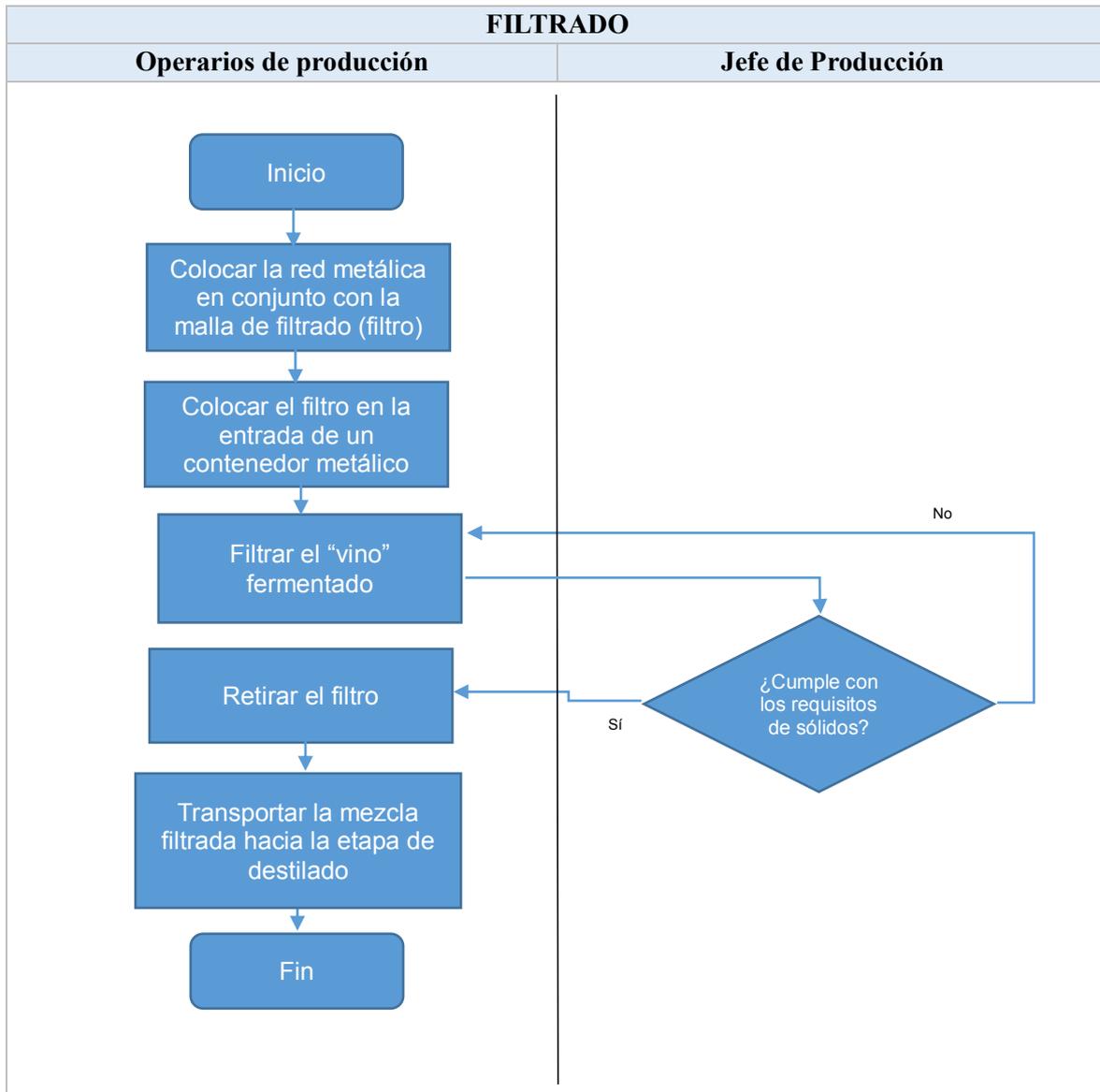


Figura 4.14 Diagrama de Flujo del procedimiento de Filtrado

Fuente: Elaboración propia



Bioetanol de Plátano

	MANUAL DE PROCESOS Y PROCEDIMIENTOS	
	DESTILADO	CÓDIGO: MP – 06

Definición:

Proceso mediante el cual se realiza el destilado del “vino” fermentado para la obtención de bioetanol con 95% de pureza.

Objetivo:

Obtener bioetanol como producto final.

Área responsable:

Área de producción.

Requisitos:

- El resultado de la destilación debe ser bioetanol con 95% de pureza.

Procedimiento:

Los operarios deberán colocar el “vino” filtrado en el destilador, se deberá fijar la temperatura del destilador en 78°C y se procede a cerrar de manera hermética el destilador. Por otro lado, el jefe de producción deberá controlar el proceso de destilación y al final verificar la pureza del etanol obtenido, si este no cumple con los requisitos se deberá destilar nuevamente.

Finalmente, se almacenará el bioetanol en galoneras plásticas y se transportará hacia el almacén de producto terminado.



Diagrama de flujo:

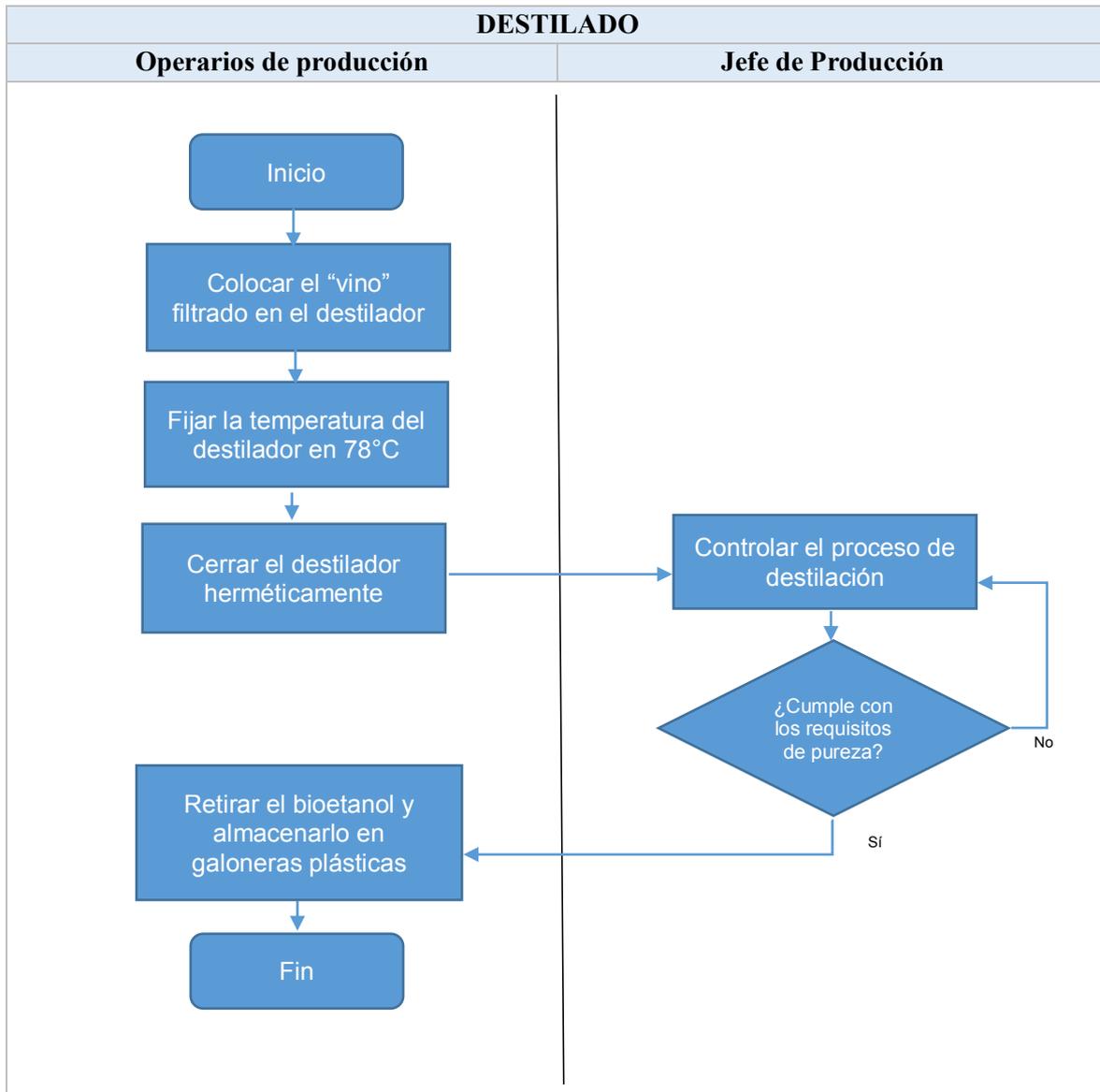


Figura 4.15 Diagrama de Flujo del procedimiento de Destilado

Fuente: Elaboración propia



4.4 Propuesta de disposición en planta

A continuación, se presenta una propuesta de disposición en planta, para el óptimo desempeño de la misma, la cual estará dirigida a las empresas de la industria chiflera; sin embargo, ésta propuesta puede ser o no aceptada por la empresa y/o interesado que implemente el proyecto.

La distribución en planta para el proyecto estará basada en el producto, debido a que para el proceso de producción los equipos principales deben estar dispuestos uno a continuación de otro, de modo que la materia prima pase de manera continua por las 5 áreas más importantes para su transformación hasta obtener el producto terminado. Estas áreas son: área de recepción de materia prima, línea de producción y almacén de producto terminado; de acuerdo a la secuencia del diagrama de flujo del proceso. En los siguientes apartados se presentan los elementos requeridos y el procedimiento seguido para diseñar la disposición óptima de la planta para la producción de bioetanol a partir de cáscaras de plátano.

4.4.1 Identificación y dimensionamiento de áreas

Se definieron las siguientes áreas de la empresa, a las cuales se les asignó un área determinada, basándose en un largo y ancho que permita el correcto desempeño de los trabajadores y un cómodo recorrido a través de las instalaciones. Las áreas y dimensiones definidas se presentan a continuación.

Tabla 4.12 Dimensiones de las áreas de la planta

Área de la Planta	Área (m²)	Largo (m)	Ancho (m)
Almacén temporal de MP	1.5	1.5	1
Baño	4	2	2
Línea de producción	28	7	4
Almacén de insumos	5	2.5	2
Almacén de PT	5	2.5	2

Fuente: Elaboración propia

La *Tabla 4.12* muestra los espacios necesarios en la planta de producción para un desempeño óptimo; sin embargo, el diseño propuesto se puede ajustar a las condiciones de cualquier empresa de la industria chiflera, siempre y cuando sus espacios cumplan con las funciones indicadas.

4.4.2 Matriz de interrelaciones

Mediante el método relacional de actividades se presenta las relaciones entre ellas y su nivel de importancia. En primer lugar, se listarán las áreas de los procesos que se llevarán a cabo y después, las áreas necesarias para el correcto funcionamiento de la línea:

1. Almacén temporal de materia prima.
2. Almacén de insumos.
3. Línea de producción.
4. Almacén de producto terminado.
5. Baño.

Se ha utilizado la leyenda de la *Tabla 4.14* que indica las relaciones de proximidad que pueden existir



en cada actividad. Cada una de estas relaciones será representada por una letra. Asimismo, la *Tabla 4.13* muestra las razones de la relación de proximidad, las cuales también serán codificadas en este caso por medio de números.

Tabla 4.13 Leyenda de razones de las relaciones entre actividades

CÓDIGO	PROXIMIDAD	Nº DE LÍNEAS
A	Absolutamente necesario	4 rectas
E	Especialmente necesario	3 rectas
I	Importante	2 rectas
O	Normal	1 recta
U	Sin importancia	
X	No Deseable	1 zigzag
XX	Altamente no deseable	2 zigzag

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.14 Leyenda de proximidad entre actividades

CÓDIGO	RAZONES
1	Actividades Consecutivas
2	Acceso Común
3	Necesidad Frecuente
4	Mal Olor
5	Ruido
6	Evitar Errores
7	Actividades Similares
8	Control de Rutina

Fuente: Elaboración propia

Haciendo uso de lo mostrado en la *Tabla 4.12* y la *Tabla 4.13*, se procedió a realizar la tabla relacional de actividades que se muestra en la *Figura 4.16* la matriz de interrelaciones:

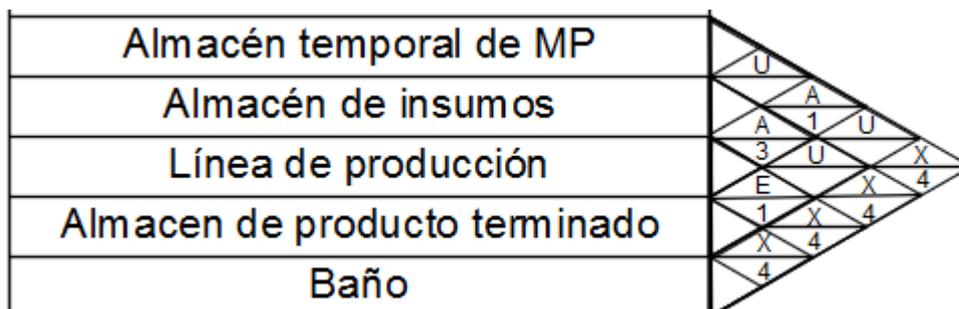


Figura 4.16 Matriz de interrelaciones

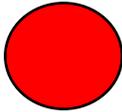
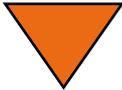
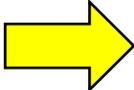
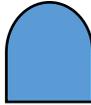
Fuente: Elaboración propia



4.4.3 Diagrama de interrelaciones

Haciendo uso de la matriz de interrelaciones se representan los niveles de importancia o de proximidad de las actividades en el diagrama relacional, mostrado en la *Figura 4.16*. Para el desarrollo de éste, se necesita representar cada actividad siguiendo la simbología mostrada en la *Tabla 4.15*. Por otro lado, en la *Figura 4.17* se muestra el símbolo por actividad que representa cada área y su número correspondiente.

Tabla 4.15 Simbología por tipo de actividad

Área	Símbolo	Color
Operación		Rojo
Almacenamiento		Naranja
Transporte		Amarillo
Control		Azul
Servicio		Azul

Fuente: Elaboración propia

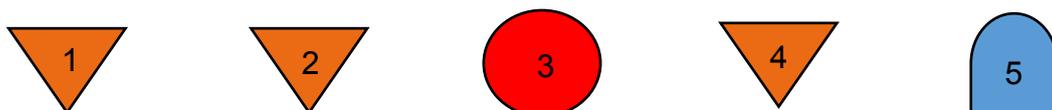


Figura 4.17 Símbolo correspondiente a cada área de la planta

Fuente: Elaboración propia

En la *Figura 4.18* se puede observar el resultado del proceso obtenido. En ésta, se muestra la



distribución física de cada una de las actividades dentro del área destinada para la planta de tal manera que se cumpla con las restricciones de proximidad.

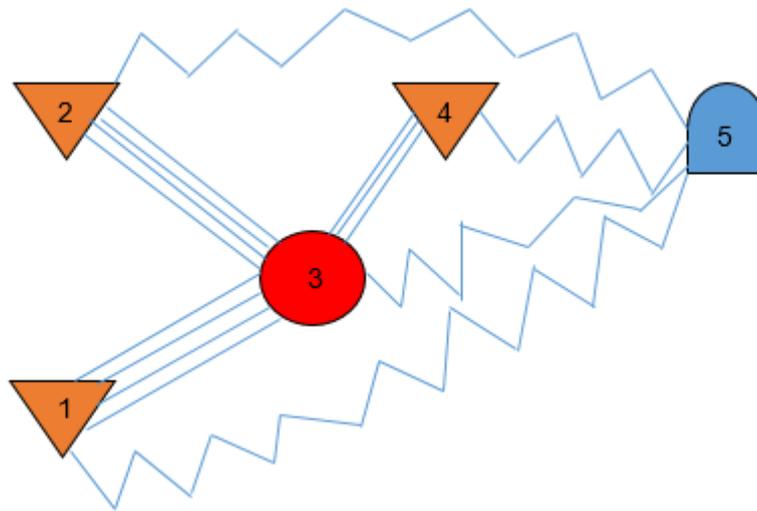


Figura 4.18 Diagrama de interrelaciones

Fuente: Elaboración propia

4.4.4 Diagrama de espacios

Tomando en cuenta las restricciones del diagrama de interrelaciones, las áreas determinadas y el terreno disponible se realizó un diagrama de espacios que se muestra en la Figura 4.19.

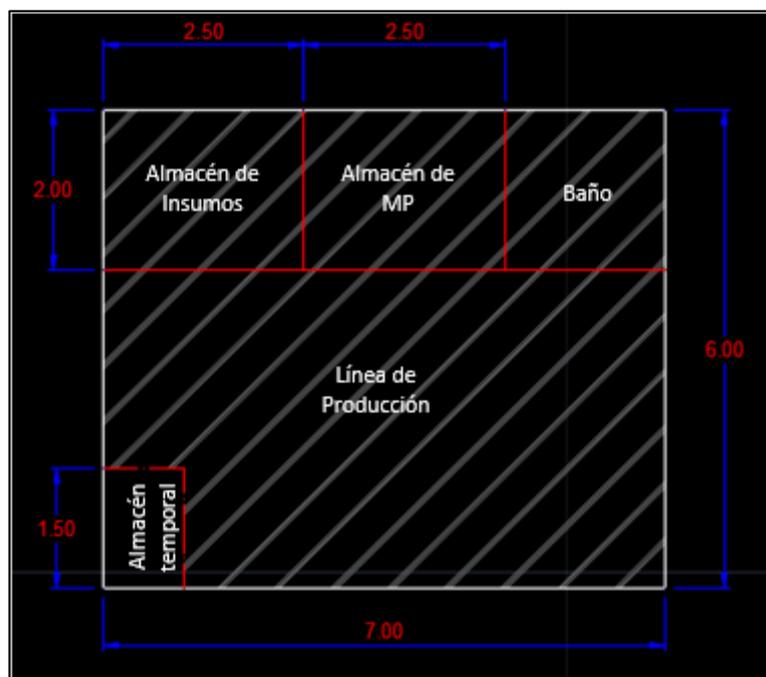


Figura 4.19 Diagrama de espacios

Fuente: Elaboración propia



4.5 Propuesta de plan de capacitación

En este apartado se presenta una propuesta de plan de capacitación dirigida para cualquier empresa y/o interesado que desee implementar el proyecto. De esta manera, podrá ser el mismo personal de la empresa quién supervise y monitoree todas las operaciones y procesos de la línea de producción de bioetanol a base de cáscara de plátano verde, sin la necesidad de contratar a personal externo.

A continuación, se detalla el alcance, los objetivos, las estrategias a seguir, el tipo y la modalidad del plan de capacitación. Además, se menciona el desarrollo, los recursos y el presupuesto necesario para su ejecución.

4.5.1 Alcance

El presente plan de capacitación es de aplicación para el personal que trabajará en la línea de producción de bioetanol de la empresa chiflera.

4.5.2 Objetivos

4.5.2.1 Objetivo general

- Preparar al personal para la ejecución eficiente de sus responsabilidades una vez que asuman sus puestos.

4.5.2.2 Objetivos específicos

- Proporcionar orientación e información relativa a los objetivos de la empresa.
- Proveer conocimiento y desarrollar habilidades que cubran la totalidad de requerimientos de los puestos específicos.
- Actualizar y ampliar los conocimientos requeridos en áreas especializadas de actividad.

4.5.3 Estrategias

Las estrategias a emplear son:

- Presentación del proceso de producción de bioetanol (entradas, salidas y variables de control).
- Presentación de la maquinaria que se usará en cada una de las actividades a realizar en la línea de producción.
- Explicación y desarrollo de los trabajos prácticos que se realizarán cotidianamente.
- Desarrollo de un instructivo para el proceso de producción de bioetanol.

4.5.4 Tipo de capacitación

Se realizará una capacitación inductiva, con el objetivo de facilitar la integración de los empleados con el ambiente de trabajo y las actividades que realizarán.

4.5.5 Modalidad de capacitación

La capacitación se desarrollará en base a un modelo de formación, con el propósito de impartir conocimientos básicos orientados a proporcionar una visión general y amplia con relación a las áreas



de trabajo y sus actividades, así como también en el uso de equipos y maquinarias.

4.5.6 Nivel de capacitación

Se realizará la capacitación a nivel intermedio, de este modo se orientará al personal en conocimientos en una actividad determinada. El objetivo es ampliar los conocimientos y perfeccionar habilidades con relación al mejor desempeño en el puesto de trabajo.

4.5.7 Desarrollo del plan

En la *Tabla 4.16* se presenta el desarrollo del plan de capacitación en el que se detallan los objetivos, temas y estrategias que se pueden utilizar.

Tabla 4.16: Desarrollo del Plan de Capacitación

Horario	Al concluir cada módulo los participantes podrán:	Contenidos (Temas y Subtemas)	Estrategia de enseñanza-aprendizaje	Material
10 min	Identificar qué es el etanol, sus aplicaciones y beneficios.	1. Concepto de etanol.	-Exposición oral. -Discusión guiada.	-Laptop y proyector -Presentación Power Point. -Guía de capacitación.
10 min	Identificar el proceso (insumos, entradas y salidas) de producción del etanol a partir de cáscara de plátano.	2. Proceso de producción de etanol.	-Exposición oral. -Discusión guiada.	-Laptop y proyector -Presentación Power Point. -Guía de capacitación. - Instructivo del proceso productivo.
20 min	Identificar los equipos y maquinaria que se usarán en cada uno de los procesos de producción de etanol.	3. Maquinaria y equipos del proceso de producción de etanol.	-Exposición oral. -Discusión guiada.	-Laptop y proyector -Presentación Power Point. -Guía de capacitación. - Instructivo del proceso productivo.
25 min	Identificar los roles del personal de la planta y el	4. MAPRO Y MOF	-Exposición oral. -Discusión guiada.	-Laptop y proyector -Presentación Power Point.



Horario	Al concluir cada módulo los participantes podrán:	Contenidos (Temas y Subtemas)	Estrategia de enseñanza-aprendizaje	Material
	trabajo que deberá realizar cada uno de ellos.			-Guía de capacitación. - Instructivo del proceso productivo.
10 min	Conocer cómo usar el etanol obtenido en las cocinas a bioetanol y las precauciones que se deberán tomar para su uso.	5. Uso del etanol en cocinas y medidas de seguridad.	-Exposición oral. -Discusión guiada.	-Laptop y proyector -Presentación Power Point. -Guía de capacitación.
10 min	Reconocer los beneficios de su uso en la empresa (ahorro)	6. Principales beneficios del uso de etanol (Ahorro mensual y anual).	-Exposición oral. -Discusión guiada.	-Laptop y proyector -Presentación Power Point. -Guía de capacitación.

Fuente: Elaboración propia

4.5.8 Recursos

4.5.8.1 Humanos

Lo conforman los participantes, facilitadores y expositores. (2 expositores y 2 facilitadores, que podrían ser los miembros del equipo del proyecto)

4.5.8.2 Materiales

- **Infraestructura:** Las actividades de capacitación se desarrollarán en un ambiente espacioso, con buena ventilación y aforo de más de 30 personas.
- **Mobiliario, equipos y otros:** 1 Pizarra, 1 laptop, 1 proyector, lapiceros, sillas y mesas de trabajo.
- **Documentos:** Guía de capacitación e instructivo del proceso de producción de bioetanol.



4.5.9 Presupuesto

Tabla 4.17: Presupuesto de la propuesta del Plan de Capacitación

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo Total
Lapiceros	4	S/. 0.4	S/. 1.6
Guía de capacitación	4	S/. 5	S/. 20
Instructivos	4	S/. 5	S/. 20
Total			S/. 41.6

Fuente: Elaboración propia



Bioetanol de Plátano



Capítulo 5

Propuesta de aplicación: Cocina a bioetanol

Uno de los objetivos principales del presente Estudio Experimental es obtener un prototipo de bioetanol con un 95% de pureza, el cual podría ser implementado como combustible que contribuya en el proceso de fabricación de chifles. Es por ello, que el equipo de proyecto presenta una propuesta para su aplicación a través de cocinas acondicionadas que funcionen a bioetanol.

Para lograr brindar la propuesta de una cocina a bioetanol, primero cabe destacar que aún no existe formalmente dicha cocina, pero existe un producto que tiene las mismas características. Este producto es la chimenea a bioetanol, también llamada biochimenea. En este capítulo se analizará el funcionamiento; además de las ventajas y desventajas de la biochimenea, para así tener una idea aproximada del posible desempeño de la cocina o estufa a bioetanol.

5.1 Chimenea de bioetanol

En los últimos años, las chimeneas de bioetanol han ido ganando terreno frente a otras alternativas en los hogares; fundamentalmente, por ser amigables con el medio ambiente; puesto que, no contaminan ni el suelo ni el aire. Estas calderas se alimentan de bioetanol, que es una de las opciones más limpias.



Figura 5.1: Chimenea a Bioetanol

Fuente: Lluesma Interiorismo, 2016

El bioetanol utilizado tiene que tener un grado de pureza igual o superior a 94,7%, un grado menor supondría que el bioetanol al quemarse desprendería un residuo que obstruiría los poros del elemento cerámico, acortando así, su vida útil. (Anónimo, 2016)



Bioetanol de Plátano

Durante la combustión no se produce humo; además, solo bastan aproximadamente 40 minutos para calentar una sala. Una habitación de unos 30 m^2 con una altura de 2,5 m podría calentarse con una chimenea de bioetanol con capacidad calorífica de 3 kW/h . El poder calorífico de las chimeneas de bioetanol varía entre 1 kW y 6 kW . Cuando se trata de una chimenea de muchos kW , se consume más oxígeno; por lo tanto, hay que ventilar más a menudo la habitación. (Twenergy, 2016)



Figura 5.2: Combustión de bioetanol sin producir ni humo ni cenizas.

Fuente: Chimeneas Magma (2016)

Asimismo, tras su uso, la ausencia de ceniza o polvo es total, con lo que las labores de limpieza y mantenimiento se reducen a las cómodas recargas de bioetanol. En cuanto a la seguridad, las funciones de autoextinción de las chimeneas evitan el peligro de incendios.

Las ventajas de las chimeneas de bioetanol se pueden apreciar antes, durante y después de su uso. Su instalación es con toda probabilidad una de las más sencillas; puesto que, no precisa de ningún tipo de obra de albañilería, tampoco exige de extractor, por lo que pueden colocarse prácticamente en cualquier sitio, por eso es que se pueden encontrar disponibles en el mercado modelos para ser instalados en el suelo o en la pared o, incluso, para integrarse en mobiliario ya existente. (Twenergy, 2016)

A pesar de los grandes beneficios que se aprecian en las chimeneas de bioetanol, existe cierta ineficiencia, pues con una caldera de este tipo difícilmente conseguiremos calentar toda la casa. Si bien es verdad que las chimeneas de bioetanol desprenden un alto poder calorífico capaz de proyectarse mucho mejor por toda la sala en la que se encuentra, no es menos cierto que el resto de las estancias no se aprovecharán de su convección.

Por otro lado, aunque es cierto que no produce humo ni cenizas, este tipo de chimeneas de bioetanol sí generan un intenso olor. Pero la solución para esta incomodidad puede ser incluir alguna esencia al bioetanol de manera que actúe al mismo tiempo de ambientador.



5.1.1 Características de las chimeneas de bioetanol

El quemador, que es el recipiente donde se coloca el bioetanol puede tener diferentes capacidades. Dependiendo del modelo, normalmente van desde 0,5 L hasta 5 L, aunque para una chimenea de interior y para obtener una duración de la combustión razonable, resulta aconsejable que el depósito del quemador tenga una capacidad mínima de 1,5 L. Con esta capacidad y con una intensidad de llama mediana podríamos alcanzar en la mayoría de los modelos de quemadores una duración de la combustión de entre 4 y 5 horas.

Dicha combustión dependerá de dos factores. El primero, es la capacidad del depósito y el segundo, la intensidad de la llama. (Anónimo, 2016)

Los consumos para los quemadores domésticos van normalmente desde los 0,20 L/h hasta los 0,60 L/h . Estos niveles de consumo nos permiten apuntar a que un quemador con capacidad mediana y quemando con una llama de intensidad también mediana, podría estar encendido por un periodo de tiempo de entre 4 y 12 horas. (Anónimo, 2016)

El calor que desprende una chimenea de etanol varía en función del modelo escogido y de la intensidad de la llama. Si buscamos la equivalencia con un radiador eléctrico en vatios, se estaría hablando de una potencia calorífica máxima que oscila entre 2.500 W y 5.500 W. La mayoría de los modelos de chimeneas consumen una medida de 0,35 L/h y la duración del fuego depende de la cantidad de bioetanol que se haya puesto en el depósito. (Anónimo, 2016)

Las chimeneas de bioetanol no necesitan conductos, sólo emiten vapor de agua y dióxido de carbono, lo que es equivalente al consumo de 3 velas normales.

5.1.2 Ventajas de las chimeneas de bioetanol

Este tipo de chimenea tiene múltiples ventajas respecto a las chimeneas tradicionales, entre las que podemos destacar:

- La principal ventaja, por la que han ido adquiriendo popularidad, es que no necesitan salida de humos ni obras complicadas, únicamente se cuelgan de una pared o se colocan en un rincón, se rellena el bloque de combustión con bioetanol líquido y se enciende.
- En poco menos de 20 minutos se puede tener la chimenea instalada y lista para funcionar.
- No produce olores ni humos en su combustión, únicamente CO_2 y vapor de agua.
- No es necesario almacenar leña.
- No hay que limpiar la chimenea de cenizas, evitando así peligros y esfuerzo.
- El consumo de bioetanol es bajo y dispone de una eficiencia energética elevada; ya que, el calor no se escapa por el conducto de salida de humos. El bioetanol al quemar, desprende un alto poder calorífico, que se proyecta mucho más por convección que por radiación, y lo que es más importante, el 100% de las calorías emitidas permanecen dentro de la sala en donde esté en funcionamiento. Por lo tanto, este tipo de chimenea en funcionamiento puede suponer un ahorro en calefacción.
- Existe una gran variedad de tipos y diseños, por lo que puede ser fácilmente adaptable a cualquier entorno del hogar.
- Dependiendo del tipo, pueden ser utilizadas tanto en interiores como en exteriores.



5.1.3 Desventajas de las chimeneas de bioetanol

La única desventaja que se puede observar, cuando se trata de una chimenea para hogares, radica en la imposibilidad de lograr calentar todos los ambientes de la casa o, al menos, la mayoría de ellos.

5.2 Cocina de bioetanol

Después de haber recopilado y analizado la información acerca de las chimeneas de bioetanol, se puede inferir que existe la posibilidad de implementar una cocina que funcione con bioetanol. A continuación, se explicará las características y el funcionamiento de la cocina teóricamente.

El quemador utilizado debe ser de mayor proporción que el de las chimeneas; puesto que, se espera que reemplacen a las cocinas industriales que son utilizadas en la industria Chiflera de la ciudad de Piura. El rango de este quemador estaría entre los 15 L/h y 20 L/h . La intensidad de llama deberá ser alta; ya que, el propósito principal de esta cocina es la preparación de chifles, que requiere que el aceite alcance una temperatura entre 150 ° C y 190 ° C. El material para la construcción de la cocina será acero inoxidable.

Es posible acondicionar una cocina común, solo bastaría instalar el quemador en la parte inferior, un conducto para la reposición del bioetanol y otro conducto para el escape del vapor de agua producido durante la combustión. Para finalizar, debe sellarse todas las superficies, para evitar que el calor se disipe, además de colocar una placa que tenga una transferencia de calor alta, para aprovechar al máximo el poder calorífico del bioetanol.

El acondicionamiento de la cocina se reduce a soldaduras y optimización de la transferencia de calor, así como la disposición del quemador.



Figura 5.3 Posible cocina acondicionada para bioetanol

Fuente: Adesifire (2016)



Capítulo 6

Comparación entre el combustible actual vs bioetanol de plátano

Para una posible implementación del Proyecto realizado es necesario realizar un análisis comparativo entre el bioetanol obtenido de la cáscara de plátano y el combustible que actualmente es usado en la industria Chiflera. Por lo general, los combustibles más usados en las chifleras son butano y kerosene; por tanto, se verá cuáles son las características y rendimientos de cada uno de los combustibles antes mencionados.

6.1 Características del bioetanol

El bioetanol, es el producto de la fermentación alcohólica de diversos materiales orgánicos a través de la acción de microorganismos.

Inicialmente, el etanol solo era usado para consumo humano y para la producción de bebidas alcohólicas mediante destilación. No fue sino hasta los años 70, cuando el petróleo y el gas natural empezaron a hacerse más escasos, que se pensó en el etanol como una alternativa de sustitución de los combustibles fósiles. Además de la escasez que llevaba al incremento de precios del petróleo, la preocupación medio ambiental, hizo que los países fueran pensando en formas de obtención de etanol a partir de material orgánico. (Hernández, 2008)

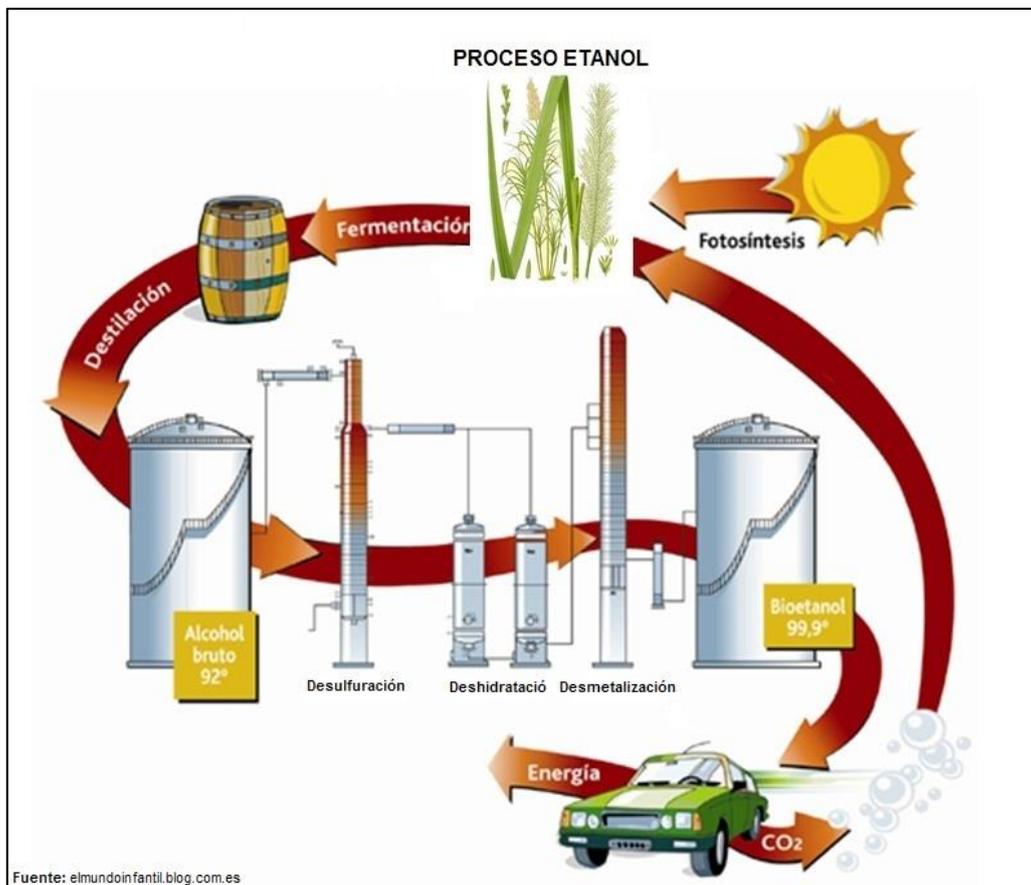


Figura 6.1: Proceso para elaboración de Etanol Carburante

Fuente: FedeBiocombustibles (2016)



Bioetanol de Plátano

El uso del bioetanol como biocarburante, es el de mayor importancia en el mundo. Esto, debido al crecimiento de la demanda de automóviles a nivel mundial. Tan solo en el 2011 la cantidad de automóviles en el mundo ascendía a los mil millones. (Anónimo, 2016)

El bioetanol es utilizado como combustible en motores de combustión interna, de dos maneras:

1. En mezclas de gasolina y etanol anhidrido.
2. Como etanol puro, generalmente hidratado.

En la primera forma de uso mencionada, el etanol tiene una mínima cantidad de agua, por ello se le conoce también como etanol deshidratado. En este caso, funciona como un oxigenante de la gasolina, en reemplazo del *éter metil tert-butílico*, conocido también por las siglas MTBE. Puede utilizarse en vehículos convencionales, sin necesidad de hacer cambios en el motor, ni en los sistemas de inyección del mismo. (Anónimo, 2008)



Figura 6.2: Uso de etanol anhidrido mezclado con gasolina

Fuente: Globo Rural On – Line (2013)

En la segunda forma de uso, el etanol presenta un mayor porcentaje de agua, por ello su nombre de etanol hidratado. Para que los vehículos puedan usarlo, estos deben ser adaptados para tal uso. Pueden ser vehículos con motores exclusivos para etanol, o vehículos con motores *flex-fuel*, los cuales son capaces de utilizar cualquier mezcla de etanol hidratado y gasolina. Además del motor, los sistemas de inyección también deben ser aptos para el uso de estas mezclas de combustibles. (Anónimo, 2008)



Figura 6.3: Vehículo con motor Flex Fuel

Fuente: AUTOBLOG.com.uy (2014)

Son pocos los países que utilizan el alcohol hidratado como combustible; ya que, los vehículos más comunes son los de motor y sistema de ignición convencional. Brasil, es uno de los países en donde sí se usa dicho combustible; puesto que, debido a su gran producción de bioetanol, los fabricantes de automóviles han diseñado vehículos especiales aptos para el uso del mismo.

Tabla 6.1 Propiedades de la gasolina y el bioetanol

Parámetro	Unidad	Gasolina	Bioetanol
Poder calorífico inferior	kJ/kg	43,5	43,5
	kJ/litro	32,18	22,350
Densidad	kg/litro	0,72-0,78	0,792
Octanaje RON	-	90-100	102-130
Octanaje MON	-	80-92	89-96
Calor latente de vaporización	kJ/kg	330-400	842-930
Relación aire/combustible estequiométrica	-	14,5	9,0
Presión de vapor	kPa	40-65	15-17
Temperatura de ignición	°C	220	420
Solubilidad en agua	% en volumen	~0	100

Fuente: Bioetanol de caña de azúcar: Una energía para el desarrollo sostenible. (Anónimo, 2008)



El butano comercial es un gas licuado, obtenido por destilación del petróleo, compuesto principalmente por butano normal (60%), propano (9%), isobutano (30%) y etano (1%). (Enríquez, 2016)

La principal aplicación del gas butano es como combustible en hogares para la cocina y agua caliente, y en los encendedores de gas. No suele consumirse en grandes cantidades debido a sus limitaciones de transporte y almacenaje. Aunque también se emplea como combustible para encendedores de bolsillo.



Figura 6.5: Gas Butano como combustible para el Hogar

Fuente: Combustible para el Hogar (Roldán, 2015)

Si se produce una fuga de gas butano, y no se actúa con determinación y precaución, este puede producir una deflagración o explosión que culmina en un incendio. En el caso de incendio provocado por gas butano o que este sea el principal combustible deberá utilizarse para su extinción dióxido de carbono (CO_2), polvo químico o niebla de agua para enfriar y dispersar vapores. (Enríquez, 2016)

El butano tiene un poder calorífico de 10.938 KCal/kg , lo que facilita el transporte y lo hace muy práctico. Lo que se vende bajo la denominación de butano es un líquido que consta de un mínimo del 80% de hidrocarburos C4 y un máximo del 20% de hidrocarburos C3. Las proporciones anteriores pueden variar en función de la aplicación que se dé al gas. La presión del butano debe ser igual o mayor a 2 atmósferas. (Index - Gases Licuados del Petróleo (GLP) - Energía – Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2016)

6.3 Kerosene

El kerosene (también querosene o queroseno) es un líquido inflamable, mezcla de hidrocarburos, que se obtiene de la destilación del petróleo natural. Fue utilizado al principio en estufas y lámparas, en la actualidad se usa como combustible de aviones de reacción y en la fabricación de insecticidas. Se trata de un líquido transparente (o con ligera coloración amarillenta) obtenido por destilación del



Bioetanol de Plátano

petróleo. De densidad intermedia entre la gasolina y el gasóleo o diésel, se utiliza como combustible. Se utiliza también como disolvente y para calefacción doméstica, como dieléctrico en procesos de mecanizado por descargas eléctricas y, antiguamente, para iluminación. (Anónimo, 2016)



Figura 6.6: Kerosene líquido

Fuente: LUQUISA (2016)

Al tratarse de un derivado del petróleo, su composición y su calidad varían en función de la procedencia del crudo y del tipo de proceso de refinado al que se le haya sometido. De todas maneras, según el *American Petroleum Institute*, el queroseno consiste en cadenas de hidrocarburos de entre 9 y 16 átomos de Carbono, con un rango de puntos de evaporación de entre 145 y 300 °C. En él están presente, normalmente, en un 70% cadenas de hidrocarburos parafínicos y naftas. La presencia de estas cadenas de hidrocarburo lo convierte en un combustible con poco retardo en la ignición. El queroseno; además, es un buen disolvente, insoluble en agua, pero sí en una gran mayoría de derivados del petróleo. (Anónimo, 2016)

Está caracterizado por ser un combustible menos volátil que la gasolina y; por tanto, tiene un punto de relampagueo o “*flash point*” inferior. Esta característica hace que el queroseno sea un producto más seguro y manejable que otros combustibles derivados de la destilación del petróleo como las gasolinas o los gasóleos ligeros.

La aplicación principal de los querosenos reside en la propulsión de motores de aviación, debido a su poder calorífico de alrededor de 42.800 kJ/kg , aunque también, se utiliza como disolvente o como combustible doméstico. (Anónimo, 2016)



Figura 6.7: Uso de kerosene para la propulsión de motores de Avión

Fuente: elmundo.es (2008)

6.4 Cuadro comparativo

En la *Tabla 6.2* se presenta una comparación entre los principales combustibles utilizados en la industria de chifles y la propuesta de bioetanol.

Tabla 6.2 Comparación de combustibles

Parámetro	Unidad	Bioetanol	Butano	Kerosene
Poder calorífico	kcal/kg	7103	11739	11114
Temperatura de ignición	°C	420	482 - 538	37
Masa necesaria por la empresa	kg	7734	4680	4943
Emisión de CO ₂	kg de CO ₂ /kg	1.94	3	3.125

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, el bioetanol tiene un poder calorífico inferior a los combustibles actualmente utilizados en la industria chiflera, lo que se ve reflejado en una mayor demanda en kg para satisfacer la producción normal en la planta. Sin embargo, el mayor beneficio de esta nueva alternativa de combustible es que presenta menores emisiones de CO₂, contribuyendo así a un proceso eficiente, pero que conlleva sus riesgos de implementación. Estos riesgos deberán ser evaluados si se desea implementar el acondicionamiento de la cocina a bioetanol mencionada en el Capítulo 5.



Bioetanol de Plátano



Capítulo 7

Evaluaciones del Proyecto

En este capítulo se realizarán 2 evaluaciones del Proyecto propuesto. En primer lugar, se realizará una Evaluación Ambiental para tomar conocimiento del impacto que tendrá la implementación del proyecto en el medio ambiente. Con ello, se determinará si el proyecto es viable ambientalmente.

En segundo lugar, se llevará a cabo una Evaluación Económica – Financiera para saber si la implementación del proyecto es viable económicamente; es decir, si su implementación es rentable para las empresas de la industria chiflera en la ciudad de Piura.

7.1 Evaluación Ambiental del Proyecto

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 7.1*. (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 7.1 Comparación de las concentraciones de gases contaminantes entre aire limpio y contaminado.*⁵

Fuente: Ingeniería ambiental: Contaminación y tratamientos (Sans & De Pablo, 1999)

En el caso específico de combustibles, el problema recae en la contaminación provocada por la liberación de compuestos gaseosos del carbono como los hidrocarburos en la combustión. Siendo a los que se les debe prestar atención; ya que, los gases de efecto invernadero como el CO₂ 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)

Se debe tener en cuenta; además, que el costo ambiental de los combustibles no está ligado únicamente al uso, sino que también intervienen otros factores; por ejemplo, el transporte utilizado para llevarlo de un lugar a otro y la maquinaria empleada en su producción.

⁵ Concentración en ppm.



Bioetanol de Plátano

7.1.1 Generación de Bioetanol

Existen entradas y salidas a lo largo de los procesos involucrados en la obtención del bioetanol. Entre los principales recursos se encuentra la cáscara del plátano verde y el recurso hídrico, impactando una de forma contraria a la otra. 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% ⁶ del peso total del fruto, que causa malos olores por la descomposición del mismo.

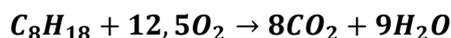
Por otro lado, la variedad de plátano necesaria para la elaboración de chifles es de cáscara verde, generando que esta tenga que pasar por un proceso previo de hidrólisis, en el que ingresa además de la cáscara, el agua y como salida el agua con la diferencia de que esta será evaporada. En cuanto a los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

7.1.2 Uso en la Industria Chiflera

Con respecto al uso de los combustibles en la industria chiflera, se busca disminuir el uso de combustibles como el carbón (para empresas artesanales que producen a pequeña escala) o kerosene (para empresas menos artesanales, pero aún con métodos poco recomendables). Éstos, no solamente afectan a la atmósfera, y en un largo plazo a la salud de la misma, 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. (Organización Mundial de la Salud, 2014)

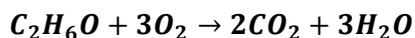
Se sabe que todo combustible fósil ocasiona un impacto negativo a la atmósfera que es mayor al que ocasiona el bioetanol. Claro está que se habla del uso, por ejemplo, la combustión de un kilogramo de petróleo emite 7,14 Kg de CO_2 , mientras que un kilogramo de alcohol quemado, se producen 0.956 Kg de CO_2 . Por ello, se puede decir que, el petróleo produce siete veces más gases de efecto invernadero respecto al alcohol. (Mosquera, Fernandez & Mosquera, 2010).

Cuando se habla de la gasolina en específico, según el doctor Felipe Soto Pao, PhD Brasileño especialista en biocombustibles, se puede concluir que al hacer la combustión de un litro de gasolina, se emiten 2,28 kg de CO_2 (ver *Reacción 7.1*). Por otro lado, al darse la combustión de un litro de etanol, se llega a emitir 1,53 kg (ver *Reacción 7.2*). (Mosquera, Fernandez & Mosquera, 2010)



Reacción 7.1 Reacción de la gasolina.

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



Reacción 7.2 Reacción del etanol.

Fuente: Elaboración propia.

⁶ Ver los resultados de los pesajes mostrados en las *Tablas 3.1* y *3.3* de Capítulo 3. Experimentación y Resultados.



La aplicación de etanol brinda una gran ventaja al poder utilizarlo como combustible, siendo este más limpio, porque reduce las emisiones de monóxido de carbono, el 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%”. (Anónimo, 2011)

Todo tipo de obtención de etanol genera una reducción de los GEI⁷. Cabe hacer la aclaración que también se generan emisiones de CO_2 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 CO_2 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 CO_2 generado por el etanol sea mucho más sencilla y contribuya al medio ambiente (ver Figura 7.1). Esto, enmarcado a nuestro proyecto, reducirá 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 limpia de energía e independizándose del otro combustible.

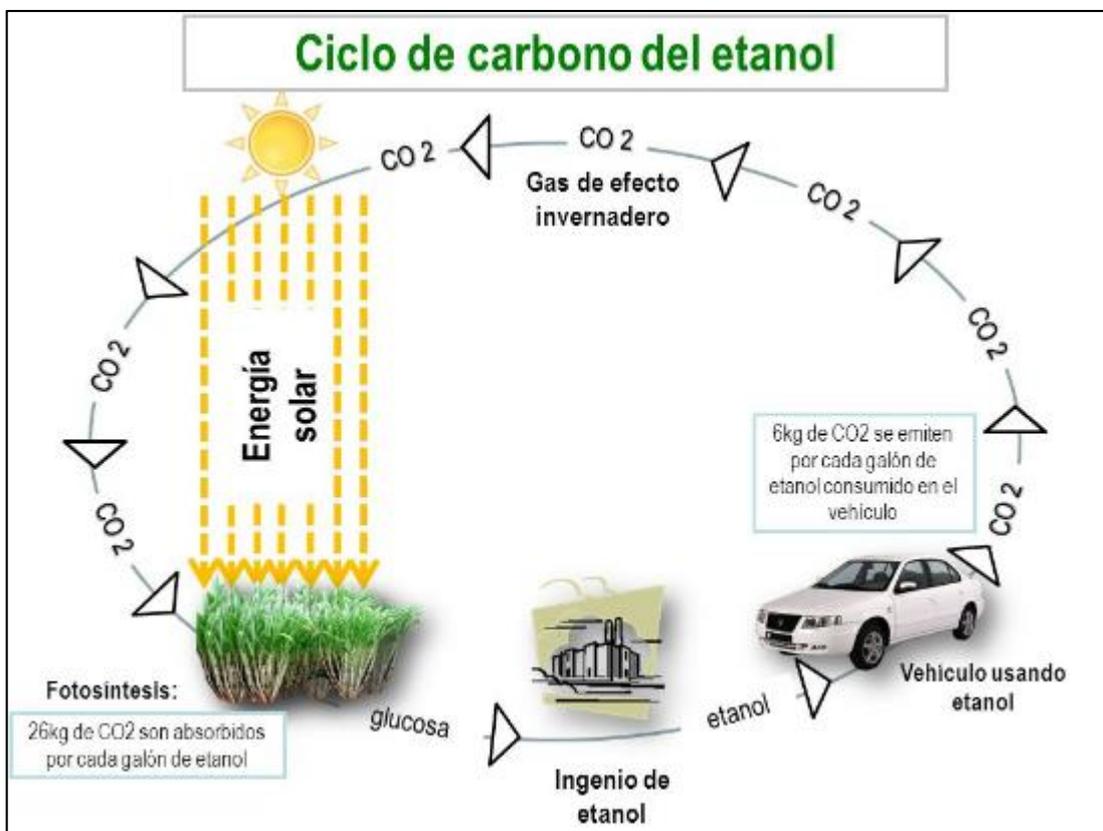


Figura 7.1: Ciclo de Carbono a partir de Etanol

Fuente: Mae-Wan Ho (2016)

Por lo expuesto, podemos afirmar que el proyecto concluye con una evaluación ambiental positiva y

⁷ Abreviatura de Gases de Efecto Invernadero.



alentadora.

7.2 Evaluación Económica - Financiera

Uno de los requerimientos del proyecto es conseguir un ahorro económico por parte del cliente; es decir, por parte de las empresas de la industria chiflera de la ciudad de Piura. Por ello, se ha realizado una evaluación detallada del dinero ahorrado al cesar el consumo de butano (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. (Anexo 3)**

Por otra parte, se realizó un cuadro de pérdidas y ganancias (*Ver Tabla 7.1*) considerando la inversión inicial (S/. 24, 502.7) 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 hidrolisis, 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, 749 al año**, lo que significa que, si una pequeña empresa decide producir su propio biocombustible ahorraría este monto.

Tabla 7.1: Cuadro de Pérdidas y Ganancias

ESTADO DE RESULTADOS						
Período	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ahorro	0	17550	17550	17550	17550	17550
Inversión	-24502.7	-4900.5	-4900.5	-4900.5	-4900.5	-4900.5
Utilidad Bruta	-24502.7	12649.5	12649.5	12649.5	12649.5	12649.5
Gasto Ventas	0	-1643.7	-1643.7	-1643.7	-1643.7	-1643.7
Gasto Depreciación	0.0	-968.6	-968.6	-968.6	-968.6	-968.6
UAII	-24,502.7	10,037	10,037	10,037	10,037	10,037
Gasto Financiero	0	-4,288	-4,288	-4,288	-4,288	-4,288
Utilidad Neta	-	5,749	5,749	5,749	5,749	5,749

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la tasa interna de retorno (TIR), esta resultó en 56%. Por otro lado, el valor actual neto (VAN) de la implementación del proyecto es de S/. 31,418 lo que indica que el proyecto sí genera un ahorro significativo para las pequeñas y medianas empresas de la industria de chifles en Piura. **(Anexo 4)**

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 7 meses aproximadamente; es decir, que después de ese plazo el ahorro es neto.



Tabla 7.2: Payback

CÁLCULO DEL PAYBACK	
Costo de Inversión	32, 060.7
Valor Residual	4, 115
Años del proyecto	5
Flujo de caja 0	-24,503
Flujo de caja 1	5,749
Flujo de caja 2	5,749
Flujo de caja 3	5,749
Flujo de caja 4	5,749
Flujo de caja 5	5,749
Plazo de Recuperación de la inversión:	5 años, 6 meses y 27 días

Fuente: Elaboración propia

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

Por la información recopilada de la industria chiflera, se ha estimado una demanda de bioetanol mínima de $9.8 \text{ m}^3/\text{año}$ para la cual se requieren $25, 780.9 \text{ kg}$ 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 64, 453 plátanos (**Anexo 5**). 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. (**Anexo 6**)

Los resultados del estudio financiero son favorables ya 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, obteniendo la cantidad proyectada de S/.19, 236.4, integrando a esa cantidad la suma de S/. 12, 824.3 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 y recomendaciones

La realidad de buscar una alternativa de solución diferente al petróleo y amigable con el medio ambiente, se hace cada vez más tangible, es por ello que ahora la participación y protagonismo que está tomando la elaboración y obtención del etanol es cada vez más relevante. Actualmente, existen muchos estudios acerca de la producción de etanol a base de materias primas distintas a las ya existente (maíz y caña de azúcar) para la obtención de este producto como es la yuca, la remolacha, el plátano, entre otros. Ahora los países están optando por encontrar alternativas de solución en un desecho o un producto propio de la zona para desarrollar un proyecto que permita hacer sostenible y rentable la elaboración de etanol, además de contribuir con el medio ambiente, aprovechando al máximo la materia prima la cual puede incluso proporcionar energía para los procesos.

Perú es un país con un gran potencial para convertirse en un referente de producción de etanol como es el caso de Estados Unidos y Brasil; sin embargo, las leyes gubernamentales no lo permiten, esto no quiere decir que no sea un negocio en potencia puesto que cuenta con fácil acceso a la materia prima. Hoy en día, el Grupo Gloria está muy atento a esta nueva alternativa de energía, a través de la implementación de mejores procesos procedentes de Brasil que hagan sostenible la producción de etanol.

Por otro lado, el incremento de la demanda de chifles en el extranjero, es una gran oportunidad para las empresas peruanas dedicadas a este rubro para empezar a apostar por alternativas que generen una mayor productividad y rentabilidad de su negocio aprovechando al máximo el recurso del que se dispone, dado que dicho incremento viene acompañado de un aumento en la demanda de esta materia y por ende, un incremento del desperdicio que en este caso es la cáscara de plátano el cual, en algunos casos, requiere de un costo adicional por desaparecer estos desechos y ahora se le dará una nueva utilidad al obtener etanol lo que generará un aumento en la rentabilidad del negocio.

Como conclusiones de la Experimentación y la discusión de Resultados se pueden afirmar dos cosas. La primera es, que los resultados mejoran notablemente al neutralizar el ácido sulfúrico con bicarbonato de sodio; puesto que, se evita que la levadura muera en un medio ácido agresivo como en el que se encontraba antes y la segunda, que mientras más destilaciones se hagan mayor concentración de alcohol se obtendrá en el destilado, teniendo 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 previo a la mezcla de gasolina para obtener gasohol, se debe usar un proceso de deshidratación.

Por los resultados alcanzados en la experimentación, 95,24 % de pureza en alcohol, el prototipo de bioetanol fue aprobado por el Dr. Ing. Gastón Cruz, experto al que se le consultó a lo largo del desarrollo experimental. (**Anexo 7**)

Además, en la implementación del proyecto por alguna empresa, se recomienda buscar una levadura más eficiente. Así, el tiempo de fermentación se puede reducir (en el caso del estudio experimental, 8 días). Gracias a la visita técnica a la que se acudió como parte de la asignatura de Proyectos, se supo que con la levadura utilizada en el proceso industrial que sigue la empresa Caña Brava, la fermentación demora entre 11 y 12 horas. Dicha levadura es traída desde Brasil; sin embargo, conseguir una que no signifique un costo muy elevado, pero que consiga un menor tiempo de fermentación, puede lograr una diferencia a favor en el proceso de la obtención del bioetanol. Esto puede significar una mejora significativa; ya que, la fermentación al durar 8 días puede concluir en la pérdida de tiempo excesiva de darse algún error en el proceso.



Uno de los aspectos más importantes al momento de realizar el proyecto fue el diseño de la línea de producción de bioetanol, para lo cual se necesitó de tres herramientas cruciales: un Manual de Organización y Funciones (MOF), un Manual de Procesos (MAPRO) y de un planeamiento estratégico que involucrara a estos dos documentos. La relevancia de estas herramientas recae en que, si el MOF nos ayuda a dividir el trabajo en la organización basándose en la especialización, el MAPRO nos ayuda a integrarlo, creando mecanismos de coordinación que contribuyan a la organización, tales como: instructivos y diagramas de flujo. De este modo, se puede obtener un ambiente organizacional en el que, si los resultados no se dan o se generan problemas, no es culpa de un área en particular sino de toda la empresa en conjunto.

Con respecto a la Evaluación Ambiental del proyecto, se puede decir que la alternativa de utilizar las cáscaras de plátano, que en la mayoría de ocasiones generan contaminación o simplemente se desperdician, 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 y el Kerosene en la industria de chifles en la ciudad de Piura.

Por otro lado, consideramos también la generación de gases de efecto invernadero en la producción del mismo etanol, por lo que se cuenta con un sistema de encapsulamiento del CO_2 en el proceso de destilación. Cabe resaltar que estas emisiones son mínimas con respecto a la producción y uso de combustibles derivados del petróleo.

Del análisis realizado en la Evaluación Económica – Financiera se puede concluir que, el flujo de caja que presentaría una empresa chiflera pequeña consistiría en una inversión relativamente alta (S/. 24, 502.7), necesaria para poner en marcha la producción de bioetanol. Además, se indica que los inversionistas recuperarán su capital aproximadamente dentro de 5 años y 7 meses, lo cual refleja que el proyecto es totalmente viable pero poco atractivo por el tiempo de recuperación de la inversión y el ahorro generado anualmente (S/. 5, 749). Por otro lado, se puede observar que el punto de equilibrio diario (180 plátanos verdes) es muchísimo menor que lo que compra normalmente una chiflería pequeña (1200 plátanos verdes) por lo que no habría inconveniente alguno respecto a la cantidad de materia prima (cáscara de plátano) necesaria para producir su propia demanda de bioetanol.

Observando el Estado de Resultados del **Anexo 3**, se muestra que, a partir del primer mes se empieza a tener en la utilidad neta un ingreso positivo, pero una vez alcanzados los 5 años y 7 meses aproximadamente, se recupera la inversión inicial. Por esto, se puede afirmar que es un negocio rentable, puesto que genera un ahorro, pero no es muy llamativo.

Algunas alternativas de solución podrían ser:

- Implementar el proyecto sólo en empresas que dispongan del capital para invertir y así, generar una economía de escala; es decir, mientras más bioetanol se produzca para su consumo menores serán los costos de producción.
- Que un grupo de empresas pequeñas se asocien, aminorando así los costos de inversión de cada una. Teniendo acceso a más materia prima se puede producir mayor cantidad de bioetanol de plátano simplemente aumentando la capacidad del cuello de botella, que en este caso sería el proceso de destilación.
- Realizar un estudio de factibilidad del diseño de una planta que se dedique de lleno a la producción del bioetanol a base de cáscara de plátano verde, que recolecte o compre la



Bioetanol de Plátano

materia prima de las industrias chifleras de Piura y pueda comercializarla, bien a estas mismas empresas o bien destinarla a la industria de biocombustibles propiamente dicha.

Finalmente, con respecto a las lecciones aprendidas acerca de la gestión de proyectos podemos decir que:

La gestión y control de los interesados es una parte muy importante en todo proyecto. Se tiene que tener en cuenta que cada interesado debe ser tratado de una manera distinta, dependiendo de su influencia y poder, para así lograr cumplir sus expectativas. Cabe recalcar la importancia de la comunicación con los interesados clave, ya que de ellos depende que el proyecto siga su curso, un descontento por parte de ellos significaría la finalización anticipada del proyecto.

La calidad del producto debe planificarse, para así evitar problemas al final del proyecto, momento en el que costaría mucho más implementar cambios. Debe coordinarse que cuando no se cumplan con los requerimientos en cualquier paquete de trabajo, se corrija inmediatamente los problemas, y así evitar deficiencias de calidad esperada en el futuro.

El trabajo en equipo es indispensable para que un proyecto tenga éxito. Sin embargo, siempre surgirán conflictos entre los miembros del equipo del proyecto, ya sea por diferencias entre puntos de vista o estrés causado por contratiempos imprevistos. Por ello, es muy importante que el director de proyectos aborde dichos problemas con una actitud abierta al diálogo, y así lograr acuerdos entre los miembros del equipo.



Bibliografía

- Acevedo Beltrán, J., & Sarmiento Nieto, A. (2008). *Simulación y diseño básico de un reactor de hidrólisis enzimática de bagazo de caña*. Santander, Colombia.
- Adecoagro. (08 de Octubre de 2014). *Azúcar, Etanol y Energía*. Recuperado el 08 de Octubre de 2016, de <http://www.adecoagro.com/DinamicPage.aspx?midpid=28&mimid=4&miid=31>
- Alibaba. (08 de Octubre de 2016). *Tanque de fermentación de cerveza elaboración de la cerveza de acero inoxidable brillante-Tanque de Almacenaje-Identificación del producto: 60512511730-spanish.alibaba.com*. Obtenido de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/stainless-steel-brewing-bright-beer-fermentation-tank-60512511730.html?s=p>
- Anónimo. (10 de Octubre de 2008). *Bioetanol de caña de azúcar: Una energía para el desarrollo sostenible*. Recuperado el 08 de Octubre de 2016, de <http://www.bioetanoldecanadeazucar.org>
- Anónimo. (11 de Noviembre de 2011). *Industrias del Espino inicia producción de biodiesel con moderna planta*. Recuperado el 28 de Agosto de 2016, de <http://www.palmas.com.pe/palmas/industrias-del-espino-inicia-produccion-de-biodiesel-con-moderna-planta>
- Anónimo. (11 de Septiembre de 2011). *Producción nacional de etanol se triplicará al 2020; el país tiene potencial de crecimiento | Finanzas |*. Recuperado el 08 de Octubre de 2016, de <http://www.portafolio.co/economia/finanzas/produccion-nacional-etanol-triplicara-2020-pais-potencial-crecimiento-153648>
- Anónimo. (15 de Agosto de 2011). *RPP Noticias*. Recuperado el 17 de Septiembre de 2016, de <http://rpp.pe/peru/actualidad/el-chifle-de-piura-se-prepara-para-conquistar-el-mundo-noticia-428502>
- Anónimo. (15 de Septiembre de 2012). *Maple Etanol inició operaciones en Piura*. Recuperado el 08 de Octubre de 2016, de <https://lamula.pe/2012/07/15/maple-etanol-inicio-operaciones-en-piura/atheneaperu/>
- Anónimo. (03 de Octubre de 2013). *Gasohol*. Recuperado el 11 de Octubre de 2016, de [//es.wikipedia.org/wiki/Gasohol](http://es.wikipedia.org/wiki/Gasohol)
- Anónimo. (25 de Septiembre de 2014). *Pure Biofuels inauguró planta que producirá 52 millones de galones de biodiésel por año*. Recuperado el 29 de Agosto de 2016, de <http://www.andina.com.pe/agencia/noticia-pure-biofuels-inauguro-planta-producira-52-millones-galones-biodiesel-ano-189490.aspx>
- Anónimo. (15 de Agosto de 2014). *Regulación de biocombustibles*. Recuperado el 08 de Octubre de 2016, de <https://goo.gl/KVMvXk>
- Anónimo. (14 de Septiembre de 2015). *Boletín de prensa*. Recuperado el 17 de Septiembre de 2016, de <http://www.adexperu.org.pe/BoletinesD/Prensa/BPrensa.asp?bol=1373&cod=5>
- Anónimo. (23 de Agosto de 2015). *Gestión*. Recuperado el 17 de Septiembre de 2016, de



Bioetanol de Plátano

<http://gestion.pe/economia/produccion-peruana-banano-y-platano-creceria-26-2015-2121968>

- Anónimo. (10 de Septiembre de 2015). *Informe especializado productos nostálgicos en Estados Unidos*. Recuperado el 15 de Octubre de 2016, de <http://www.siicex.gob.pe/siicex/documentosportal/alertas/documento/doc/16578434rad3B C81.pdf>
- Anónimo. (23 de Febrero de 2016). Recuperado el 03 de Septiembre de 2016, de Los biocombustibles, según un informe de la UNCTAD: <http://unctad.org/es/Paginas/PressRelease.aspx?OriginalVersionID=294>
- Anónimo. (07 de Septiembre de 2016). *Análisis de la variación de la eficiencia en la producción de biocombustibles en América Latina | Estudios Gerenciales*. Recuperado el 08 de Octubre de 2016, de <http://www.elsevier.es/es-revista-estudios-gerenciales-354-resumen-analisis-variacion-eficiencia-produccion-biocombustibles-S0123592316300018>
- Anónimo. (08 de Octubre de 2016). *Bioetanol*. Recuperado el 08 de Octubre de 2016, de <http://www.mexicohazalgo.org>.
- Anónimo. (13 de Abril de 2016). *Caña Brava*. Recuperado el 08 de Octubre de 2016, de <http://www.canabrava.com.pe/>
- Anónimo. (10 de Octubre de 2016). *Características y seguridad de las chimeneas de bioetanol*. Recuperado el 10 de Octubre de 2016, de <http://www.muebleslluesma.com/blog/caracteristicas-y-seguridad-de-las-chimeneas-de-bioetanol/>
- Anónimo. (09 de Octubre de 2016). *Desfibradora pesada en línea - Fives Sugar - Bioenergy - Catálogo PDF*. Recuperado el 12 de Octubre de 2016, de <http://pdf.directindustry.es/pdf/fives-sugar-bioenergy/desfibradora-pesada-linea/62061-369930.html>
- Anónimo. (12 de Octubre de 2016). *Ecured.cu*. Recuperado el 12 de Octubre de 2016, de <https://www.ecured.cu/Butano>
- Anónimo. (3 de Septiembre de 2016). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*. Recuperado el 08 de Octubre de 2016, de <http://1ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0100s/i0100s04.pdf>
- Anónimo. (10 de Octubre de 2016). *Estufas de bioetanol y chimeneas ecológicas*. Recuperado el 10 de Octubre de 2016, de <http://vilssa.com/estufas-de-bioetanol-y-chimeneas-ecologicas>
- Anónimo. (20 de Abril de 2016). *GRUPO HPO - HEAVEN PETROLEUM OPERATOR S.A.* Recuperado el 29 de Agosto de 2016, de <http://hpo.pe/hpo/index.php?rule=20:00&id=3>
- Anónimo. (13 de Septiembre de 2016). *Hydrothermal chemical reactor. Col-Int Tech*. Recuperado el 08 de Octubre de 2016, de <http://www.col-int.com/hydrothermal-reactor-cithtc350v200a-p-1024.html>



- Anónimo. (12 de Octubre de 2016). *Index - Gases Licuados del Petróleo (GLP) - Energía – Ministerio de Industria, Energía y Turismo*. Recuperado el 12 de Octubre de 2016, de <http://www.minetur.gob.es/energia/glp/Paginas/Index.aspx>
- Anónimo. (10 de Octubre de 2016). *La cara y la cruz de las chimeneas de bioetanol - Twenergy*. Recuperado el 10 de Octubre de 2016, de <https://twenergy.com/a/la-cara-y-la-cruz-de-las-chimeneas-de-bioetanol-1374>
- Anónimo. (01 de Septiembre de 2016). *Our Distillation Columns*. Recuperado el 01 de Septiembre de 2016, de <http://www.odfjell.com/TollDistillation/Pages/OurDistillationColumns.aspx>
- Anónimo. (12 de Octubre de 2016). *Queroseno*. Recuperado el 12 de Octubre de 2016, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Queroseno>
- Anónimo. (12 de Octubre de 2016). *Queroseno | Atmosferis*. Recuperado el 12 de Octubre de 2016, de <http://www.atmosferis.com/queroseno/>
- BIOREACTORCRC. (10 de Septiembre de 2008). *DISEÑO DE BIOREACTORES, Parte 8. Biotecnología Práctica*. Recuperado el 26 de Septiembre de 2016, de <https://bioreactorcrc.wordpress.com/2008/01/29/disenio-de-bioreactores-parte-8/>
- Calle, D. (09 de Octubre de 2010). *De residuo de banano a etanol*. Recuperado el 08 de Octubre de 2016, de <http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/de-residuo-de-banano-a-etanol.html>
- Carrión, P. (12 de Septiembre de 2014). *Alimentos latinos en la Costa Oeste de los EEUU. PromPeru*. Recuperado el 15 de Octubre de 2016, de http://repositorio.promperu.gob.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/751/Alimentos_latinos_costa_oeste_eeuu_1_2014_keyword_principal.pdf?sequence=1
- Costa López, 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.
- 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.
- Enríquez García, A. (12 de Octubre de 2016). *Butano*. Recuperado el 12 de Octubre de 2016, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Butano>
- Escalante Calderón, J., & Fuentes Aquije, H. (2013). *Estudio experimental de obtención de bioetanol a partir de residuos agrícolas de banano orgánico en Piura*. Piura, Piura, Perú.
- García, H. (03 de Septiembre de 2016). *Situación Actual de los Biocombustibles en el Perú*. Recuperado el 08 de Octubre de 2016, de <http://energiayambienteandina.net/getattachment/36e7828d-5061-420a-ac87-4feb711b8585/Situacion-actual-de-los-biocombustibles-en-el-Peru.aspx>



Bioetanol de Plátano

- Garritz, A., & Chamizo, A. (1998). *Química*. Naucalpan de Juárez: Addison-wesley Iberoamericana.
- Garritz, A., & Chamizo, A. (1998). *Química*. Mexico: Iberoamericana.
- Gracia, C. (10 de Septiembre de 2009). *BIOETANOL| Biocombustible ¿energía o alimento?* Recuperado el 08 de Octubre de 2016, de http://www.ub.edu/ecologia/carlos.gracia/PublicacionesPDF/Cap%C3%ADtulo%204_Bioetanol.pdf
- Hernández, M. (2008). *Tendencias actuales en la producción de bioetanol*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar.
- 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://www.ecoportal.net/Temas-Especiales/Energias/Biocombustibles_etanol_producido_de_biomasa_de_celulosa_ni_sustentable_ni_ambiental
- Ibarz, A., & Barbosa-Cánovas, G. (2005). *Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos*. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Marquéz, F. (05 de Abril de 2015). *Grupo Gloria invierte en séptima planta de caña de azúcar y etanol*. Recuperado el Octubre 08 de 2016, de <https://www.jornalcana.com.br/biosugares/gloria-grupo-invierte-en-septima-planta-de-cana-de-azucar-y-etanol/>
- Mosquera A., J. D., Fernandez Henao, S., & Mosquera M., J. C. (2010). CO2 emissions analyze for several fuel of taxis sectoron Pereira and Dosquebradas. *Scientia et Technica*, 141-145.
- Oliva Dominguez, J. (2016). *EFEECTO DE LOS PRODUCTOS DE DEGRADACIÓN ORIGINADOS EN LA EXPLOSIÓN POR VAPOR DE BIOMASA DE CHOPO SOBRE Kluyveromyces marxianus*. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid.
- Organización Mundial de la Salud. (12 de Noviembre de 2014). *who.int*. Obtenido de <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/indoor-air-pollution/es/>
- Pezoa, J. (2016). *GUÍA DE TRABAJOS PRÁCTICOS LABORATORIO I DE QUÍMICA ORGÁNICA*. Santiago, Chile.
- Quo. (11 de Septiembre de 2015). *¿Qué cultivo es mejor para obtener etanol: el maíz o el azúcar de caña?* Recuperado el 08 de Octubre de 2016, de <http://www.quo.es/ciencia/que-cultivo-es-mejor-para-obtener-etanol-el-maiz-o-el-azucar-de-cana>
- Salcedo, R., Font, R., & Martin, I. (10 de Octubre de 2011). *rua.ua.es*. Recuperado el 07 de Octubre de 2016, de https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/20299/11/tema5_operaciones%20separacion.pdf
- Sánchez Riaño, A., Gutierrez Morales, A., Muñoz Hernández, J., & Rivera Barrero, C. (08 de Octubre de 2010). *Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos*. Recuperado el 08 de Octubre de 2016, de



<http://revistas.ut.edu.co/index.php/tumbaga/article/view/58/58>

- Sánchez Riaño, A., Muñoz Hernández, J., Rivera Barrero, C., & Gutiérrez Morales, A. (2010). *Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos*. Tumbaga: Dialnet.
- Sans, R., & De Pablo Ribas, J. (1999). *Ingeniería ambiental: contaminación y tratamientos*. Barcelona: S.A. MARCOMBO.
- Schimdt, S., & Kalpakjian, S. (2002). *Manufactura: ingeniería y tecnología*. Juárez, México: Pearson Educación.
- SING, C. (24 de Agosto de 2016). *Torre de Recuperación*. Recuperado el 24 de Agosto de 2016, de http://cdec2.cdec-sing.cl/pls/portal/cdec.pck_inf_tec_nt_shun_ssee_pub.dsp_cond_react
- Taherzadeh, J. (2007). *Enzyme-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials*. Carolina del Norte, EE.UU: Facultad de Ingeniería Química.
- Tortora, G., Funke, B., & Case, C. (2007). *MICROBIOLOGY: an introduction*. Madrid, España: Editorial Medica Panamericana.
- Valderrama, C. (12 de Abril de 2014). *Oportunidades comerciales en el mercado de los Estados Unidos*. Recuperado el 15 de Octubre de 2016, de <http://export.promperu.gob.pe/Miercoles/Portal/MME/descargar.aspx?archivo=5DC06076-93E5-422E-A7BD-7ACCA6040E72.PDF>
- Vásquez, H., & Dacosta, O. (2016). *Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Velásquez Arredondo, H., Ruiz Colorado, A., & Oliveira, S. (2010). *Análisis energético y exergético del proceso de obtención de etanol a partir de la fruta del banano*. Medellín, Antioquia, Colombia.



Bioetanol de Plátano



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 500 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 CO_2 .

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 anhídrido 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 anhídrido 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.



Bioetanol de Plátano

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 $500 \text{ dólares}/m^3$.



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 Anexo 1.4: Visita Técnica a Caña Brava

Fuente: Elaboración propia



Anexo 2: Exportación de productos nostálgicos a EEUU (2011-2014 miles

US\$)

Exportación de Productos Nostálgicos (Ene-Nov 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%

Fuente: Aduanas – Sunat. (Valderrama, C., 2014)



Exportación de productos nostálgicos a EEUU 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

Fuente: PromPerú (Carrión, P., 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	2 216	10,8
Chocolate	75	156	109	-30,1
Casino	7	44	44	0,6
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

Fuente: PromPerú (Carrión, P., 2014)

Anexo 3: Cuadro de pérdidas y ganancias



ESTADO DE RESULTADOS													
Período	Año 0	Año 1											
Mes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ahorro	0	1463	1463	1463	1463	1463	1463	1463	1463	1463	1463	1463	1463
Inversión	-24502.7	-408	-408	-408	-408	-408	-408	-408	-408	-408	-408	-408	-408
Utilidad Bruta	-24502.7	1054.1	1054.1	1054.1	1054.1	1054.1	1054.1	1054.1	1054.1	1054.1	1054.1	1054.1	1054.1
Gasto Ventas	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		136.97	136.97	136.97	136.97	136.97	136.97	136.97	136.97	136.97	136.97	136.97	136.97
Gasto Depreciación	0.0	-80.7	-80.7	-80.7	-80.7	-80.7	-80.7	-80.7	-80.7	-80.7	-80.7	-80.7	-80.7
UAII	-24,502.7	836	836	836	836	836	836	836	836	836	836	836	836
Gasto Financiero	0	-357.3	-357.3	-357.3	-357.3	-357.3	-357.3	-357.3	-357.3	-357.3	-357.3	-357.3	-357.3
Utilidad Neta		479	479	479	479	479	479	479	479	479	479	479	479

Fuente: Elaboración propia.



Anexo 4: VAN y TIR

FLUJO DE CAJA FINANCIERO						
Período	0	1	2	3	4	5
Flujo Económico	-33,919	17,550	17,550	17,550	17,550	17,550
Flujo Financiamiento Neto	12,824	-4,288	-4,288	-4,288	-4,288	-4,288
Flujo Financiero	-21,095	13,262	13,262	13,262	13,262	13,262

TIR	56%
Ke	8.20%
WACC	10.71%

Flujo Caja Económico descontado por WACC	S/. 31,418
Flujo Caja Financiero descontado por Ke	S/. 31,580

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 5: Punto de Equilibrio

CÁLCULO DEL PUNTO DE EQUILIBRIO ANUAL				
Volumen EtoH (m ³)	Masa EtoH (kg)	kg de etanol / solución	kg de Materia Prima	N° Plátanos necesarios
9.8	7734.3	77342.8	25780.9	64453

PUNTO DE EQUILIBRIO		
N° Plátanos necesarios al año	N° Plátanos necesarios al mes	N° Plátanos necesarios al día
64, 453	5, 372	180

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: Certificado de Aprobación del Prototipo

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE PROTOTIPO

N° 0001-2016

Ejecutada la evaluación solicitada por los miembros del equipo del proyecto: "Estudio experimental de la obtención de biocombustible a partir de cáscara de plátano", conformado por: Mayra Alessandra Zola Gonzáles, Manuel Eduardo Barranzuela Puémape, Dino Castillo Castillo, Ericson Miguel Correa Luzón y José Benjamín Rey Rumiche; al prototipo experimental de etanol producido a partir de cáscara de plátano verde; habiéndose obtenido resultados satisfactorios, se determinó APROBAR dicho prototipo.

1. Identificación del prototipo

- Producto: Etanol (C_2H_5OH).
- Materia prima: Cáscara de plátano verde de tipo bellaco.
- Concentración: 95.24%.
- Proceso de obtención: detallado en el Anexo N° 1.
- N° de destilaciones sucesivas: 4

2. Vigencia del certificado

Este certificado declara la conformidad del prototipo antes citado, representado por las muestras sometidas a evaluación mostradas en el Anexo N° 2.

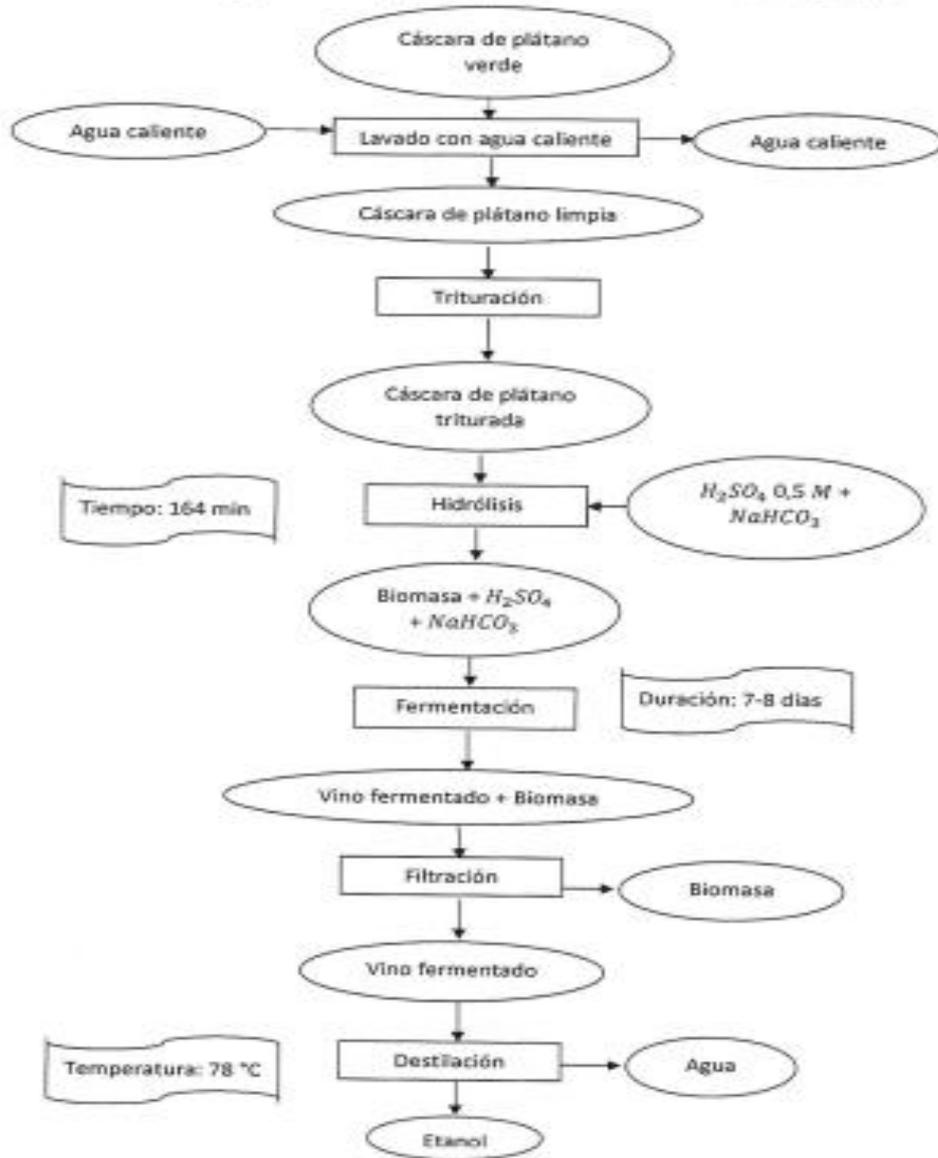
Dado en la ciudad de Piura, a los 31 días del mes de octubre de 2016.

Dr. Ing. Gastón Cruz Alcedo

Profesor Principal de la Facultad de Ingeniería – Universidad de Piura



Anexo N° 1: Diagrama de flujo del proceso de obtención del etanol





Anexo N° 2: Resultados obtenidos de las destilaciones sucesivas

Medición del grado alcohólico en los destilados				
Nº de destilación sucesiva	Lectura del alcoholímetro (Grados)	Volumen de destilado (mL)	Solución diluida (mL)	Pureza de alcohol (%)
1	33	99	190	63.33
2	25	64	190	74.22
3	18	38	180	85.26
4	10	18.9	180	95.24