



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

**PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A TRAVÉS DE LA FERMENTACIÓN EN
BATCH DE LA CÁSCARA DE MANGO (MANGIFERA INDICA) USANDO
COMO INOCULO LA *SACCHAROMYCES CEREVISIAE***

TATIANA ANDREA MARÍN CARVAJAL

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES
FACULTAD INGENIERÍA Y CIENCIAS BÁSICAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
BOGOTÁ D.C
Colombia
2018**



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

**PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A TRAVÉS DE LA FERMENTACIÓN EN
BATCH DE LA CÁSCARA DE MANGO (MANGIFERA INDICA) USANDO
COMO INOCULO LA *SACCHAROMYCES CEREVISIAE***

TATIANA ANDREA MARÍN CARVAJAL

TRABAJO DE GRADO

**DIRECTOR
ING., ADOLFO LEON AGATON**

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES
FACULTAD INGENIERÍA Y CIENCIAS BÁSICAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
BOGOTÁ D.C
COLOMBIA**



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

2018

Nota de aceptación

Docente Investigador

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Firma del jurado

Bogotá, Septiembre de 2018

DEDICATORIA

- DIOS** Por tu protección, por darme el privilegio de tener buenas oportunidades en la vida como poder estudiar.
- CITIBANK** Porque gracias a esta entidad fui patrocinada para realizar esta segunda carrera universitaria. Razón por la cual, le estoy muy agradecida por brindarme una oportunidad más en la vida.
- Mis padres** Libardo Marín Sandoval y Mercedes Carvajal Ramírez porque siempre han sido y serán mi motor para salir adelante, venciendo cualquier adversidad de la vida.



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

AGRADECIMIENTOS

Ing. Adolfo León Agatón

Por su apoyo para poder realizar el presente trabajo, acompañándome en cada proceso y por su entusiasmo.

Ing. Víctor Manuel Carrillo

Por sus ideas y aportes académicos para poder realizar el trabajo.

Fundación Universitaria los Libertadores

Por brindarme las herramientas necesarias para poder tener los conocimientos para lograr mi título como Ingeniería Industrial.



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

TABLA DE CONTENIDO

RESUMÉN.....	12
1. INTRODUCCIÓN	13
1.1 ANTECEDENTES DE ESTUDIOS REALIZADOS RESPECTO A LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL EN COLOMBIA Y OTROS PAÍSES.	16
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
3. JUSTIFICACIÓN	22
4. OBJETIVOS	24
4.1 Objetivo General.....	24
4.2 Objetivos Específicos.....	24
5. MARCO TEÓRICO.....	25
5.1 Agroindustria.....	25
5.2 Biocombustibles.....	25
5.3 Bioetanol.....	25
5.3.1 Beneficios por el uso del bioetanol.....	26
5.3.2 Proceso de Obtención del Bioetanol	26
5.4 Biomasa.....	27
5.4.1 Biomasa vegetal.....	27
5.4.2 Biomasa natural	28
5.4.3 Biomasa residual.....	28
5.4.4 Biomasa lignocelulósica	28
5.5 Mango (Mangifera Indica L)	30



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

5.5.1	Taxonomía del mango	30
5.5.2	Factores Básicos	31
5.5.3	Contenido Nutricional	31
5.6	Residuos	32
5.6.1	Residuos agroindustriales	32
5.6.2	Residuos del Mango (Mangifera indica L)	33
5.7	Subproducto	33
5.8	Desechos	33
5.9	Pre-tratamiento	33
5.9.1	Pretratamiento Térmico	33
5.9.2	Pretratamiento con Explosión por vapor de agua	34
5.9.3	Pretratamiento de agua líquida	34
5.9.4.2	35
5.10	Fermentación Discontinua (Batch)	35
5.10.1	Cultivo en Batch	35
5.10.2	Fermentación alcohólica	36
5.11	Hongos	36
5.11.1	Levaduras empleadas en la fermentación	37
5.11.2	Levadura Saccharomyces cerevisiae	37
5.12	Destilación	38
6.	METODOLOGÍA	38
6.1	Materiales	39
6.1.2	Ubicación	39
6.1.3	Recolección de muestras	39
6.1.4	Lavado de la cáscara de mango	40
6.2	Pretratamiento	40
6.2.1	Pretratamiento Térmico y Físico	40
6.2.2	Hidrólisis alcalina	41



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

6.2.3 Hidrólisis ácida	41
6.3 Proceso de Fermentación.....	42
6.3.1 Control de la fermentación alcohólica.....	43
6.3.2 Medición de alcohol.....	43
6.3.3 Medición de la glucosa	44
6.4 Modelo matemático de la producción de bioetanol.....	46
7 CONCLUSIONES.....	51
Bibliografía.....	52



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Obtención de bioetanol a partir de diferentes tipos de biomasa	26	
FIGURA 2. Estructura de la celulosa	28	
FIGURA 3 Curva típica de crecimiento de una población en un sistema Batch	36	
FIGURA 4 Procedimientos para obtención del alcohol (etanol)	39	
FIGURA 5 Muestra recolectada de la cáscara de mango	40	
FIGURA 6 Medición de pH	FIGURA 7 Toma del pH inicial.....	41
FIGURA 8 Sistema Piloto de Fermentación en Batch.....	42	
FIGURA 9 Medición de la producción de alcohol de alcohol etílico, agua y la muestra fermentada.....	44	



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 Principales leyes en Colombia con relación al alcohol carburante obtenida	14
TABLA 2 producción, rendimiento y área cultivada del mango en Colombia.....	23
TABLA 3 Participación de los principales departamentos productores de mango .	23
TABLA 4 Taxonomía del Mango	30
TABLA 5 Factores básicos	31
TABLA 6 Contenido Nutricional	31
TABLA 7 Información taxonómica de la saccharomyces	37
. TABLA 8 El pH del hidrolizado durante el Pretratamiento alcalino	41
TABLA 9 Medición de la glucosa, Ph, con temperatura constante 27°C y agitación constante de 250 rpm	43
TABLA 10 Medición de glucosa y % alcohol.....	45
TABLA 11 Variables para la Ecuación Monod	47
TABLA 12 Parámetros de las concentraciones	48
TABLA 13 Relación del sustrato con relación al crecimiento de la levadura	49



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1 Comportamiento de la Glucosa con respecto al aumento de % de alcohol obtenido.....	46
GRÁFICA 2 Comportamiento del consume del sustrato vs la levadura <i>saccharomyces cerevisiae</i>	50



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se plantea una nueva alternativa de obtención de bioetanol a partir de residuos agrícolas como la cáscara de mango (*mangifera indica*), utilizando como inóculo la levadura *saccharomyces cerevisiae* para la fermentación alcohólica en los bioreactores de la Fundación universitaria los Libertadores. Se realiza el proceso, basado en el sistema piloto de fermentación en Batch realizado por (Cuchimaque Bolivar Y. A., 2018). Se emplea 1 kg de cáscara de mango, la cual, se somete a un pretratamiento térmico y físico para finalmente trabajar con una muestra de 60 g (seca y triturada). Posteriormente, la muestra es sometida a hidrólisis alcalina e hidrólisis acida con (H_2SO_4) al 3%(v/v), dejándola con un pH 7 (neutro) y poder dar continuidad a la fermentación alcohólica, de la que se obtiene un rendimiento del 4 % de alcohol carburante (etanol). Finalmente, se determina el comportamiento de varias variables de la muestra como la glucosa, el pH, la levadura y sustrato con respecto al tiempo en un periodo de 12 horas.



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

1. INTRODUCCIÓN

Debido a la necesidad de proteger el medio ambiente de las emisiones de gases causantes del efecto invernadero y la crisis energética de los combustibles fósiles por su característica de no renovable, ha hecho que muchos países se interesen en la producción de biocombustibles como el bioetanol, biogás, biodiesel. Para lo cual, como lo menciona (C. B. D'Agua, Pereira, & Marinho, 2015), la Agencia Internacional de Energía IEA tiene proyectado para el 2050 las reducciones de dichos gases en un 50% con respecto al nivel en el 2005. Para lograrlo se necesitará aumentar el empleo de la biomasa en un 300% como consecuencia del aumento de la demanda por la búsqueda de nuevas alternativas de materia prima para generar fuentes de energía renovable.

Dado a lo anterior, muchos países han implementado políticas para la utilización de biocombustibles para el sector de transporte (Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA), 2006). Por ejemplo:

- En la unión europea: 5.75% para 2010 y el 8% para el 2020 en un plan de sustituir el 20% en los combustibles no renovables por combustibles alternativos.
- Brasil: 25% de mezcla obligatoria de bioetanol en gasolinas
- Estados unidos: 4% para 2010 y 20% para 2030
- Canadá: de 7.5% a 10% de mezcla obligatoria de bioetanol en gasolinas
- China: 10% mezcla obligatoria en gasolinas
- Argentina: 5% mezcla obligatoria de bioetanol
- Colombia: 10% de mezcla obligatoria en ciudades principales a partir del 2005

Dichos objetivos están soportados por la legislación de cada país que permiten la mezcla de etanol y gasolina en concentraciones que oscilan entre 5-10% de etanol. Sin modificaciones en los motores, dado que en concentraciones mayores se requieren motores flexibles capaces de funcionar con gasolina y etanol (Amaris, Manrique, & Jaramillo, 2015).



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

En Colombia, el uso del alcohol carburante está regulado bajo la siguiente normatividad general de los biocombustibles (Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia). En la cual, se establece que las gasolinas que se utilicen en el país en los centros urbanos con más de 500.000 habitantes deberán tener un porcentaje de mezcla de alcoholes carburantes (Ministerio de Minas y Energía):

TABLA 1 Principales leyes en Colombia con relación al alcohol carburante obtenida

Norma	Año	Contenido
Ley 693	2001	Estímulos para la producción, comercialización y consumo del etanol
Resolución 180687	2003	Expide la regulación técnica de la Ley 693 2001 con relación a la producción, distribución y puntos de mezcla de los alcoholes carburantes-
Decreto 1135	2009	Con relación al uso de alcoholes carburantes y biocombustibles para vehículos automotores
Decreto 4892	2011	Se dictan las disposiciones aplicables al uso del alcoholes carburantes y biocombustibles para vehículos automotores
Resolución 90932	2013	Se establece los porcentajes de mezcla de alcohol carburante con las gasolinas E10 en plantas de abastecimiento mayoristas
Resolución 40565	2015	Establece el porcentaje de mezcla de alcohol carburante para zona suroccidente del país para de vehículos automotores.
Resolución 40626	2017	Se establece la mezcla de E8 de alcohol carburante con gasolina de motor corriente en todo el país.
Resolución 40185	2018	Se establece el porcentaje de mezcla de alcohol carburante en la gasolina motor corriente y extra a nivel nacional E10.

Fuente: Federación Nacional de Biocombustibles en Colombia.



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Adicional, es importante mencionar que de los biocombustible más desarrollado a escala mundial es el bioetanol, representando el 90% de uso con respecto a otros (IEA Energy Technology Essentials, 2016). Siendo el bioetanol el resultado de la fermentación de azúcares obtenidos principalmente de la caña de azúcar, maíz, trigo, arroz, residuos agrícolas, forestales, y basura orgánica. Se encuentra como etanol anhidro o mezclado en la gasolina con el fin de reducir las emisiones de CO_2 el principal causante del cambio climático (Hernandez, 2016). A su vez, los biocombustibles se clasifican según su materia prima utilizada (Salinas Callejas & Gasca Quezada, Los Biocombustibles, 2009):

Biocombustibles de primera generación: obtenidos a partir de productos agrícolas como cereales, tubérculos, y sacarosa. Su uso genera preocupación en cuanto al uso de tierras, consumo de agua elevado y seguridad alimentaria ya que el economista Don Mitchell, estimó un alza del 70% en los precios de los alimentos empleados para producir biocombustibles.

Biocombustible de segunda generación: obtenidos a partir de material lignocelulósicos que no tiene función alimenticia para el hombre, se pueden plantar en terrenos deforestados y también los podemos encontrar en los residuos agroindustriales.

Biocombustibles de tercera generación: producidos por materia prima modificada procedentes de algas, hidrogeno obtenido de la biomasa.

Ahora, teniendo en cuenta que en Colombia, la producción de bioetanol se da a partir de la caña de azúcar y los cereales, representando un problema de seguridad alimentaria como se menciona anteriormente. Por ende, en el presente trabajo va enfocado en la producción biocombustible de segunda generación a partir de la cáscara de mango (*Mangifera indica*) teniendo en cuenta que en el país se producen 23.700 toneladas de basura por día, donde el 65% proviene de productos orgánicos según cifras recolectadas Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial causando un problema ambiental por el manejo inadecuado de la disposición final de los residuos agrícolas (Tejada, y otros, 2010).

Además, el mayor componente en el mundo es el material lignocelulósicos como fuente segura de energía renovable, la podemos encontrar fácilmente en los residuos agrícolas como la cáscara de mango ya que por su alto contenido de



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

carbohidrato (15.44% en base seca y 7.03% del contenido proteico (Mejia Giraldo, Martinez Correa, Betancur Gutierrez, & Castrillon Castaño, 2007). Hace que sea una materia prima con características claves para la producción de etanol.

En este trabajo de investigación, se llevara a cabo la implementación del sistema piloto de fermentación alcohólica en Batch diseñado por (Cuchimaque Bolivar Y. A., 2018) usando como materia prima la cáscara de mango (*mangifera indica L*) y como inóculo la levadura *saccharomyces cerevisiae* con el fin de producir bioetanol y evaluar el comportamiento de la glucosa.

1.1 ANTECEDENTES DE ESTUDIOS REALIZADOS RESPECTO A LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL EN COLOMBIA Y OTROS PAÍSES.

En la Universidad de Sucre diseñaron una planta de producción de bioetanol usando como sustrato el mango hilaza capaz de procesar 20 Ton/h de mango obteniendo 1666,4 L/h de etanol y con un costo de producción de \$900 pesos / L (Martinez Amell, 2008).

También en la Universidad Católica de Manizales, realizaron un estudio del proceso de fermentación a través de los residuos del mango usando la *saccharomyces cerevisiae* para obtener bioetanol, iniciaron con pre tratamiento térmico a 121°C y 2 psi por 30 min. Después, realizaron el proceso de hidrólisis enzimática con dos microorganismos (*Trichodema spp* y *Aspergillus brasilliensis*) obteniendo un rendimiento de azúcares del 100 y 98% y un rendimiento de etanol de 2,462 g alcohol/litro de solución y 3,050g g alcohol/litro respectivamente (Ospina Henao, Hernandez Rodriguez, & Lozano Moreno, 2012).

Un grupo de investigación en Ciencias agropecuarias del SENA, relacionaron las siguientes fuentes de residuos agroindustriales que se generan en Colombia como el café, la palma de aceite, caña de azúcar, caña panelera, maíz, arroz, residuos cítricos, la naranja, la mandarina, mango común que no se aprovechan generando un impacto ambiental por su disposición final. Dichos residuos se pueden usar para desarrollar productos con valor agregado para la industria de construcción, para la producción de biocombustibles, farmacéuticos, cosméticos entre otros, llegando a la conclusión que en Colombia tan solo se aprovecha el 17% de los residuos con un camino largo por explorar, investigar para poder desarrollar procesos o productos competitivo (Peñaranda Gonzalez, Montenegro, & Giraldo Abad, 2017).



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

En la Fundación Universitaria de América de Colombia evaluaron la producción de bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos de la industria de pulpa de frutas concluyeron que los residuos de mora, limón, maracuyá, lulo y mango son los más viables para dicho estudio. Obteniendo como resultado el mejor rendimiento de producción de bioetanol en las mezcla de las pulpas de frutas como limón-lulo con un 9.22 g/kg. Adicional, los residuos que presentaron mayor concentración de celulosa son el mango con un 17.85% y la mora 16.43%, con una humedad entre 69 y 81% respectivamente siendo un factor importante con respecto al rendimiento de producción de bioetanol ya que de esta mezcla solo se obtuvo 5.41 g/Kg y del residuo de mango sin mezclar se obtiene un rendimiento de 6.85 g/Kg (Malagon Mican, Paez, Lache Muñoz, Santos Aguilar, & Zabala Garcia, 2017)

En otros estudios realizaron varios métodos de hidrólisis con el fin de reducir los polisacáridos de los residuos del mango a monosacáridos para hacer posible la fermentación y llegaron a la conclusión: La hidrólisis acida fue la más efectiva a 0.50% v/v de ácido sulfúrico a una temperatura de 80°C por hora con un rendimiento obtenido de 52.75% de azúcares reductores. Sin embargo, este proceso requiere del uso de altas temperatura superando los 120° C y para lograrlo se requieren de equipos más costosos. Por lo cual, recomiendan usar un tratamiento combinado como la hidrólisis enzimática como tratamiento principal y la hidrólisis térmica como pretratamiento por temas de seguridad por el uso de reactivos y por el costo de inversión (Mejia Giraldo, Martinez Correa, Betancur Gutierrez, & Castrillon Castaño, 2007).

En la Fundación Universitaria los Libertadores diseñaron un Sistema piloto de Fermentación en Batch para la producción de bioetanol a partir de la biomasa de la *Eichhornia Crassipes* (Cuchimaque Bolivar Y. A., 2018). Que será la guía para la elaboración de este trabajo de investigación utilizando para la fermentación la cáscara del mango. Adicional, en otro trabajo de investigación realizaron el proceso de fermentación alcohólica a partir de la uva común, validando el sistema piloto de fermentación en Batch. Donde obtuvieron 6.3% de etanol (Hurtado Rodriquez & Jimenez Sabi, 2018).

En otros estudios a nivel mundial, se estima una producción de 42 millones de toneladas de mango siendo india, china, Kenia, Tailandia, indonesia, Pakistán y México los principales productores (Torres Leon, y otros, 2016) citando a O'Shea, Arendt y Gallagher, 2014), quienes indican que de los procesos industriales del mango se generan residuos que van de 35 a 60% de la fruta, lo que significa que



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

se está desperdiciando un gran porcentaje de la fruta de mango, generándose a su vez el desperdicio de una oportunidad para ser usada como materia prima para la obtención de bioetanol.

En la Escuela Agrícola de Panamericana, zamorana honduras llevaron a cabo un prototipo de destilador continuo con energía solar para obtener bioetanol a partir del vino del mango a diferentes rangos de temperatura ambiente siendo el más óptimo la temperatura ambiente mayor a 75.4°C obteniendo mayor cantidad de alcohol destilado. (Balcazar Suarez, 2008).

En el departamento de investigación en alimentos de la Universidad Autónoma de Coahuila, México utilizaron los residuos de la corteza de los árboles de mango por su alto contenido de material lignocelulósicos para la producción de bioetanol aplicando los siguientes métodos; la hidrólisis y fermentación separada(HFS), la sacarificación y fermentación simultanea(SFS) y la presacarificación seguida de SFS(PSFS) con el fin de evaluar el método más óptimo en términos de rendimiento de etanol, productividad, y la producción de etanol por tonelada de residuo y como conclusión se obtiene mejor resultado en la presacarificación(PSFS) con rendimiento de 236 L de etanol por tonelada y concentraciones de 39.12 g/L (Nieves, y otros, 2015).

En un estudio realizado por (Carrillo Nieves, y otros, 2016) evaluaron la eficiencia de dos pretratamientos químicos con ácido fosfórico e hidróxido de sodio usados en los residuos de la corteza de los árboles de mango. Obtuvieron mejores resultados en el pretratamiento alcalino con respecto al ácido fosfórico por eliminar o modificar la lignina de la biomasa, y por el aumentando de las concentraciones de glucosa que es un parámetro importante para determinar el mejor rendimiento de la hidrólisis enzimática bajo las siguientes condiciones:

En dicho estudio realizaron pretratamiento alcalino a 120 ° C, 15 min, con una relación solido liquido (1:10) con el mejor rendimiento para obtener glucano y del resultado de la hidrólisis enzimática al 21% de carga solida tuvieron un rendimiento de producción de glucosa de 71.2 g/L, 56.3%. Sin embargo, con 15% de carga sólida, las concentraciones de glucosa fueron 48.9 g/L con un rendimiento de 75.3%.

En la Universidad Curtin, Malasia realizaron un estudio de la producción de bioetanol usando como materia prima los residuos de yuca y mango para la



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

fermentación en Batch con el fin de desarrollar un modelo matemático llamado EMK para representar los efectos del pH y tasa de aireación del comportamiento microbiano. Siendo un modelo de bajo costo, optimizando los estudios experimentales de los biorreactores. (Han Seer & Nandong, 2016)

En la universidad de Hong Kong realizaron una revisión de las tendencias actuales de alternativas de valorización de los residuos alimenticios que se generan en Asia durante la cadena de abastecimiento desde la producción hasta la venta al por menor cumpliendo con los objetivos de lograr la seguridad alimenticia, la protección ambiental y la eficiencia energética (Lung Ong, Kaur, Pensupa, Uisan, & Ki lin, 2018) encontrando usos para la fabricación verde ,sostenibles y generación de bioenergía convencional.

En un estudio de grado de la Universidad Técnica del Norte de Ecuador, realizo un estudio diferentes parámetros de un motor con relación al porcentaje de emisiones de gases contaminantes, el consumo del combustible, desempeño mecánico usando gasolina de 92 octanos y mezcla de gasolina con etanol E10. Obteniendo resultados favorables con el uso de la gasolina mezclada ya que obtuvieron reducción de consumo de gasolina de un 10.29%, aumento el rendimiento del consumo en un 27.34%, disminución de los gases contaminantes en un 66.17% en el monóxido de carbono (CO), y 77.80% de hidrocarburos no combustionados, la potencia del motor aumento en un 18% (Arias, 2018). Demostrando una vez más que el uso del etanol es una opción viable para disminuir la contaminación ambiental del mundo disminuyendo el efecto invernadero.



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, nos enfrentamos a una gran problemática a nivel mundial con relación a la contaminación ambiental debido al incremento de los gases contaminantes como: CO_2 , metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonados, perfluorocarbonados y hexafluoruro de azufre que son liberados a la atmósfera acelerando el cambio climático por el efecto invernadero (Castro, Beltrán, Ortiz, & Ojeda, 2012) como consecuencia de la dependencia por el uso principalmente de combustibles derivados del petróleo.

Así mismo, el incremento de la demanda de consumo de energía en un 30% hasta el 2040 según informa la (IEA Energy Technology Essentials, 2016). Por ende, es necesario aplicar nuevas alternativas de energía renovable, amigables con el medio ambiente, que sean económicas, que puedan suplir la necesidad del consumo de energía y disminuir la dependencia frente a los combustibles de origen fósil como los biocombustibles.

Ahora, el uso del biocombustible se encuentra en desarrollo en varios países como; Brasil, Estados Unidos, España, Alemania, Argentina, Uruguay, Chile, Francia, India, Japón, Nicaragua, por ser una fuente de energía segura. Por el uso de materias primas que tienen la característica de ser renovable, permitiendo la disminución de las emisiones de los gases de efecto invernadero (Amaris, Manrique, & Jaramllo, 2015).

Adicional, debido al desarrollo agroindustrial, al crecimiento poblacional y a una sociedad consumista en Colombia se están generando alrededor de 12 millones de toneladas de basura de las cuales solo se recicla el 17% información suministrada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, 2017. Razón por la cual, surge la necesidad de aumentar el interés por el aprovechamiento de los residuos para generar otros productos que pueden ser reutilizados para generar energía o en diferentes aplicaciones por su bajo costo, a la gran disponibilidad de residuos y la reducción al impacto ambiental. Así mismo, en un estudio realizado por el Banco Mundial y Planeación Nacional, 2015 indican que, "si se continúa con la misma



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

dinámica de generación de residuos, sin adecuadas medidas para mejorar su aprovechamiento o tratamiento, y con patrones de producción y consumo insostenibles, en el año 2030 tendremos emergencias sanitarias en la mayoría de ciudades del país y una alta generación de emisiones de gases de efecto invernadero”. El no aprovechamiento de estos residuos implica un problema ambiental por su disposición final y por la crítica capacidad de los rellenos sanitarios del país para recibir desechos.

Por tal motivo, en este trabajo de grado se quiere dar a conocer la producción de bioetanol a partir de la cáscara de mango con el fin de disminuir la dependencia de los combustibles fósiles, y aprovechar el uso de los residuos agrícolas que ha cogido gran relevancia en Colombia por la preocupación de su disposición en los rellenos sanitarios del país.



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

3. JUSTIFICACIÓN

Debido a que los biocombustibles pueden sustituir el uso de los combustibles fósiles más usados como el petróleo y el carbón. Siendo el bioetanol y el biodiesel los más desarrollados en el mundo (Salinas Callejas & Gasca Quezada, Los Biocombustibles, 2009).

Dado a la característica del biocombustible " El etanol es un componente libre de compuestos aromáticos, de benceno y azufre, por lo tanto la mezcla produce menos humo (partículas) y genera menores emisiones. Al utilizar una mezcla del 10% de etanol se produce una reducción de emisiones de CO entre 22 y 50% en vehículos de carburador, así como una disminución de hidrocarburos totales entre 20 y 24%" (Jaramillo Henao & Zapata Maquez, 2008)

Ahora, la producción de bioetanol en Colombia se da a partir de productos agrícolas como el maíz y la caña de azúcar, generando competencia para el consumo de alimentos para el hombre. Por lo cual, en este trabajo se opta por la producción de bioetanol a partir de desechos de la fruta como las cáscara de mango, ya que tiene una gran ventaja competitiva por ser una materia prima fácilmente fermentable y de bajo costo.

Adicional, la producción de mango en Colombia viene en crecimiento según cifras recolectadas por el DANE, en la cual, se obtuvo una producción de 247.257 ton para el 2012 a 281.980 ton para el 2016 ver (tabla 1), con un incremento del consumo nacional en un 2.5% anual, siendo Tolima, Cundinamarca, atlántico, magdalena y córdoba las principales productoras de mango en el país ver (tabla 5) (MINISTERIO DE AGRICULTURA, 2016).

Teniendo en cuenta lo anterior, con el crecimiento de la producción del mango se genera el aumento de los residuos de la fruta. Dado, a que en producción se desperdicia entre el (35-60) % de la fruta. Razón por la cual, es de gran importancia



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

encontrarle un valor agregado a este porcentaje de desperdicios convirtiéndolo en materia prima relevante para la producción de bioetanol.

TABLA 2 producción, rendimiento y área cultivada del mango en Colombia.

Año	2012	2013	2014	2015	2016
Hectárea(ha)	22.544	23.432	24.290	25.016	26.703
Toneladas(ton)	247.257	258.679	273.112	255.952	281.980
Rendimiento(ton/ha)	10.97	11.04	11.24	10.23	10.56

Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural –FEDEMANGO

TABLA 3 Participación de los principales departamentos productores de mango

Departamentos	Tolima	Cd/marca	Atlántico	Magdalena	Córdoba	otros
Productores						
Participación 2016	29%	27%	10%	8%	8%	18%

Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural 2016

Finalmente, dado al compromiso que tiene el país en reducir las emisiones de gases causantes de la contaminación atmosférica apoyando e implementado nuevas fuentes de energía renovable como la producción de bioetanol, se suma el bajo nivel de reciclaje en el país o de aprovechamiento de residuos agrícolas. Según cifras del ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el país se generan 12 millones de toneladas de basura al año y solo se aprovecha el 17%. Y según un estudio realizado por el Banco Mundial y Planeación Nacional en el 2015 informan que de



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

continuar sin medidas para aprovechar o tratar los residuos para el 2030 abran consecuencias como emergencias sanitarias y aumento de la generación de emisiones de gases de efecto invernadero.

Por tal motivo, se desarrolla este trabajo de grado para demostrar el proceso de obtención de alcohol carburante usando como materia prima la cáscara de mango. Dentro de los procesos se inicia con una hidrólisis química con hidróxido de sodio (NaOH) seguida con ácido sulfúrico (H_2SO_4) para la reducción de azúcares y poder realizar la fermentación en Batch usando la levadura *saccharomyces cerevisiae* en los bioreactores de la Fundación Universitaria los Libertadores

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Realizar el proceso de producción de Bioetanol a partir de la fermentación alcohólica de la cáscara de mango (*mangífera indica*) con la *saccharomyces cerevisiae* como microorganismo fermentable.

4.2 Objetivos Específicos

Aplicar el sistema piloto de fermentación en Batch (cerrada) de la Fundación Universitaria los Libertadores para la obtención de alcohol carburante de la cáscara de mango común.



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Realizar el proceso de hidrólisis ácida y alcalina a la cáscara de mango para posterior realizar la fermentación alcohólica.

Evaluar el comportamiento de la concentración de glucosa durante el proceso de degradación de la biomasa de la cáscara de mango para la obtención de bioetanol.

Evaluar el comportamiento del pH durante el proceso de fermentación alcohólica.

Evaluar el comportamiento de la levadura *saccharomyces cerevisiae* con relación al sustrato

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Agroindustria

Es una actividad económica que involucra la producción agrícola y la industria para el desarrollo de productos alimenticios y de los procesos de producción, comercialización se generan residuos que de no ser bien tratados conllevan a problemas ambientales (Peñaranda Gonzalez, Montenegro, & Giraldo Abad, 2017)

5.2 Biocombustibles

Comprende alcoholes, éteres, esteres u otros productos químicos obtenidos de la biomasa como las plantas, residuos agrícolas, actividad forestal, desechos industriales, desechos metabólicos con el objetivo de reducir las emisiones de CO₂ sustituyendo el uso de la gasolina (Salinas Callejas & Gasca Quezada, Los Biocombustibles, 2009) .Teniendo una ventaja competitiva con los combustibles fósiles por su característica de renovables.

5.3 Bioetanol

Es un biocombustible producto de la fermentación a partir de materia prima rica en glucosa, almidón o celulosa. Por tal motivo, se le designa al etanol el nombre de "bioetanol" (Vázquez & Dacosta, 2007).Se encuentra como etanol anhídrido o mezclado con gasolina hasta un 10%(E10) reduciendo las emisiones de monóxido de carbono (de la Cerna Hernandez, 2016). Adicional, como es un producto químico



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

cuya fórmula química es CH_3CH_2OH . Se encuentra en estado líquido incoloro en inflamable con un punto de ebullición $78^{\circ}C$ (Garzon Cataño & Hernandez Londoño, 2009). Su uso es de característica renovables debido que al ser quemado se libera al dióxido de carbono retornado a la naturaleza para la fotosíntesis de las plantas y de esta manera se producir más biomasa (Castro, Beltran, Ortiz, & Ojeda, 2012).

5.3.1 Beneficios por el uso del bioetanol.

Principalmente sirve como alcohol carburante para los vehículos automotores. Aumentando el índice de octano lo que conlleva a las reducciones del consumo de gasolina y emisiones de dióxido de carbono de un 5 a 10%. Se encuentra mezclado con la gasolina sin plomo en un porcentaje de (10-25) %. Sin embargo, se puede encontrar en un 100% en algunos motores muy adaptados.

5.3.2 Proceso de Obtención del Bioetanol

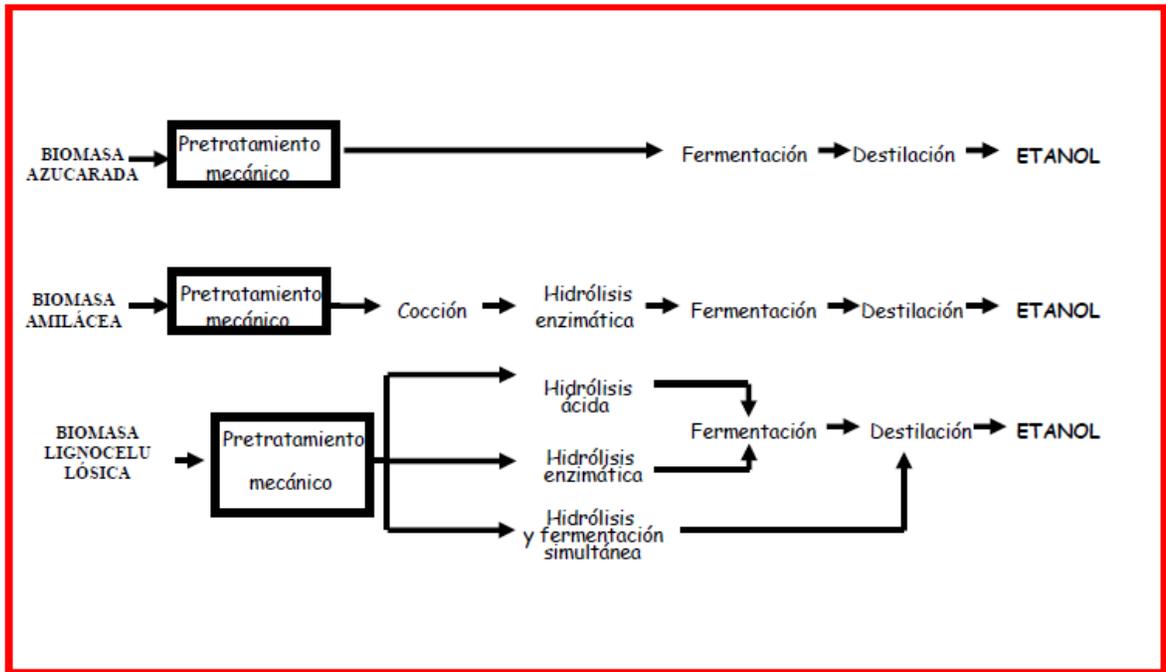
En la Figura 1 se puede visualizar los principales procesos que se realizan para la producción del bioetanol según el tipo de biomasa.

FIGURA 1. Obtención de bioetanol a partir de diferentes tipos de biomasa



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA



Fuente: Abril, Alejandro & Navarro, Enrique. Biomasa lignocelósica.

Como se menciona anteriormente, hay una gran problemática tanto ética como económica respecto al uso de productos alimenticios para la producción de biocombustibles para automóviles. Por tal motivo, este trabajo de investigación se centra en la producción de etanol a partir del material lignocelulósico obtenido tanto de plantas como residuos agroindustriales que también traen consigo problemas ambientales por su disposición final presentes en el país.

5.4 Biomasa

Se entiende como materia prima orgánica formada por vía biológica de origen vegetal y animal (Salinas Callejas & Gasca Quesada, 2009). Se puede clasificar según su origen vegetal, animal y residual como lo mencionan (Abril & Navarro, 2012):

5.4.1 Biomasa vegetal



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Proveniente de materia orgánica de origen vegetal, residuos agrícolas y residuos forestales.

5.4.2 Biomasa natural

Proviene de los ecosistemas naturales.

5.4.3 Biomasa residual

Provenientes de materia orgánica por vía natural o por la tecnología aplicada por el hombre como los residuos forestales, agroindustriales, residuos biodegradables (aguas residuales, lodo).

5.4.4 Biomasa lignocelulósica

De origen vegetal con una gran ventaja por ser biodegradables y renovables, siendo el material más abundante de la tierra, con diferentes fuentes como: bosques, cultivos agrícolas, residuos agrícolas, industria de papel. Su estructura química está compuesta por (celulosa, hemicelulosa, lignina) en un 75% del material y por otros compuestos inorgánicos, transformándose en ceniza después de la combustión.

5.4.4.1 Celulosa

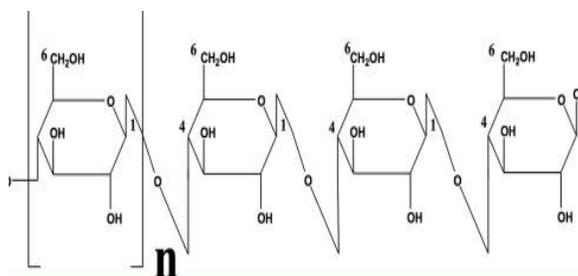
Es un polímero de glucosa, constituido por la unión de moléculas anhidroglucosa. Dichas moléculas están unidas por enlaces β -(1,4)-glucosídicos (Martinez Guerra, 2014) (Ver Figura 2).

FIGURA 2. Estructura de la celulosa



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA



Fuente: (Martinez Guerra, 2014)

Las cadenas de la celulosa tienen orientación lineal en dirección longitudinal y con una estructura cristalina. La estereoquímica de la unión de las unidades de glucosa en la cadena de la celulosa forman un ángulo de 180° entre sí, permitiendo la formación de tres enlaces de hidrógeno entre cada cadena adyacente. Dichos enlaces de hidrógeno hacen que la celulosa sea muy resistente (Abril & Navarro, 2012)

Adicional, (como Abril & Navarro cita a Millet et al, 1975) al tener una estructura cristalina hace que la celulosa sea insoluble en el agua por lo que se requiere de tratamientos físicos como la molienda para disminuir la polimerización del material y la cristalinidad para continuar con un tratamiento químico con ácidos o álcalis rompiendo la estructura interna.

5.4.4.2 Hemicelulosa

Estructura constituida por diferentes polímeros como pentosas (xilosa y arabinosa), hexosas (manosa, glucosa y galactosa), azúcar y ácidos enlazadas glucosídicamente (Sánchez Riaño, Guitiérrez Morales, & Rivera Barrero, 2010). También permiten la conexión con la lignina y la celulosa.

5.4.4.4 Lignina

Polímero condensado de gran peso molecular y de estructura amorfa. Constituido por tres unidades fenilpropano (p-coumaril, coniferil y sinapil alcohol) Sus funciones principalmente son dar resistencia y adherirse a la pared celular (Sánchez Riaño, Guitiérrez Morales, & Rivera Barrero, 2010).



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

5.5 Mango (*Mangifera Indica* L)

Es la especie más importante de la familia anacardiácea por su distribución mundial. Siendo el 5° fruto de consumo mundial y el 3° de los frutos tropicales (Galán Saucó, 2009) . Según cifras de la FAO en el 2015, el mango es producido alrededor de 100 países. Adicional, este fruto es cultivado desde tiempos antiguos según las sagradas escrituras hindúes en los años 2000 y 1500 a. (Popenoe, 1920).

5.5.1 Taxonomía del mango

TABLA 4 Taxonomía del Mango

Clase	Dicotiledóneas
Subclase	Rosidae
Orden	Sapindales
Suborden	Anacardiinea
Familia	Anacardiaceae
Género	<i>Mangifera</i>
Especie	<i>Mangifera Indica</i>

Fuente: Libro El Cultivo del Mango por Galán Víctor



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

5.5.2 Factores Básicos

TABLA 5 Factores básicos

Temperatura optima	(24-27) °C
pH de los suelos	5.5-7.5
Tamaño	(2.5-30) cm
Forma	Ovalada o redonda
Color	Verde, Amarillo y Rojo
Característica	Climatérica
Semilla	9 a 27% Peso de la fruta
Humedad	84%

Fuente: Trabajo de grado (Ospina Henao, Hernandez Rodriguez, & Lozano Moreno, 2012)

5.5.3 Contenido Nutricional

Es una fruta muy popular a nivel mundial por lo deliciosa y por su fuente nutritiva, se comercializa para fabricación de jugos, salsas, pulpería de frutas, mermeladas, jaleas entre otros. A continuación en la tabla No 4 se mostrara el contenido de nutrientes por cada 100 gr por Duben, 2004:

TABLA 6 Contenido Nutricional

Agua	17 g
Calorías	65 kcal
Proteína	0.5g



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Carbohidratos totales	12.8 g
Fibra	0.63 g
Ceniza	0.4g
Calcio	10 mg
Fosforo	13 mg
Hierro	0.4 mg
Sodio	7 mg
Potasio	189 mg
Vitamina A	4.800 UL
Tiamina	0.05 mg
Niacina	1.1 mg
Ácido Ascórbico	35 mg
Grasa	0.3g
Vitamina c	28 mg

Fuente: <https://www.lifeder.com/propiedades-del-mango>

5.6 Residuos

Aquellos materiales que se generan de procesos industriales que puede tener un valor comercial. (Saval Bohorquez, 2012)

5.6.1 Residuos agroindustriales

Es la combinación del proceso productivo agrícola con la industria para generar y comercializar productos alimenticios semi-elaborados o en fresco. Entre los productos que se procesan se encuentran: frutas, verduras, semillas, tubérculos que son transformados por ejemplo; en jugos, mermeladas, pulpas, aceites entre



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

otros. Dichos procesos traen como consecuencia la generación de residuos (Saval Bohorquez, 2012)

5.6.2 Residuos del Mango (*Mangifera indica* L)

Es definido como materia prima de tipo vegetal o biomasa lignocelulósica viable para realizar fermentación alcohólica. Dicho tejido lignocelulósico, se puede aprovechar para lo obtención de productos fermentables como el bioetanol.

5.7 Subproducto

Es un producto generado del resultado de un proceso industrial que puede ser útil, tienen valor agregado y se puede comercializar (Saval Bohorquez, 2012).

5.8 Desechos

Aquellos materiales que se generan de procesos industriales que no tiene un valor comercial, ni pueden ser reutilizados en algún proceso y se les deben dar una disposición final. (Saval Bohorquez, 2012).

5.9 Pre-tratamiento

Consiste en aumentar la susceptibilidad de la materia prima, reduciendo la lignina, reduciendo la cristalinidad de la celulosa para poder continuar con la hidrólisis. Dicho proceso consiste básicamente en un tratamiento mecánico. Es decir, trituración, molienda y secado de la materia prima. (Hernandez, 2016).

5.9.1 Pretratamiento Térmico

La biomasa lignocelulósica es calentada a temperaturas que van de 150-180°C, permitiendo la solubilidad de la lignina y la hemicelulosa (Garrote, Dominguez, & Parajó, 1999). Durante este pretratamiento, una parte de la hemicelulosa se hidroliza formando ácidos. Dichos ácidos permiten continuar con la hidrólisis de la hemicelulosa (Gregg & Sandler, 1996).



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

5.9.2 Pretratamiento con Explosión por vapor de agua

Mediante la inyección directa de vapor saturado a la materia prima con temperaturas de 160-260°C, entre intervalos de tiempo de 1 y 10 minutos. Después se descomprime a la presión atmosférica (Sánchez Riaño, Guitiérrez Morales, & Rivera Barrero, 2010), a su vez, citando a (Duffy y Murray, 1996) quienes indican que del resultado de la explosión por vapor se obtienen alteraciones físico químicas de la biomasa y una celulosa más accesibles para la hidrólisis enzimática evitando la formación de inhibidores.

5.9.3 Pretratamiento de agua líquida

Se somete la biomasa al contacto de agua caliente a temperaturas entre 170-230°C durante un tiempo de 47 min. Permitiendo solubilizar la hemicelulosa evitando la formación de inhibidores, para evitar los inhibidores se debe mantener el pH entre 4 a 7. (Sánchez Riaño, Guitiérrez Morales, & Rivera Barrero, 2010), a su vez cita a (Kohlmann et al, 1995). Manteniendo este rango de pH se evita la formación de monosacáridos, y productos de degradación que sigan catalizando la hidrólisis de la materia prima durante dicho Pretratamiento.

5.9.4.1 Hidrólisis ácida

Es un proceso químico que usa como catalizadores ácidos para transformar los polisacáridos de la biomasa lignocelulósica en monómeros. Entre los ácidos utilizados se encuentra; sulfúrico, clorhídrico, sulfuroso, fosfórico, nítrico y fórmico (Galbe & Zacchi, 2002). Los métodos de hidrólisis ácida se clasifican en dos: se emplean ácidos concentrados (10-30) % a temperaturas de 170-190°C y los ácidos diluidos (1-5) % a temperaturas de 160 a 270°C tiempo de 1-12 segundos. La reacción que se genera es la hidrólisis de la hemicelulosa, el xilano y el glucomano. La función principal de la hidrólisis es liberar la glucosa que está presente en la biomasa lignocelulósica produciendo azúcares fermentables a partir de la celulosa y hemicelulosa. Sin embargo, antes de iniciar un proceso de hidrólisis se debe realizar un Pretratamiento para aumentar la susceptibilidad del material.



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

5.9.4.2 Hidrólisis alcalina

Se usa como catalizador el NaOH diluido en la biomasa lignocelulósica, a 60°C por 24 horas, generando reacciones de solvatación y saponificación. Lo que permite que la biomasa se expanda haciéndola más accesible a las enzimas. Ya en altas concentraciones alcalinas, se genera la degradación y rompimiento de los polisacáridos (Fengel & Weneger, 1984) por ende es importante controlar el pH de la muestra que utilizemos.

Una vez realizado el pretratamiento se obtiene una muestra solida insoluble en agua rica en celulosa y lignina; la otra muestra liquida compuesta de hemicelulosa. Después se realiza la hidrólisis de cada una de las muestras como resultados se obtienen los monómeros es decir, hexosas y pentosas que son la materia prima para la obtención de etanol (Cortes Ortiz, 2013)

5.10 Fermentación Discontinua (Batch)

También conocida como proceso en Batch. Es decir, un sistema cerrado, en el que la solución se inocula con microorganismos permitiendo la fermentación en condiciones óptimas en volumen constante sin adicionar ácidos o bases para controlar el pH de la muestra (como cita (Rittmann & MccCARTY) a Doran, 1988).

5.10.1 Cultivo en Batch

El crecimiento de los microorganismos es de tipo exponencial. Es decir un reactor continuo, donde llega un punto que el crecimiento de los microorganismos se limita por factores ambientales. En al siguiente Figura 3 podemos observar la curva de crecimiento de un cultivo inoculado en un tiempo determinado con las condiciones óptimas de temperatura, pH y nutrientes como la glucosa demostrando las 4 fases del ciclo de vida: Demora, fase exponencial, fase estacionaria y muerte (Rittmann & MccCARTY).



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

FIGURA 3 Curva típica de crecimiento de una población en un sistema Batch



Fuente: sitio web de la Universidad Nacional del Sur cap. 8 Introducción a Bioreactores (Universidad Nacional del Sur de Argentina, 2014)

5.10.2 Fermentación alcohólica

Es un proceso biológico por la actividad de microorganismos como por ejemplo la levadura comercial *saccharomyces cerevisiae* que degrada los azúcares presentes en la biomasa lignocelulósica con el fin de producir alcoholes y dióxido de carbono como lo muestra la siguiente ecuación 1 (Vázquez & Dacosta, 2007):



A pesar de ser una ecuación simple, la degradación de la glucosa es un proceso complejo debido a que al mismo tiempo la levadura consume glucosa para reproducirse. Según Gay Lussac de 1 g de glucosa se obtiene 0.511 g de etanol y 0.489 g de CO_2 según el rendimiento teórico estequiométrico, sin embargo, en los rendimientos ya en la industria oscilan de 87 a 93 % del rendimiento teórico como cita (Vázquez, 2007 a Bourdel, 1987).

5.11 Hongos

Pertenecen a los principales agentes de descomposición en el mundo. Son importantes para la descomposición de residuos orgánicos lignocelulósicos. A su vez, se encuentran más de 50,000 especies diferentes de hongos como los mohos, levaduras, añublos, royas, tizones, bejines y setas. Dentro de la clasificación de los mohos se encuentran las levaduras que se reproducen por embriones que se usan para hacer pan y vino. Adicional, la levadura permite realizar el proceso de



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

fermentación transformando la glucosa en alcohol. Es importante para su crecimiento óptimo que tenga un nivel del pH en 5.5. Aunque tiene una tolerancia de niveles entre 2 a 9 para su reproducción. En cuanto a la temperatura óptima para su crecimiento oscila entre 22°C a 30°C (Rittmann & MccARTY).

5.11.1 Levaduras empleadas en la fermentación

Son microorganismos de mayor uso a nivel industrial en la producción de etanol, debido a su productividad, facilidad de separación después de la fermentación, eficiencia y económica. Se clasifican según su género como la Cándida (Seudotropicalis), Saccharomyces (Cereviceae, ellipsoideus, anamensisi, carlsbergenis) entre otras. Trabajando a temperaturas superiores a 40°C (Sánchez Riaño, Guitiérrez Morales, & Rivera Barrero, 2010).

5.11.2 Levadura Saccharomyces cerevisiae

Es un hongo unicelular, del grupo de los ascomicetos. Se encuentra sobre los sustratos ricos en azúcares, en lo exudados, y savias dulces de algunas plantas citando (Zambrano Loyola, 2015 a Moyad, 2018).

Es una de las cepas más usadas a nivel comercial para la producción de vino, pan. Dicha levadura realiza el proceso fermentativo en condiciones anaerobias. Es decir, con ausencia del oxígeno. Para lo cual, para la producción de etanol debe estar en condiciones de ausencia de oxígeno (Zambrano Loyola, 2015).

Es la especie de levadura más utilizada a nivel industrial por su fácil manipulación y recuperación, bajos costos. No es exigente en cuanto a su cultivo, tolera altas concentraciones de azúcares. En la siguiente tabla 5 esta su clasificación taxonómica.

TABLA 7 Información taxonómica de la saccharomyces

Reino	Hongo
División	Amastogomycota
Subclase	Hemiascomycetidae
Orden	Endomycetales



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Familia	Saccharomycestaceae
Subfamilia	Saccharomycetidae
Genero	Saccharomyces
Especie	Cerevisiae

Fuente: (Carballo, 2000)

La *saccharomyces cerevisiae* es una levadura de color crema o blanco, apariencia húmeda, con bordes irregulares, se duplica de 1 a 3 horas, con una temperatura óptima entre 25-30 °C. Sus dimensiones van de 2.5-10 micras de ancho y 4.5-21 micras de largo (Fajardo Castillo & Sarmiento Forero, 2007)

5.12 Destilación

Su objetivo es separar los componentes de una mezcla gracias a la propiedad física de la volatilidad que se presentan en cada componente. Es decir, el alcohol producido de la fermentación de los azúcares se alimenta por una columna de destilación con el fin de separar el agua y etanol (Gomez Vargas, Gutierrez Gonzalez, Rangel Hernandez, & Rivera Rosillo, 2011)

6. METODOLOGÍA

En la figura 4, se ilustra los procesos realizados en el presente trabajo de investigación, acondicionando la cáscara de mango mediante el pretratamiento térmico, físico y finalmente la hidrólisis para obtener el mejor rendimiento de producción de alcohol(etanol) durante la fermentación alcohólica.



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

FIGURA 4 Procedimientos para obtención del alcohol (etanol)



Fuente: Autor

6.1 Materiales

- 2 Sistema de piloto de fermentación
- 5 g de *Saccharomyces Cerevisiae*
- 60 g de cáscara de mango seca y triturada
- 1 Balanza de precisión
- Alcoholímetro por sumersión
- Glucómetro
- Tiras de Glucómetro
- Tiras de pH
- 2 barras de agitación de 51.16 mm
- 2 Probetas de 1000 mL
- 1 pipeta de 25 mL
- Molinillo de Café/Triturador
- Horno microondas
- Sistema de destilación casero
- Matraz aforada de 500 ML
- Potenciómetro portátil

6.1.2 Ubicación

Este trabajo de investigación se desarrolló en las instalaciones del laboratorio de la Fundación Universitaria los Libertadores.

6.1.3 Recolección de muestras

Se recolecta la muestra de un 1 kg de la cáscara de mango común en un punto de venta de ensalada de frutas en la localidad de chapinero en un término de 3 horas de jornada laboral y que generalmente van para la disposición final de los rellenos sanitarios (ver Figura 5).



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

FIGURA 5 Muestra recolectada de la cáscara de mango



Fuente: Autor

6.1.4 Lavado de la cáscara de mango

Se realiza el lavado de la cáscara de mango con agua potable con el fin de separar residuos de otras frutas eliminando compuestos que sean inhibidores para el proceso de fermentación alcohólica.

6.2 Pretratamiento

6.2.1 Pretratamiento Térmico y Físico

De la muestra de 1 kg de la cáscara de mango común, se procede con el secado con las siguientes condiciones: temperatura 120 °C, durante un periodo de 3 horas en un horno microondas con el fin de quitar absolutamente toda la humedad. Posterior a esto, la cáscara de mango seca se somete a molienda en un triturador de café hasta disminuir su tamaño. Dicha disminución, permite aumentar la susceptibilidad de la materia eliminando la lignina y la hemicelulosa, reduciendo la cristalinidad de la celulosa e incrementando la superficie del residuo y como resultado de este proceso, se obtienen 120 g de cáscara de mango seca triturada con un pH de 4.05 (Ver Figura 6 y Figura 7).

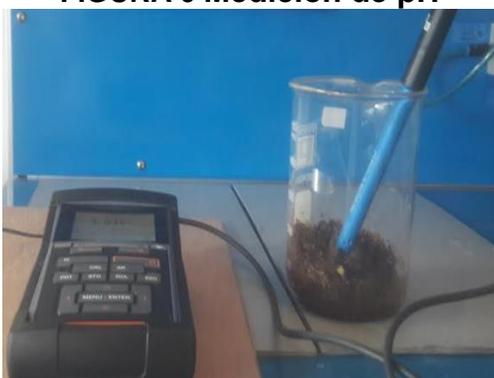
El resultado anterior, concuerda con otros artículos como el de (Aurora Vigo & Barrera Chiroque, 2015), los cuales reportan 4.02 de pH.



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

FIGURA 6 Medición de pH



Fuente: Autor

FIGURA 7 Toma del pH inicial



Fuente: Autor

6.2.2 Hidrólisis alcalina.

En un matraz de 500 mL se llevan 60 g de la cáscara de mango seca y triturada disuelta en 200 ml de agua destilada. Posteriormente, la muestra se hace reaccionar en 3%(p/v) de soda caustica (NaOH) a una temperatura de 50°C, durante 90 minutos con agitación constante de 125 rpm en un bioreactor de la Fundación Universitaria los Libertadores. Se toman 3 datos de pH de la solución (Ver tabla 8).

. TABLA 8 El pH del hidrolizado durante el Pretratamiento alcalino

Hora Local	pH
18:50	9.9
19:50	8.8
20:10	8.36

Fuente: Autor

Dicho proceso de hidrólisis alcalina tiene la función de eliminar compuestos inhibidores de la fermentación y remover la lignina.

6.2.3 Hidrólisis ácida

Finalizada la hidrólisis alcalina, a la muestra se le realiza la hidrólisis ácida de disolución de ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 3% (v/v) a temperatura 50 °C, en constante



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

agitación a 200 rpm durante 24 horas con el fin de bajar el pH a 7.4 (neutro) para finalizar con la fermentación alcohólica.

6.3 Proceso de Fermentación

Una vez finalizado el proceso de hidrólisis alcalina + ácida, se da continuidad con la fermentación en Batch implementando el sistema piloto realizado por (Cuchimaque Bolivar Y. A., 2018). Iniciando el proceso en el frasco No 2 (Ver Figura 8), con la inoculación de 5 g de levadura *Saccharomyces Cerevisiae* con 2500 mL de sustrato. Es decir, el 0.2% de concentración de levadura. De acuerdo a la recomendación del trabajo de investigación de la Universidad Nacional de Santa en Perú (Aurora Vigo & Barrera Chiroque, 2015). Así mismo, se toman mediciones de glucosa, pH, % de alcohol a una temperatura constante de 27°C, con agitación constante de 250 rpm en intervalos de 1 hora (Ver tabla 9).

FIGURA 8 Sistema Piloto de Fermentación en Batch



Fuente: Autor basados en el sistema piloto de fermentación por (Cuchimaque Bolivar Y. A., 2018)



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

TABLA 9 Medición de la glucosa, Ph, con temperatura constante 27°C y agitación constante de 250 rpm

Tiempo(horas)	Glucosa(mg/dl)	pH	Alcohol%
0	142	7.8	0
1	128	7.2	0.8
2	114	6.8	1.5
3	102	6.5	2
4	86	6.3	2.5
5	70	6.1	3
6	55	5.8	3.5
7	43	5.6	3.6
8	15	5.3	3.8
12	0	4.5	4

Fuente: Autor

6.3.1 Control de la fermentación alcohólica

Durante todo el proceso de fermentación, se realizan la mediciones de todas la variables (pH, glucosa (mg/dl), y % de alcohol) cada hora durante un lapso de 12 horas con el fin de determinar el mejor rendimiento para la obtención de alcohol (etanol).

6.3.2 Medición de alcohol

Para la medición del porcentaje del alcohol, se realiza a través de un alcoholímetro de un rango entre (10-100) %, el cual, se verifica inicialmente en una solución de alcohol etílico dando como resultado 70% (ver Figura 9). Se toman muestras de la fermentación, cada una de 100 ml y se disuelven en la misma cantidad de alcohol etílico al 70% cada hora, para realizar la respectiva medición durante todo el

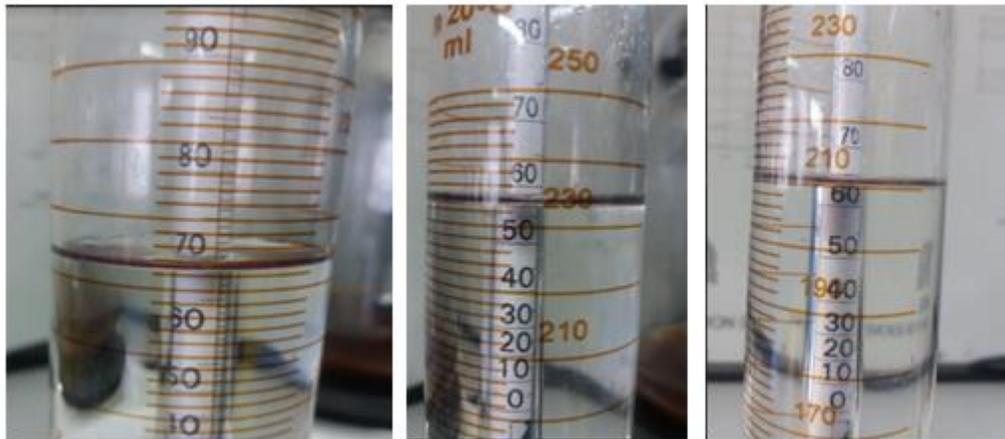


LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

proceso de fermentación para ir validando la variación del porcentaje de alcohol obtenido para determinar el mejor resultado.

Figura 9 Medición de la producción de alcohol de alcohol etílico, agua y la muestra fermentada



Fuente: Autor

Obteniendo como resultado, un 4% de alcohol más alto durante todo el proceso.

6.3.3 Medición de la glucosa

La medición de la glucosa se realiza a cada proceso mediante un glucómetro que tiene un rango entre (700-40) mg/dl. Sin embargo, se tuvo gran control con las mediciones al sustrato generado en la fermentación alcohólica en un rango de 12 horas, donde la primera muestra que nos arroja el glucómetro es de 142 mg/dl (ver Figura 10). Al cabo de 12 horas la *saccharomyces cerevisiae* ya se había consumido totalmente la glucosa según las mediciones realizadas y en las cuales se relacionan con la producción de alcohol con el fin de determinar el comportamiento de estas dos variables respecto al tiempo (ver tabla 10 y grafica 1).



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

FIGURA 10 Medición de la concentración de glucosa (mg/dl) de la muestra inicial.



Fuente: autor

TABLA 10 Medición de glucosa y % alcohol.

Tiempo(h)	Glucosa(mg/dl)	Alcohol%
0	142	0
1	128	0.8
2	114	1.5
3	102	2
4	86	2.5
5	70	3
6	55	3.5
7	43	3.6
8	15	3.8
12	0	4

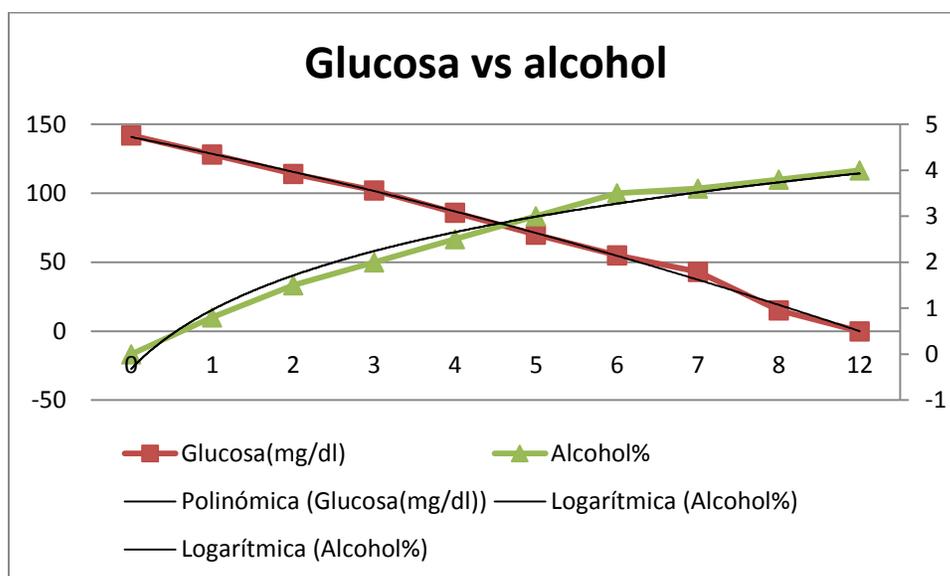
Fuente: Autor



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

GRÁFICA 1 Comportamiento de la Glucosa con respecto al aumento de % de alcohol obtenido



Se observa que la cantidad de los azúcares iniciales ya se habían consumido al cabo de 12 horas de fermentación, lo que indica, que la levadura se reprodujo de forma exponencial consumiéndose toda la glucosa. Por tal motivo, podemos concluir que la producción de alcohol depende de la cantidad de glucosa presente en el sustrato.

6.4 Modelo matemático de la producción de bioetanol.

En la producción de bioetanol, el crecimiento de los microorganismos utilizados para el proceso de la fermentación es importante predecir, ya que las células tienen un ciclo de vida. De esta manera se puede determinar el tiempo máximo de producción de etanol según el crecimiento microbiano. Dicho crecimiento, se puede modelar matemáticamente, en este caso, la levadura *Saccharomyces cerevisiae* a través del modelo matemático establecido por Monod en 1942, el cual, hasta la fecha se sigue



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

trabajando para describir el crecimiento de los microorganismos en los sistemas (Rittmann & MccARTY) (Ver ecuación 1).

Ecuación de Monod (1):

$$t = \frac{U_m}{y} \left\{ \left(\frac{K_s}{X_o + YS_o} + \frac{1}{y} \right) \ln(X_o + YS_o - YS) - \left(\frac{K_s}{X_o + yS_o} \right) \ln \frac{SX_o}{S_o} - \frac{1}{y} \ln X_o \right\}$$

Fuente: (Rittmann & MccARTY)

Entonces, se realiza el procedimiento de modelación matemática, para encontrar la mejor combinación de varias variables donde se utiliza U, Um, Ks, q e Y (Ver tabla 11).

TABLA 11 Variables para la Ecuación Monod

Tasa de crecimiento	U	1/T	0.6
Max tasa de Crecimiento microbiano.	Um	1/T	0.588
Constante mitad	K	mg/L	20
Máxima tasa de utilización de sustrato	q	mg/mg*H	9,8
Rendimiento Real de síntesis de células	Y	mg/mg*H	0,6
Máxima tasa de utilización de sustrato	q	mg/mg*H	9,8

Fuente: Libro de Biotecnología del medio ambiente (Rittmann & MccARTY)



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Teniendo en cuenta la ecuación, se estiman diferentes escenarios de concentraciones iniciales y finales del sustrato hidrolizado (la cáscara de mango) y de las concentraciones iniciales de la levadura *saccharomyces cerevisiae*, para calcular el tiempo en el que obtenemos mayor productividad de etanol para realizar el montaje de producción en los bioreactores (Ver tabla 12).

TABLA 12 Parámetros de las concentraciones

cáscara de mango	S_0	Ms/L	60
cáscara de mango	S	Ms/L	26
saccharomyces cerevisiae	X_0	Mx/L	5
saccharomyces cerevisiae	X	Mx/L	25,4
Tasa de crecimiento	U	1/T	0,60
Max tasa de Crec	U_m	1/T	5,88
Constante mitad	K	Ms/L	20
Maxima tasa de utilización de susutrato	q	Ms/Mx*T	9,8
Rendimiento Real de síntesis de celulas	Y	Ms/Mx*T	0,6
Tiempo	t	dia	1
Maxima tasa de utilización de susutrato	q	Ms/Mx*T	9,80
Tiempo simulado	t	dia	1,0
Tiempo simulado			0,398940

Fuente: Propia



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

TABLA 13 Relación del sustrato con relación al crecimiento de la levadura

5		
Tiempo	Sustrato	levadura
0,000000	60	5
0,107659	55	8
0,207208	48	12,2
0,270700	42	15,8
0,315229	37	18,8
0,369996	30	23
0,377345	29	23,6
0,398940	26	25,4
0,448194	19	29,6
0,477100	15	32
0,500238	12	33,8
0,516983	10	35
0,545762	7	36,8
0,556991	6	37,4
0,569565	5	38
0,584116	4	38,6
0,601827	3	39,2
0,625349	2	39,8
0,663140	1	40,4
0,780673	0,1	40,94

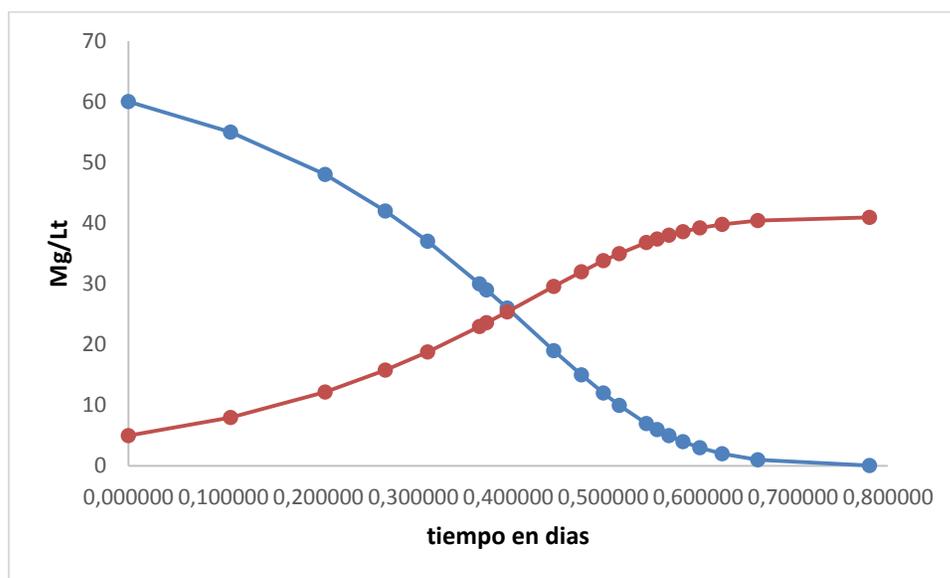
Fuente: Autor basado ecuación monod



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

GRÁFICA 2 Comportamiento del consume del sustrato vs la levadura saccharomyces cerevisiae



Fuente: Autor

Se realiza el cálculo de la ecuación de monod, variando la cantidad de sustrato y de levadura obteniendo como resultado que en el tiempo 0.39. Es decir, 9.36 horas se obtiene el mejor rendimiento de producción de etanol de un 4%.



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

CONCLUSIONES

Se obtuvo etanol por medio del sistema piloto de fermentación en Batch de la Fundación Universitaria los Libertadores, usando la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, en un promedio de 12 horas alcanzando la concentración de etanol de 4 % (p/v)

En los resultados fermentativos demuestran que la concentración de la levadura en un 0.2% (p/v) se obtiene buen rendimiento de etanol. Así mismo, se recomienda que para trabajos futuros mantener las condiciones de la levadura en un rango de 3.5 a 5.5 de pH para mejores resultados de producción de etanol.

En el presente trabajo de investigación se observa que la cantidad de los azúcares obtenidos disminuyeran de manera progresiva en un término de 12 horas, lo que indica, que la levadura ya se habían duplicado quedando en una fase estacionaria en la cual deja de producir alcohol.

La tendencia pH en el proceso de fermentación es descendente como consecuencia de la producción de ácidos del proceso que pueden inhibir en la reproducción de la levadura y a su vez en la producción del bioetanol.

Se puede evidenciar por medio de las gráficas la dependencia que se tiene en la producción de bioetanol con relación a las condiciones óptimas de pH, nivel de glucosa para que el microorganismo fermentador se pueda reproducir y así mismo producir dicho alcohol carburante.

Finalmente, basados en la ecuación de monod con relación al crecimiento de la levadura *saccharomyces cerevisiae*, se llega a la conclusión que en un tiempo de 9.35 horas se obtiene el mejor rendimiento de producción de etanol en un 4%.



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Bibliografía

(s.f.).

C. B. D'Agua, J., Pereira, R., & Marinho, F. (2015). Preparacion y Caracterizacion Fisica del Biocombustible Solido del Lirio Acuatico(Eichhornia crassipes). *Informacion Tecnologica*, 53-62.

Carrillo Nieves, D., Ruiz, H., Zumalacárregui de Cárdenas, L., Alvarez, G., Aguilar, C., Ilyina, A., & Martínez Hernández, J. (2016). Enzymatic hydrolysis of chemically pretreated mango stem bark. *Industrial Crops and Products*, 500-508.

Lung Ong, K., Kaur, G., Pensupa, N., Uisan, K., & Ki lin, C. (2018). Trends in food waste valorization for the production of chemicals,. *ELSEVIER*, 100-112.

Abril, A., & Navarro, E. (2012). *ETANOL A PARTIR DE BIOMASA LIGNOCELULOSICA*. Aleta Ediciones.

Amaris, J. M., Manrique, D. A., & Jaramllo, J. E. (Jul/Dic de 2015). Biocombustibles Liquidos en Colombia y su Impacto en los Motores de Combustion Interna. *El reventon Energetico*, 13(2), 23-34.

Arias, X. R. (2018). ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL MOTOR A GASOLINA UTILIZANDO BIOETANOL A PARTIR DE DESPOJOS DE MAÍZ EN LA PROVINCIA DE IMBABURA - ECUADOR. *Tesis de grado*.

Asociacion de Productores de Energias Renovables(APPA). (2006). El biodiesel y el bioetanol, cada vez mas, una opcion rentable. *AGROENERGETICA*, 35-37.

Aurora Vigo, E. F., & Barrera Chiroque, E. D. (2015). OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE LOS RESIDUOS FERMENTABLES DE MANGO Y



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

DETERMINACION DE PARAMETROS OPTIMOS DE DESTILACION.
Ingenieria:Ciencia,Tecnologia e innovacion, 2(2), 31-39.

Balcazar Suarez, Y. E. (2008). *Desarrollo de un prototipo de destilador solar para obtener bioetanol a partir del vino de mango(Magnifera indica L)*. Zamorano,Honduras.

Castro, C., Beltran, L., Ortiz, J., & Ojeda, R. (2012). PRODUCCIÓN DE BIODIESEL Y BIOETANOL:¿UNA ALTERNATIVA SUSTENTABLE A LA CRISIS ENERGÉTICA? de *Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*, 92-100.

Cortes Ortiz, W. G. (2013). Tratamientos Aplicables a Materiales Lignocelulósicos para. *Dianelt*, 40-44.

Cuchimaque Bolivar, Y. (2018). DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA PILOTO DE FERMENTACIÓN EN BATCH PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL.

Cuchimaque Bolivar, Y. A. (2018). DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA PILOTO DE FERMENTACIÓN EN BATCH PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL.

Cuchimaque Bolivar, Y. A., & Leon Agaton, A. (2018). *DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA PILOTO DE FERMENTACIÓN EN BATCH PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL*. Bogota.

Cuchimaque, Y. A. (2018). *Diseño y optimizacion de un sistema piloto de fermentacion en bash para la produccion de biotenol*. bogota.

de la Cerna Hernandez, C. (2016). Fabricando Bioetanol. *Alianzas y tendencias*, 1(4), 10-11.

Fajardo Castillo, E., & Sarmiento Forero, S. (agosto de 2007). EVALUACION DE MELAZA DE CAÑA DE SUSTRATO PARA LA PRODUCCION DE *Saccharomyces cerevisiae*. *Trabajo de Grado*. Bogotá, Colombia.

Federacion Nacional de Biocombustibles de Colombia. (s.f.). <http://www.fedebiocombustibles.com>. Obtenido de FedeBiocombustibles.

Fengel, D., & Weneger, G. (1984). Chemistry. Ultrastructure. Reactions.



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

- Galán Sauco, V. (2009). *El cultivo del Mango*. Madrid: Aedos s.a.
- Galbe, M., & Zacchi, G. (2002). A review of the production of ethanol from softwood. *Microbiol. Biotechnol*, 59(618-628).
- Garrote, G., Dominguez, H., & Parajó, J. (1999). Hydrothermal processing of lignocellulosic materials. *Holz Roh Werkst*, 191-202.
- Garzon Cataño, S. C., & Hernandez Londoño, C. (2009). *ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL ENTRE Saccharomyces cerevisiae silvestre, Saccharomyces cerevisiae ATCC 9763 Y Candida utilis ATCC 9950*. Pereira.
- Gomez Vargas, D., Gutierrez Gonzalez, A., Rangel Hernandez, V., & Rivera Rosillo, G. (21-23 de SEPTIEMBRE de 2011). COMPORTAMIENTO EXERGETICO DE UNA TORRE DE DESTILACION PRODUCTORA DE BIOETANOL. *MEMORIAS DEL XVII CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM*. SAN LUIS POTOSI, MEXICO.
- Gregg, D., & Sandler, J. N. (1996). A techno-economic assessment of the pretreatment and fractionation steps of a biomass-to-ethanol process. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 711-727.
- Han Seer, Q., & Nandong, J. (2016). Advanced Expanded Microbial Kinetics (EMK) Model for Ethanol. *ScienceDirect*, 417-425.
- Hernandez, C. (2016). Fabricando bioetanol. *Alianza y Tendencias*, 1(4), 10-11.
- Hurtado Rodriguez, L. J., & Jimenez Sabi, L. A. (2018). *PROCESO DE FERMENTACION ALCOHOLICA A PARTIR DE UVA COMUN (Vitis Vinífera), VALIDANDO UN SISTEMA PILOTO DE FERMENTACIÓN EN BATCH PARA SER USADO A FUTURO EN LA PRODUCCION DE BIOETANOL*. Bogota.
- IEA Energy Technology Essentials. (Enero de 2016). *World Energy Outlookk 2016*. Paris. Obtenido de <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/essentials2.pdf>



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

- Jaramillo Henao, G., & Zapata Maquez, L. M. (2008). APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN COLOMBIA. Antioquia, Colombia.
- Malagon Mican, M. L., Paez, A. I., Lache Muñoz, A., Santos Aguilar, J., & Zabala Garcia, D. (Enero-Junio de 2017). Produccion de Bioetanol a partir de difetentes mezclas de los residuos organicos generados de una empresa de alimentos. *Revista de Investigacion*, 10(1), 47-59.
- Martinez Amell, D. M. (2008). *SIMULACION Y DISEÑO DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE BIOETANOL A PARTIR DEL MANGO HILAZA EN EL DEPARTAMENTO DE SUCRE*. Sucre.
- Martinez Guerra, J. (2014). *Libro Electronico de Bioquimica*. Obtenido de <http://libroelectronico.uaa.mx/capitulo-12-otras-vias/estructura-y-funcion-del.html>
- Mejia Giraldo, L., Martinez Correa, H., Betancur Gutierrez, J., & Castrillon Castaño, C. (Diciembre de 2007). Aprovechamiento del residuo agroindustrial del mango comun(*Magnifera indica* L.) en obtencion de azucares fermentables. *Ingenieria y Ciencias*, 3(6), 41-62.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA. (2016). *CADENA DE MANGO Indicadores e Instrumentos* . Octubre.
- Ministerio de Minas y Energia. (s.f.). *El Programa de Biocombustibles en Colombia*. Obtenido de [minminas.gov.co](https://www.minminas.gov.co): <https://www.minminas.gov.co>
- Nieves, D. C., Cardenas, L., Alvarez, G., Aguilar, C., Llina, A., & Martinez, J. L. (21-26 de junio de 2015). Produccion de Bioetanol a patir de residuos de corteza de arboles de mango bajo diferentes esquemas de proceso de sacarificacion y fermentacion. *XVI Congreso Nacional de Bioetecnología y Bioingeniería*. guadalajara, Jalisco, Mexico.
- Ospina Henao, S. M., Hernandez Rodriguez, E. N., & Lozano Moreno, C. A. (2012). *Estudio experimental del proceso de fermentacion de residuos agroindustriales del mango(Magnifera Indica L) usanda saccharomyces cerevisiae*. Manizales.



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

- Peñaranda Gonzalez, L., Montenegro, S. P., & Giraldo Abad, P. A. (2017). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. *Investigacion Agraria y Ambiental*, 8(2).
- Rittmann, B., & McCARTY, P. (s.f.). *BIOTECNOLOGÍA DEL MEDIO AMBIENTE Principios y Aplicaciones*. 2001: McGraw Hill.
- Salinas Callejas, E., & Gasca Quesada, V. (septiembre-octubre de 2009). Los biocombustibles. *El cotidiano*(157), 75-82.
- Salinas Callejas, E., & Gasca Quezada, V. (Sep-Octu de 2009). Los Biocombustibles. *El cotidiano*(157), 75-82.
- Sánchez Riaño, A., Guitiérrez Morales, A., & Rivera Barrero, C. (2010). Produccion de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos. *TUMBAGA*, 61-83.
- Saval Bohorquez, S. (2012). Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales. *de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería A.C.*, 16(2).
- Tejada, L. P., Tejada, C., Villabona, A., Alvear, M., Castillo, C., Henao, D., . . . Taron, A. (2010). Producción de bioetanol a partir de la fermentación alcohólica de jarabes glucosados derivados de cáscaras de naranja y piña. *Educación en Ingeniería*, 120-125.
- Torres Leon, C., Rojas, R., Contreras Esquivel, J., Serna Cock, L., Belmares Cerda, R., & Aguilar, C. (2016). Mango seed: Functional and nutritional properties. *ELSEVIER*, 109-117.
- Universidad Nacional del Sur de Argentina. (2014). Obtenido de Reactores Quimicos y Biologicos: <http://www.criba.edu.ar/cinetica/reactores/>
- Vázquez , H., & Dacosta, O. (2007). Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas. *INGENIERÍA Investigación y Tecnología VII*, 249-259.
- Yepes, S. M., Montoya Naranjo, L. J., & Orozco Sanchez, F. (2008). VALORIZACION DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES-FRUTAS-EN MEDELLIN Y EL SUR DEL VALLE DEL ABURRA, COLOMBIA. 4422-4431.



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Zambrano Loyola, F. (2015). OBTENCIÓN DE ALCOHOL ETÍLICO A PARTIR DE LA FERMENTACIÓN Y DESTILACIÓN ALCOHÓLICA DEL MOSTO DEL MANGO (Mangifera. *Tesis de grado*.

Zamora, J. (2015). *lifeder.com*. Obtenido de propiedades le mango probadas científicamente: <https://www.lifeder.com/propiedades-del-mango/>