



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

**ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A TRAVÉS
DE LA FERMENTACIÓN EN BATCH, A PARTIR DE LA BIOMASA HIDROLIZADA
EICHHORNIA CRASSIPES CON LAS LEVADURAS (CANDIDA UTILIS) Y
(SACCHAROMYCES CEREVISIAE)**

YESENIA MONTEALEGRE DAZA

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS BÁSICAS
INGENIERÍA INDUSTRIAL
BOGOTÁ D.C, 2019.**



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

**ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A TRAVÉS
DE LA FERMENTACIÓN EN BATCH, A PARTIR DE LA BIOMASA HIDROLIZADA
EICHHORNIA CRASSIPES CON LAS LEVADURAS (CANDIDA UTILIS) Y
(SACCHAROMYCES CEREVISIAE)**

YESENIA MONTEALEGRE DAZA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

DIRECTOR

ADOLFO LEÓN AGATON

MSC EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS BÁSICAS

INGENIERÍA INDUSTRIAL

BOGOTÁ D.C, 2019.



AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos a la Fundación Universitaria Los Libertadores; quienes me permitieron hacer parte de este proyecto de investigación en la facultad de ingeniería y ciencias básicas, brindándome las instalaciones para realizar los diferentes procesos para recopilar la información en cada laboratorio, lo cual nos ayudó a obtener datos reales para argumentar adecuadamente el proyecto.

Así mismo, deseo otorgar mi gratitud al ingeniero Adolfo León Agatón, quién fue la persona que me motivo a realizar este proyecto, quién constantemente me ha dado su orientación, apoyo, paciencia, por aportarme sus conocimientos y guiarme en cada paso de este proyecto.

Por último agradezco a mi familia, amigos y a Dios, por acompañarme en este proceso con momentos bajos y altos, por guiarme con sus consejos y palabras de aliento cada día, a Dios por darme la fortaleza de continuar a pesar de las adversidades y guiarme por el camino adecuado.



CONTENIDO

RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN.....	9
1. PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA	17
2. JUSTIFICACIÓN.....	20
3. OBJETIVOS	22
3.1. Objetivo General.....	22
3.2. Objetivos Específicos.....	22
4. MARCO TEÓRICO	23
4.1 Etanol.....	23
4.1.1 Sacarosa.....	23
4.1.2 Sacarosa.....	23
4.1.3 Glucosa	24
4.1.4 Almidón	25
4.1.5 Celulosa	25
4.1.6 Hemicelulosa	25
4.1.7 Lignina	26
4.2 Etanol en el mundo	26
4.3 Bioetanol.....	26
4.4 Hidrólisis	27
4.4.1 Hidrólisis Ácida.....	27
4.4.2 Hidrólisis Alcalina	28
4.5 Fermentación	28
4.5.1 Fermentación Alcohólica	29
4.5.2 Sistema de Fermentación en Batch.....	29
4.5.3 Sistema de Fermentación discontinua (Batch)	29
4.5.4 Diseño de un sistema de fermentación en Batch	30
4.6 Condiciones a medir y controlar en el proceso de fermentación	31
4.6.1 ph	31



4.6.2 Temperatura	31
4.6.3 Nutrientes.....	31
4.6.4 Concentración de oxígeno	32
5. METODOLOGÍA.....	33
5.1 Microorganismo.....	33
5.1.2 Comparativo del proceso de recolección y obtención de la biomasa	34
5.1.3 Comparativo del proceso de Hidrólisis entre las levaduras (Candida Utilis, Saccharomyces Cerevisiae).....	34
5.1.4 Comparativo del proceso de Fermentación entre las levaduras (Candida Utilis, Saccharomyces Cerevisiae).....	36
5.1.5 Comparativo de la Taxonomía de las levaduras	40
6. CONCLUSIONES	42
7. RECOMENDACIONES.....	44
BIBLIOGRAFÍA.....	45

CONTENIDO DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Demanda Nacional de alcohol carburante	14
Gráfica 2. Precios entre el Etanol, la Gasolina y E8	15
Gráfica 3. Microorganismos utilizados para el proceso de fermentación	16
Gráfica 4. Promedio anual de crecimiento de la demanda mundial de petróleo	18
Gráfica 5. Histórico de producción de Etanol en Colombia	21
Gráfica 6. Comparación entre las levaduras (Candida Utilis, Saccharomyces Cerevisiae).....	36
Gráfica 7. Valor real y teórico del porcentaje de alcohol dependiendo cantidad de agente fermentador	38



RESUMEN

Este proyecto de investigación se muestra dos alternativas de obtención del Bioetanol para determinar cuál de las dos es más eficiente. Estos procesos se realizaron a través de un proceso de fermentación alcohólica como sustrato la *Eichhornia Crassipe* y sus agentes fermentadores la *Candida Utilis* y *Saccharomyces Cerevisiae*.

Para los dos sistemas de obtención de bioetanol, a la biomasa obtenida se realiza un procedimiento de hidrólisis ácida y alcalina, luego se le agrega soda caustica (NaOH) y ácido Sulfúrico para romper las cadenas de lignina y hemicelulosa, produciendo monómeros de glucosa que es el sustrato principal para la obtención del Bioetanol y así mismo tener el control del Ph que es importante para la continuidad al proceso de fermentación. El proceso de hidrólisis es igual para los dos procesos.

Finalmente el proceso de fermentación con la levadura *Candida Utilis*, se obtuvo como resultado el 2% de alcohol (Etanol) de una concentración inicial de 344 mg/dl de glucosa, homogeneizada con 20gr de *Candida* diluida en 50 ml de agua y así poder analizar el rendimiento de está.

También se realiza el proceso de fermentación alcohólica de la levadura *Saccharomyces Cerevisiae* continua de la hidrólisis con una concentración inicial de 125 mg/gl de glucosa homogeneizada con 7gr de está levadura diluida en 20ml, y de este proceso se obtuvo un rendimiento de 1% de alcohol (Etanol). Esto con la finalidad de comparar las diferentes variables y rendimiento de los agentes para determinar su eficiencia.

Palabras claves: Bioetanol, gases invernadero, Hidrólisis alcalina y ácida, Fermentación alcohólica, *Eichhornia Crassipe*, *Candida Utilis*, *Saccharomyces Cerevisiae*.



INTRODUCCIÓN

El gas natural, carbón y petróleo son considerados como una sola fuente de energía a partir de combustibles fósiles; que proporcionan energía para la mayor parte del mundo, principalmente el petróleo y carbón (Julio, 2016). Sin embargo, de estos tipos de combustibles no renovables se derivan diferentes elementos y productos que se utilizan a nivel mundial destacándose como una de las fuentes de obtención de energía más importante, que por sus características químicas se forman naturalmente a través de procesos bioquímicos y debido a los procesos de limpieza y refinado son grandes orígenes de la contaminación. (Mestre, 2013). Es cierto que este tipo de combustibles permitió un desarrollo productivo nunca antes conocido por el hombre, pero también produjo un alto impacto negativo sobre el ambiente, ya que estos generan emisiones de gases tales como dióxido de carbono, monóxido de carbono y otros gases que han contribuido y aún contribuyen a generar y potenciar el efecto invernadero, la lluvia ácida, la contaminación del aire, suelo y agua. Los efectos contaminantes no sólo están vinculados a su combustión sino también al transporte (derrames de petróleo) y a los subproductos que originan (hidrocarburos y derivados tóxicos). La situación es compleja cuando se observa la creciente demanda de energía, bienes y servicios, debido al incremento de la población mundial y por el consumo de los mismos. Por esa razón el limitado uso de las fuentes fósiles disponibles en el planeta para la producción de energía, lo que obliga a la búsqueda de fuentes alternativas.

Las fuentes alternativas muy conocidas como fuentes de energías renovables tienen como objetivo la reducción de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en muchos países en desarrollo, el fin principal se relaciona más con la necesidad de aumentar la oferta energética y el



incremento del acceso a la electricidad en zonas aisladas (Marine Recalde, 2015). Estas fuentes son todas aquellas que provienen de una fuente natural de recursos limpios casi inagotables; lo cual existe una gran variedad de energías renovables y que se pueden distinguir a función de la energía final conseguida a partir de energía eléctrica, térmica y biocarburantes.

Los biocarburantes son combustibles líquidos de origen biológico, que por sus características fisicoquímicas resultan adecuados para sustituir a la gasolina o el gas, bien sea de manera total o como aditivo. Estos productos se obtienen principalmente a partir de materia vegetal. Actualmente se pueden encontrar dos grandes tipos de biocarburantes, el bioetanol, que sustituye a la gasolina y el biodiesel, que se puede utilizar en lugar del gasóleo. (Rico, 2006). Estos biocarburantes contienen componentes derivados a partir de biomasa, la biomasa es una parte biodegradable de los desechos y residuos procedentes de la agricultura incluidas las sustancias de origen vegetal y animal. (Energía, 2009), es decir, de organismos vivos o sus desechos metabólicos. Estos componentes actuales se originan principalmente del azúcar, trigo, maíz o semillas oleaginosas. Ya que todos ellos reducen una gran cantidad de emisión de CO₂ que se emite en la atmósfera. (BP, 2019).

Los residuos de biomasa contienen mezclas de carbohidratos, llamados celulosa, hemicelulosa y lignina, que para obtener los azúcares de ésta, debe ser tratada con ácidos o enzimas que facilitan su obtención. La celulosa y hemicelulosa son hidrolizadas por enzimas o diluidas con ácidos para obtener sacarosa (Renovetec, 2013). Por tal razón, para la producción de etanol a partir del elemento lignocelulosa, se llevan a cabo diferentes procesos químicos, físicos y biológicos, los cuales se encuentran: la remoción de lignina, hidrólisis ácida y fermentación, entre otros. (Vasquez & Dacosta, 2007). En la actualidad el bioetanol se produce por la fermentación alcohólica de



azúcares que se presentan en diferentes materiales renovable. Ésta es afectada por altas concentraciones de azúcares del sustrato elegido y microorganismos fermentadores que se empleen. (Peña & Arango, 2009). Pues la fermentación es un proceso anaeróbico realizado por levaduras y algunas bacterias, las cuales son microorganismos que transforman el azúcar en alcohol etílico y dióxido de carbono. La fermentación empieza después que el sustrato utilizado pasa a ser glucosa, la cual es degradada en un ácido y éste se convierte en CO₂ y etanol. Es por esto, que se empleó dos tipos de microorganismos llamados Levadura común (*Candida Utilis*) y *Saccharomyces Cerevisae* para realizar el estudio comparativo para la producción de bioetanol. Y así mismo para esta investigación el sustrato usado, es a través de la biomasa *Eichhornia Crassipes* conocida en Colombia como el Buchón de agua, está es una planta acuática de crecimiento herbáceo que se reproduce en diferentes acuíferos dulces como lagos, humedales, lagunas, etc. Es una planta que puede ser contaminante por reproducirse rápidamente en el agua, pero esta misma absorbe directamente nutrientes del agua, lo que la convierte en una buena depuradora de aguas residuales. (Benitez, Calero, Peña, & Martín, 2011). Con base a esto, el buchón de gua contiene material lignocelulosa que es un polímero encontrado en gran cantidad en la naturaleza. Por tal razón, la Universidad Nacional de Colombia propuso usar el material lignocelulósico encontrado en la biomasa el buchón de agua por su alto contenido de hemicelulosa y celusosa, que son biopolímeros iniciadores del bioetanol a través de su fermentación (Sierra, Contreras, & Guerrero, 2012), para el aprovechamiento energético de recursos naturales como materia prima para generar biocombustible alternativo que nos genere grandes beneficios al utilizarlo, ya que está planta se encuentra a gran cantidad en cuerpos de agua en todo el mundo y su facilidad de distribución por su alta tasa de reproductividad.

Pues el buchón de agua como es conocida esta planta acuífera, tiene gran porcentaje de material lignocelulósico que a través de espectroscopia infrarroja (FTIR), espectroscopia ultravioleta-visible (UV-VIS) entre otras, comprobaron la presencia de estos biopolímeros, y por su alto contenido de celulosa, es útil como materia prima para la obtención de productos industriales. (Tejada, Paz, Villabona, Espinosa, & Lopez, 2018).

Tabla 1. Caracterización del Buchón de agua

COMPONENTE	Tallo	Hoja	MÉTODO
Celulosa	26,94 ± 0,62	24,71 ± 0,72	TAPPI T 203 os-74
Hemicelulosa	27,82 ± 0,54	20,42 ± 0,87	TAPPI T 203 os-74
Lignina	6,18 ± 0,32	12,91 ± 0,49	TAPPI T 203 os-74

Fuente (Revista Cubana Química)

La Eichhornia Crassipes es útil para producir biocombustibles como etanol por la composición adecuada, que produce azúcares reductores y contenidos bajos de lignina según la tabla 1. Los bajos contenidos de lignina indican que se puede usar métodos fisicoquímico menos fuerte para su separación. (Villalba & Rios, 2012). Para ellos se requieren transformaciones complejas en la hidrólisis en la celulosa en azúcares y la fermentación en estos azúcares para la eficiencia y mayor aprovechamiento del material, en la etapa de pre-tratamiento que rompa las cadenas celulares, logre remover la lignina facilitando el acceso a los azúcares. (Villalba & Rios, 2012).



La Hidrolisis es la transformación de los componentes del bichón de agua en azúcares agregando diferentes elementos químicos que rompan las estructuras de celulosa y lignina controladas a través de temperaturas y demás para convertirse en azúcares, después de eso se utiliza el procedimiento de fermentación con agentes que ayuden a acelerar la producción de etanol.

En la Fundación Universitaria los libertadores se realizó un proceso de producción de bioetanol a partir de la biomasa hidrolizada *Eichhornia Crassipes* con el agente fermentador *Candida Utilis* (levadura), en este trabajo se utiliza el método de fermentación Bath para realizar los procedimientos de separación de componentes y así mismo la fermentación de las mismas. (Rey & Garcia, 2018).

En la Fundación Universitaria los libertadores se realizó un proceso de producción de bioetanol a partir de la biomasa hidrolizada *Eichhornia Crassipes* con el agente fermentador *Saccharomyces Cerevisiae* (levadura), en este trabajo se utiliza el método de fermentación Bath para realizar los procedimientos de separación de componentes y así mismo la fermentación de las mismas. (Fonseca, 2018).

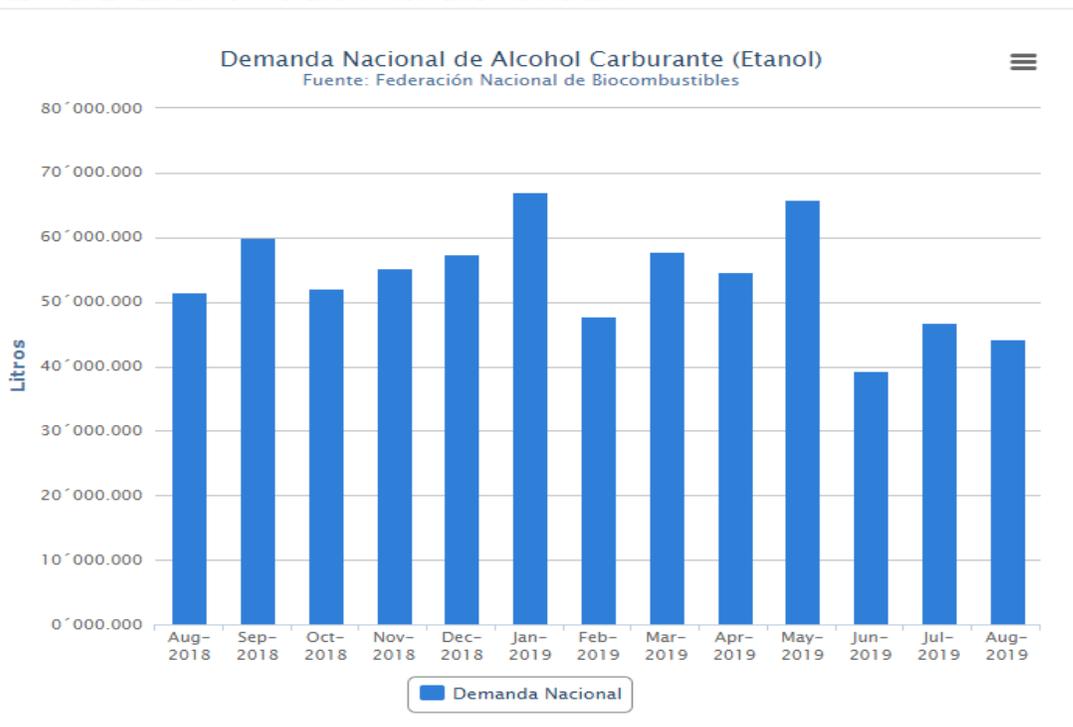
Bioetanol y sus beneficios

Como se ha mencionado anteriormente el bioetanol se produce a través de la fermentación de diferentes productos agrícolas como el maíz, caña de azúcar, biomásas entre otros. Con ayuda de este se puede producir biocombustibles de alto nivel energético con similitudes a la gasolina, que ayudan a reducir la emisión de contaminantes en motores de combustión. Este tipo de combustible puede ser mezclado con la gasolina en concentraciones de 5 a 10% para generar

combustible E5 y E10 que pueden ser usados en motores actuales sin ser modificados (Bermudez, Castiblanco, & Avila, 2012).

En la actualidad, el bioetanol de segunda generación es obtenido especialmente de la biomasa como madera, residuos forestales o agrícolas entre otras, la cual está compuesta por celulosas que requieren someterse a un proceso de hidrólisis para transformarse glucosa y así mismo fermentarse. Es por esa razón que se ha popularizado en el mercado, porque con la ayuda de políticas gubernamentales se ha incentivado al crecimiento y desarrollo rural, ya que garantiza la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la mitigación del cambio climático al utilizar este tipo de combustibles renovables que ayudan al medio ambiente.

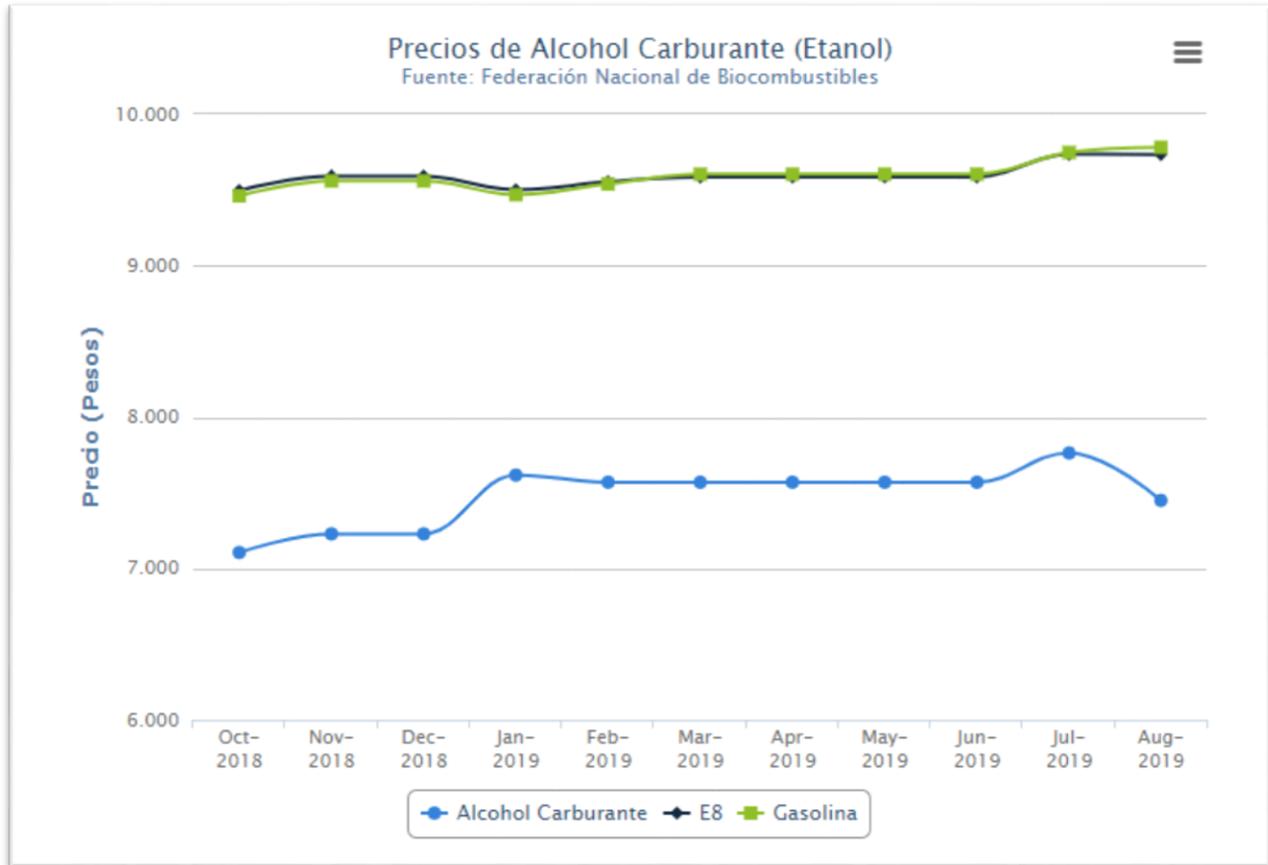
Grafica 1. Demanda Nacional de alcohol carburante



Fuente. (Biocombustibles, Federación de Biocombustibles , 2019)

Según la federación nacional de biocombustibles, en el último año los precios entre el alcohol carburante (Etanol) y la Gasolina tienen una gran diferencia, ver gráfica 2, y con base a esta información se podría enfatizar el uso de los biocombustibles de origen natural.

Gráfica 2. Precios entre el Etanol, la Gasolina y E8.

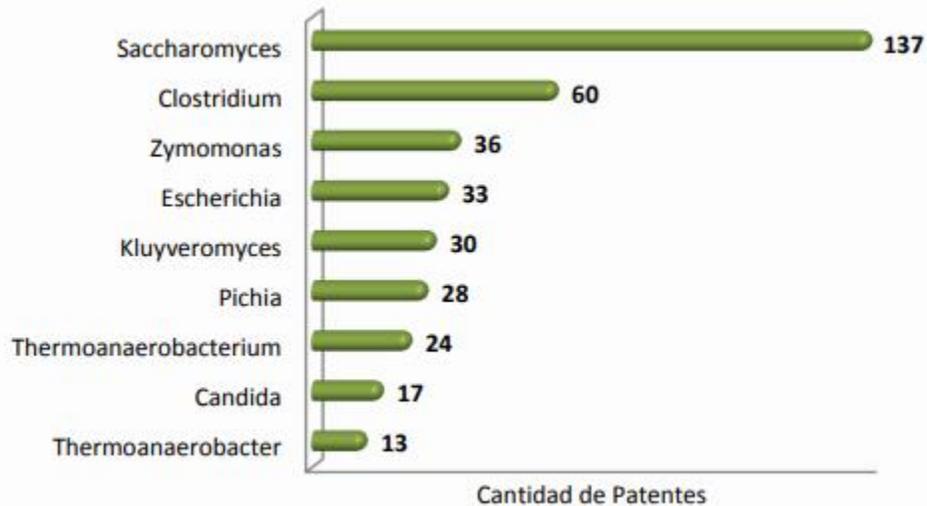


Fuentes. (Biocombustibles, Federación de Biocombustibles , 2019)

El proceso de fermentación empieza cuándo se convierte la celulosa en azúcares, transformando estas en bioetanol a través de microorganismos fermentadores, los cuales ayudan a acelerar el proceso de obtención del bioetanol, para esto se mostrará los principales agentes fermentadores

utilizados para dicho proceso (Bermudez, Castiblanco, & Avila, 2012), de los cuales se tomaron dos de estos para realizar el estudio comparativo con base a trabajos de investigación realizados.

Gráfica 3. Microorganismos utilizados para el proceso de fermentación



Fuente. (Boletín Superintendencia de Industria y comercio)

Con base a lo mencionado anteriormente, este proyecto tiene como objetivo realizar un estudio comparativo de la producción de bioetanol a través de la fermentación batch, a partir de la biomasa hidrolizada *Eichhornia Crassipe* utilizando agentes fermentadores: *Saccharomyces Cerevisiae* y *Candida Utilis*.

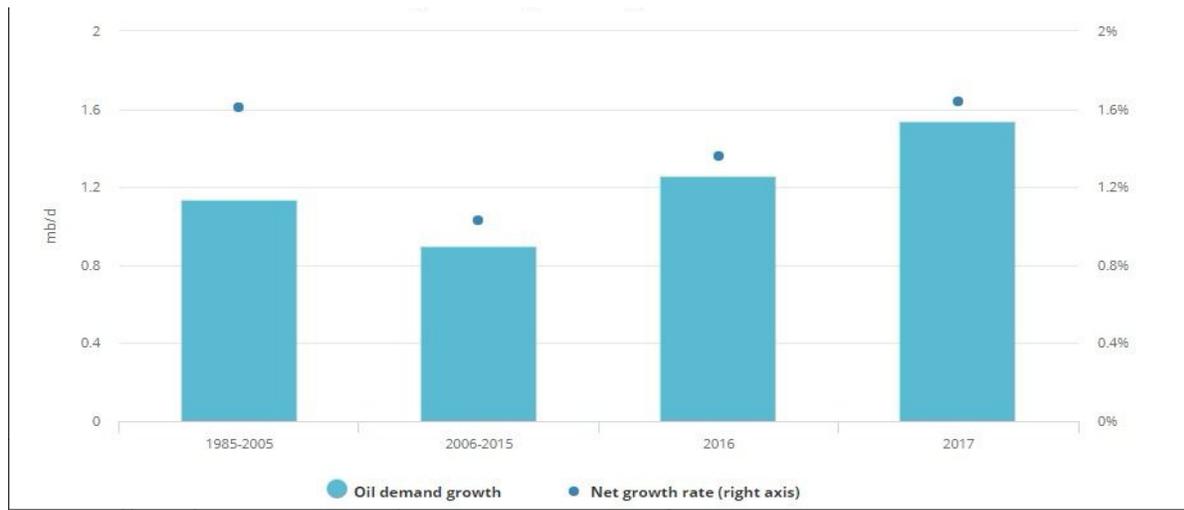


1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A raíz de la problemática ambiental y la sobreexplotación prolifera, se han buscado diferentes fuentes para generar energía, que regulen el daño al medio ambiente y los índices de contaminación disminuyan (Bermudez, Castiblanco, & Avila, 2012). Pues el uso de combustibles fósiles de los cuales se incluyen la gasolina, el carbón y el gas, son recursos escasos en el mundo y son los principales elementos para obtener energía pero su utilización provoca contaminación al planeta, gases de efecto invernadero, enfermedades respiratorias y demás problemáticas que afectan a la vivencia de todos los seres vivos. Debido a esto, los combustibles fósiles contribuyen con la contaminación y en consecuencia al calentamiento global, sin embargo en la actualidad el uso de estos genera un importante problema de sostenibilidad, a nivel ambiental como económicos, ya que estos recursos se agotan y siendo estos elementos primario que no se obtienen a través de la transformación, estos pasan a ser recursos no renovables.

El petróleo es uno de los elementos más usados en el mundo, pues de él se derivan diferentes productos en el mundo como pinturas, productos de belleza y sobre todo combustible; de estos combustibles se generan energía eléctrica y mecánica. Pues en el mundo más del 95% del transporte utiliza derivados del petróleo. En el 2017 el 80% de la participación de energía, fue de los combustibles fósiles denominando la demanda mundial de energía según la Agencia Internacional de Energía (AIE). Pues en el año 2017 aumentó la demanda del petróleo según gráfica 4, uno de los principales motivos, es por el mayor consumo de este tipo de combustible en el sector transporte.

Gráfica 4. Promedio anual de crecimiento de la demanda mundial de petróleo



Fuente (AIE)

A raíz de lo mencionado y otros informes relacionados, la demanda de energía aumento en un 2,1% en el 2017 el doble de crecimiento que el año anterior, alcanzando aproximadamente 14.050 millones de toneladas de petróleo. Los combustibles de origen fósil cubrieron más del 70% de la demanda, en tanto que las energías renovables cubren un cuarto del consumo y eso que dichas energías han tenido un crecimiento fuerte en el mundo. Por tal razón hay un nuevo panorama respecto al aumento de las emisiones de CO₂ que aumentaron el 1,4%, lo cual supone un crecimiento continuo de la contaminación. (Fernandez, 2018). Para reducir este panorama, se han estudiado diferentes obtenciones de biocombustibles dónde los hallazgos han sido buenos y hay posibilidades de utilizar estas nuevas metodologías para minimizar el deterioro del medio ambiente.

Por tal razón, se podría considerar que a través del tiempo aumente el consumo de dichas alternativas, por ende aumentado su producción, trayendo una reactivación de la economía para generar suficiente bioetanol que ayudará a tener un impacto ambiental positivo; por tal razón se



tendrá un indicador de necesidad que nos ayude a la utilizar la *Eichhornia Crassipes* con diferentes agentes fermentadores y así realizar una comparación entre ellos, por lo tanto es importante determinar ¿cuál agente fermentador será más eficiente la levadura *Candida Utilis* o *Saccharomyce cervisiae* en la producción de bioetanol?



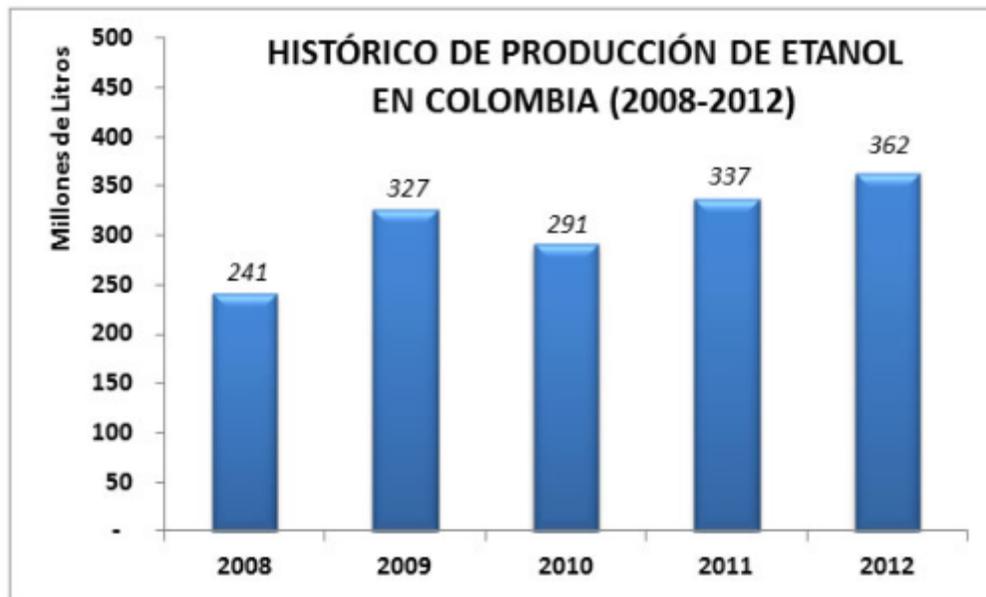
2. JUSTIFICACIÓN

Debido al aumento de la contaminación mundial y los índices del calentamiento global es cada vez más notable en nuestro planeta, pues a través de los años ha aumentado el uso de combustibles fósiles que es lo que más se conoce para obtener diferentes productos para el consumo de la comunidad; sin embargo, en paralelo ha aumentado la conciencia de la humanidad en ayudar a mejorar las condiciones ambientales que han visto la necesidad de buscar otras opciones para obtener energía, que sea amigable con el medio ambiente. Por esa razón durante todo este trabajo se ha hablado acerca del componente más útil y con estudios basados, en Colombia se utiliza el biodiesel y el Etanol por considerarse los mejores del mundo, pues se ha establecido que la producción de estos dos combustibles cumple con los estándares de sostenibilidad, lo cual ha ayudado a reducir las emisiones de gases efecto invernadero en un 83% y 74% respectivamente. (Biocombustibles, Federación Nacional de Biocombustibles, 2013). Es así, que en Colombia se han hecho diferentes estudios y trabajos de grado donde buscan mostrar los diferentes procesos de producción para obtener energía de materiales renovables, para destacar el potencial que se tiene para producir biocombustibles. Los estudios más recientes han sido sobre la obtención de bioetanol a través de la biomasa *Eichhornia Crassipe* con dos tipos de agentes fermentadores ya mencionado como: *Candida Utilis* y *Saccharomyces Cerevisiae*.

Es por eso que ha surgido la necesidad de realizar éste proyecto, donde se desea mostrar, cuál de los dos métodos utilizados para la obtención de dicho biocombustible es más eficiente y útil para mejorar los índices de aumento de gases efecto invernadero para que se promueva la producción del mismo y contribuya tanto a la economía del país como al bienestar

del medio ambiente; sobre todo para las nuevas generaciones que se verán afectadas mayormente por estas condiciones de vida. Se tendrán en cuenta dos trabajos de investigación documentados en la Fundación Universitaria los Libertadores con los componentes de obtención anteriormente mencionados.

Gráfica 5: Histórico de producción de Etanol en Colombia



Fuente: (Biocombustibles, Federación Nacional de Biocombustibles, 2013)



3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Realizar un estudio comparativo de la obtención de bioetanol a partir de la Eichhornia Crassipes entre la levadura Candida Utilis y Saccharomyces Cervisiae.

3.2. Objetivos Específicos

- Analizar cada uno de los procedimientos que se tuvieron en cuenta para obtener bioetanol.
- Determinar el porcentaje de obtención de bioetanol con la levadura Candida Utilis.
- Determinar el porcentaje de obtención de bioetanol con la levadura Saccharomyces Servisiae.
- Comparar los porcentajes de obtención de bioetanol con cada una de las levaduras estudiadas.
- Establecer según los datos obtenidos, cual es el método con mayor obtención de bioetanol.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Etanol

Es un combustible que por sus características físicas y químicas ofrece ventajas importantes porque es un líquido de baja densidad y alto calor de combustión, además de su obtención de materias primas de origen y sustentabilidad, costo, producción y los efectos bajos de contaminación al ambiente. La fuente principal de obtención de alcohol es a través de la biomasa la cual lleva a una gran producción de glucosa que es la precursora del alcohol a partir de la fermentación. (Alvarez, Evelson, & Boveris, 2008).

FICHA TECNICA DEL ETANOL	
NOMBRECOMÚN	Etanol o alcohol etílico
Fórmula Química	C_2H_6O ; CH_3-CH_2OH
Aspecto	Líquido e incoloro
Densidad	0,789 g/ml
Punto de Ebullición	78,4° C
Punto de Fusión	-114,3 ° C
Solubilidad	Miscible

Fuentes: (Todo es Química, 2010)

4.1.2 Sacarosa

Es conocida como azúcar común, siendo está un disacárido que se es formado por una glucosa que aparece en forma de anillo con 6 miembros y una fructosa como anillo de 5 miembros. La glucosa y fructosa están enlazados por 1 y 2 carbonos respectivamente. La sacarosa es soluble en agua y a través de la hidrólisis ácida se consigue liberar la glucosa y fructosa. (Mendez, 2010)

4.1.4 Almidón

Es un polisacárido perteneciente al grupo de glucanos. Se compone de una cadena de glucosa de estructura lineal (amilosa) o ramificada (amilopectina) que corresponde a la reserva energética de los vegetales. Estas estructuras son polisacáridos que el organismo puede degradar por enzimas amilasa y glucosidasa presentes en la saliva y jugo pancreático. El almidón se puede obtener de maíz, trigo, arroz entre otros. (Castells, 2009)

4.1.5 Celulosa

Es un polisacárido estructural de todo el reino vegetal, pues se encuentra en frutas, hortalizas y cereales como constituyente de las paredes celulares. También en el arroz, maíz y trigo se encuentra la celulosa en el pericarpio y en el germen se encuentra la hemicelulosa y lignina. Así mismo la celulosa es un homopolisacárido que está unido por enlaces glucosídicos y que se caracterizan por tener una alta resistencia mecánica y química por sus cadenas alineadas en un eje longitudinal. (Dergal, 2006).

4.1.6 Hemicelulosa

Son grupos de heteropolisacáridos, es decir polisacáridos compuestos por más de un tipo de monómero por cadenas cortas y ramificadas de azúcares que establecen su carácter amorfo, y la facilidad para que transcurran las reacciones de hidrólisis de polímeros para dar lugar a los azúcares, la hemicelulosa es fácil de hidrolizar y solubilizar que la celulosa. En la pared celular la hemicelulosa actúa como almacén de sustancias de reserva y funciones reguladoras. (Siota, 2013)-



4.1.7 Lignina

Es un polímero amorfo formado por la polimerización de unidades de fenilpropano donde se forman diferentes enlaces que se alternan de manera desordenada. (Siota, 2013). Este polímero contiene metoxilo contenido en madera, es resistente a la hidrólisis acida, soluble en bisulfito y cuando se coloca a ebullición en una solución de ácido clorhídrico se forman monómeros, es decir cetonas aromáticas resultantes de la ruptura de enlaces éter. (Sifontes & Domine, 2013)

4.2 Etanol en el mundo

En el mundo se utiliza el etanol como combustible para automóviles, pero también se está mezclando con gasolina para reducir el consumo de derivados del petróleo, pues de allí se generan dos tipos de mezclas como E10 y E85 contenido de etanol de 10% y 85% respectivamente, esto sirve para oxigenar el combustible y reducir la contaminación del aire. Así mismo el etanol a través de la historia es usado de diferentes maneras como disolventes que al mezclarse con agua generan desinfectantes o anticongelantes y gran uso en el mundo como combustibles. (Moleculas Diarias , 2016).

4.3 Bioetanol

Es un tipo de alcohol inflamable que se puede obtener a partir de la fermentación de ciertos tipos de materiales orgánicos entre ellos materia vegetal con un alto contenido de celulosa. El bioetanol se puede obtener mediante plantas como: Caña de azúcar, remolacha, cereales y otros materiales que contengan características apropiada para generar energía

renovable, ya que se pueden cultivar para éste fin, y así tener un uso correcto y eficiente de estos para aprovecharlo constantemente. (Arriols, 2018).

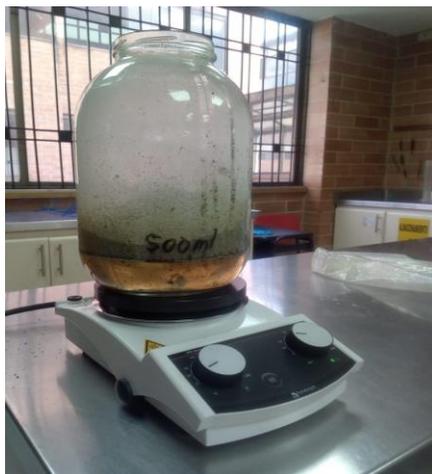
4.4 Hidrólisis

Es el rompimiento de un enlace por incorporaciones de uno de los iones de agua. Se describe el fenómeno en que una sustancia reacciona con el agua provocando la rotura de ésta en protones y oxhidrilos, incorporando alguno de los iones a la especie que ocasiona la hidrólisis, así mismo mantiene el otro ion libre, lo cual el medio inicial neutro se modifica pasando a ser ácido, si quedan protones libres, y alcalino si quedan oxhidrilos. (Morales, s.f.). La principal función de la hidrólisis es librar glucosa que se encuentra en la biomasa lignocelulosa produciendo azúcares fermentadores. Ésta biomasa puede ser hidrolizada para producir componentes químicos que pueden ser utilizados para fuentes renovables y cómo se ha mencionado anteriormente la biomasa lignocelulosa tienen componente de celulosa, hemicelulosa y lignina que al romper dichos componentes se forman compuestos químicos. (Rosa, 2015)

4.4.1 Hidrólisis Ácida

La hidrólisis se somete a un proceso químico que a través de un ácido catalizador, se transforma los polisacáridos de la biomasa en monómeros de lignina y celulosa. Los ácidos más utilizados son: Clorhídrico, Sulfúrico, fosfórico entre otros. (Galbe & Zacchi, 2002). De estos procesos se puede obtener fracción de azúcares fermentables y una fracción de lignina y celulosa; éste tratamiento de ácido es adecuado para la eliminación de la hemicelulosa, pero no es efectivo para eliminar la lignina encontrada en la biomasa. (Rosa, 2015)

Imagen 2: Hidrólisis ácida



Fuente: (Rey & Garcia, 2018)

4.4.2 Hidrólisis Alcalina

Este tratamiento alcalino es capaz de separar tanto la hemicelulosa como la lignina y los reactivos más usados son: Hidróxido de sodio, Amoniaco, Óxido de calcio, Hidróxido de calcio; sin embargo este tratamiento no requiere de temperaturas altas pero si necesita mayor tiempo de prolongación para reaccionar. (Rosa, 2015). Así mismo, altas concentración alcalinas degradan y rompen los polisacáridos; por tal razón e obtienen cantidades de monómeros cómo: hexosas y pentosas, que son los grandes componentes para la obtención de etanol. (Ortiz, 2013).

4.5 Fermentación

Son microorganismos ubicuos que se encargan de aislar de diferentes materiales, los azúcares presentes; la fermentación es un proceso catabólico responsable de la degradación de la materia orgánica en una condición de la ausencia de oxígeno. Esta fermentación se clasifica dependiendo la naturaleza del sustrato y producto final. (Gil & Pérez, 2011)

4.5.1 Fermentación Alcohólica

Es una biorreacción que ayuda a la transformación de azúcares en alcohol y dióxido de carbono con el objetivo de generar energía renovable. Esta fermentación utiliza algunos agentes principales para ayudar a la transformación de esta como son: La levadura (*Candida Utilis*) y Levadura (*Saccharomyces cerevisiae*), las cuales se utilizan con mayor frecuencia para la obtención del bioetanol, que usa estas transformaciones para degradar la glucosa en dos moléculas de alcohol. Teóricamente hay un rendimiento para la transformación de glucosa en etanol que es de 0,511g y 0,489g de CO₂ por 1g de glucosa, este fue valor fue cuantificado por Gay Lussac, pero en la realidad es difícil obtener este rendimiento porque la levadura usa la glucosa para producir otros metabolitos. (Vasquez & Dacosta, 2007).

4.5.2 Sistema de Fermentación en Batch

Es un proceso realizado en unos recipientes o sistema que mantiene un ambiente biológico activo, en el cual se realiza un proceso químico que contiene organismos o sustancias que permiten la fermentación en condiciones ambientales actas de (ph, temperatura, nutrientes, concentración de oxígeno). (Castillo & Roa, 2010).

4.5.3 Sistema de Fermentación Discontinua (Batch)

Es importante tener en cuenta el modo de operación del sistema, ya que esto influye para la construcción general del sistema para el proceso productivo y uno de ellos es el sistema de fermentación discontinua, que es por lotes sin alimentación alguna, el cual se coloca en el biorreactor la cantidad total (lote) de cada proceso para que realice el proceso productivo o de fermentación en el tiempo que sea necesario para culminar este. (Castillo & Roa, 2010).

4.5.4 Diseño de un sistema de fermentación en Batch

Para el diseño del sistema de fermentación piloto se tiene en cuenta algunas variables:

- El sistema debe ser sellado para evitar contaminación que altere la fermentación alcohólica que en vez de producir bioetanol produzca ácido láctico o ácido acético.
- Sistema de desfogue de gases que permita la fermentación sin presurizar el sistema.
- Al ser un sistema cerrado requiere tener un sistema de muestreo que permita controlar el consumo del sustrato y porcentaje de producción del alcohol.
- El volumen ideal de líquido en el sistema para mantener la constante transferencia de calor en el sistema. (Bolívar, 2018).

El diseño de fermentación se puede ver en la imagen 3, donde se realiza todo el proceso de hidrolizado y fermentado sin tener que abrir el sistema para no perder las condiciones del proceso.

Imagen 3: Sistema de Fermentación Batch



Fuente: (Bolívar, 2018)

4.6 Condiciones a medir y controlar en el proceso de fermentación

4.6.1 Ph: Es importante tener el control del ph en este proceso, ya que en la fermentación alcohólica diferentes bacterias compiten con la levadura por los nutrientes y azúcares, causando disminución en la producción de etanol, por lo tanto entre menor sea el ph este se encuentra protegido de bacterias contaminantes. El ph de la fermentación se ajusta principalmente con el ácido sulfúrico. (Sariol, Acosta, & Lopez, 2011).



4.6.2 Temperatura: La temperatura es importante para todo tipo de proceso, ya que tienen ciertas restricciones en la temperatura para aumentar el crecimiento de microorganismo.

4.6.3 Nutrientes: Se debe tener en cuenta los diferentes nutrientes del microorganismo a trabajar, ya que de eso depende una eficiente producción del biocombustible.

4.6.4 Concentración de oxígeno: La presencia o ausencia de oxígeno permite determinar el tipo de fermentación, es decir, cuándo un cultivo se realiza en presencia de oxígeno la fermentación se caracteriza como aeróbica, pero cuándo el cultivo tiene ausencia de oxígeno la fermentación se denomina anaeróbica.

5. METODOLOGÍA

5.1. Microorganismos

Como se ha mencionado anteriormente, se evaluaron dos tipos de microorganismos fermentadores que son la levadura *Candida Utilis* y *Saccharomyces Cerevisiae* para obtención de bioetanol a través de la biomasa *Eichhornia Crassipe*. Pues la fermentación es la degradación de la glucosa que realiza cuándo la respiración celular normal que utiliza oxígeno (aerobia) no es posible, es decir cuándo no hay oxígeno que actúe sobre ella, esta fermentación incluye glucólisis que en la levaduras producen alcohol. Algunos sistemas vivos utilizan sulfato como aceptor final en la transferencia de electrones, este proceso es respiración celular anaeróbica y lo realizan algunas bacterias. Por lo tanto se mostrará el procedimiento realizado para obtención de bioetanol con los dos agentes fermentadores para comparar los procesos de obtención, hidrólisis y fermentado, siendo esto el mismo procedimiento para la obtención.

Proceso de obtención de bioetanol a partir de la levadura (*Candida Utilis*)



Proceso de obtención de bioetanol a partir de la levadura (*Saccharomyces Cerevisiae*)



5.1.2 Comparativo del proceso de recolección y obtención de la biomasa *Eichhornia*

Crassipe

En este proceso se realizó un mismo procedimiento para las dos comparaciones, ya que se recolectó la planta del humedal de Engativá, la cual se sometió a un procedimiento de secado a temperatura ambiente durante un determinado tiempo, luego se procedió a realizar un secado profundo en un horno a 100°C, al terminar este procedimiento se pasó a triturar la planta totalmente seca a través de un molino, obteniéndose la biomasa de *Eichhornia Crassipes*.

5.1.3 Comparativo del proceso de hidrólisis entre las levaduras (*Candida utilis* y *Saccharomyces Cerevisiae*)

- *Candida Utilis*: Se agregó 80g de biomasa de *Eichhornia Crassipes* diluida en agua, al proceso de hidrólisis alcalina en condiciones de temperatura y agitación constante de 60°C y 250 RPM respectivamente, haciéndola reaccionar al 1% de soda caústica (NaOH) durante 12 horas. Este proceso de hidrólisis es sellado permitiendo que los gases salgan sin presurizar el sistema y teniendo el control de la temperatura constante. Luego de pasar este tiempo determinado, se agrega 10 ml de ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 3%, a una temperatura y agitación constante de 60°C y 250 RPM respectivamente, durante 12 horas. (Rey & Garcia, 2018)

- *Saccharomyces Cerevisiae*: Se agregó 50g de biomasa de *Eichhornia Crassipes* diluida en agua, al proceso de hidrólisis alcalina en condiciones de temperatura y agitación constante de 51,2°C y 150 RPM respectivamente, haciéndola reaccionar al 1% de soda caustica (NaOH) durante 6 horas. Este proceso de hidrólisis se realizó de forma aeróbica sin tapa para el desprendimiento de gases. Luego de pasar este tiempo determinado, se agrega 10 ml de ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 3% a una temperatura y agitación constante de 30°C y 250 RPM respectivamente, durante 6 horas. (Fonseca, 2018)

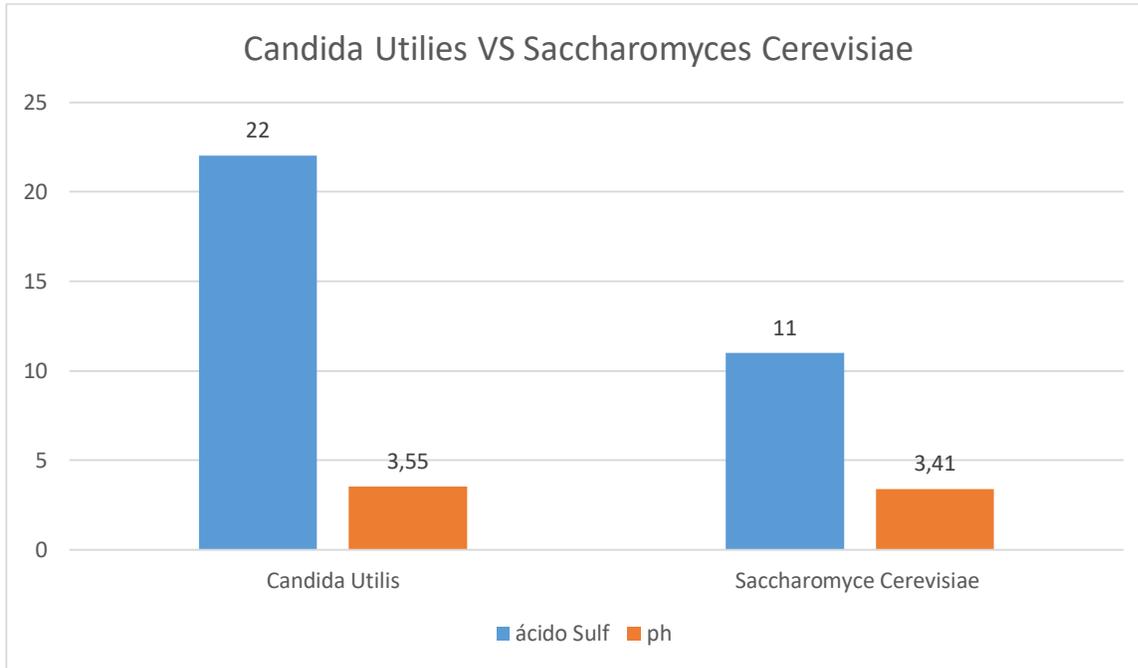
A raíz de lo anterior, cada procedimiento se utiliza para que arroje determinado ph que nos indique si ya se eliminó gran porcentaje de lignina aumentando la obtención de glucosa.

Tabla 2. Comparativo del proceso de hidrólisis para cada levadura.

Levaduras/	Ácido Sulfúrico	Ph
Candida Utilis	22 ml	3,55
Saccharomyces Cerevisiae	11 ml	3.41

Se puede indicar que para romper el mayor porcentaje de lignina y aumento de glucosa se necesita menor ácido sulfúrico en la levadura *Saccharomyce Cerevisiae*.

Gráfica 6: Comparación entre las levaduras (*Candida Utilis*, *Saccharomyces Cerevisiae*)



Fuente. Propia

5.1.4 Comparativo del proceso de Fermentación entre las levaduras (*Candida utilis* y *Saccharomyces Cerevisiae*)

Se realiza el proceso de fermentación Batch en el frasco #2 (imagen 4) y (imagen 5) de cada uno de los procesos con los agentes fermentadores, el cual se tomaron las medidas correspondientes a la concentración de glucosa, ph, % de alcohol a determinada temperatura y agitación constante, en este proceso se agrega la levadura al sustrato obtenido después de la hidrólisis.

- *Candida Utilis*: Se realizó una preparación de 20gr de éste agente fermentador a 50ml de agua con agitación y temperatura constante de 250 RPM y 60°C respectivamente, después de 1 hora se mide la temperatura y se da inicio a la fermentación.

- *Saccharomyce Cerevisiae*: Se realizó una preparación de 7gr de éste agente fermentador a 20ml de agua con agitación y temperatura constante de 250 RPM y 60°C respectivamente, después de 1 hora se mide la temperatura y se da inicio a la fermentación.

Tabla 3: Medición de glucosa, % de alcohol de los agentes fermentadores

Tiempo(horas)	Candida Utilis		Saccharomyces Cerevisiae	
	Glucosa(mg/dl)	Alcohol %	Glucosa(mg/dl)	Alcohol%
0	344	0	125	0
6	243	1.5	36,2	1
8	197	1.8	E-2	1
12	167	2	E-2	1

Fuente: (Fonseca, 2018) (Rey & Garcia, 2018)

Al realizar la comparación de los dos agentes fermentadores se puede evidenciar los siguientes resultados:

- Al transcurrir las horas la cantidad de glucosa del sustrato va disminuyendo pero a medida que esto sucede, se va produciendo mayor porcentaje de alcohol.
- Según la tabla, el agente fermentador *Candida Utilis*, brinda más rendimiento de % de alcohol que la *Saccharomyce Cerevisiae*; sin embargo se tiene en cuenta que se utilizó mayor cantidad de *Candida* lo que puede influir en el aumento de alcohol.
- También se puede analizar que al pasar las horas la levadura *Saccharomyce Cerevisiae* se consume más rápido la glucosa del sustrato, por ende a un determinado tiempo es poco el

sustrato a consumir que no produce más alcohol; a comparación de la *Candida Utilis* que al mismo tiempo de medir puede continuar produciendo alcohol por ser más lento el proceso de fermentación.

- Sin embargo la comparación no es muy clara debido a que las cantidades de sustrato usado de cada agente es diferente; lo cual nos lleva a revisar el rendimiento de los agentes por unidad de gramo de cada uno.

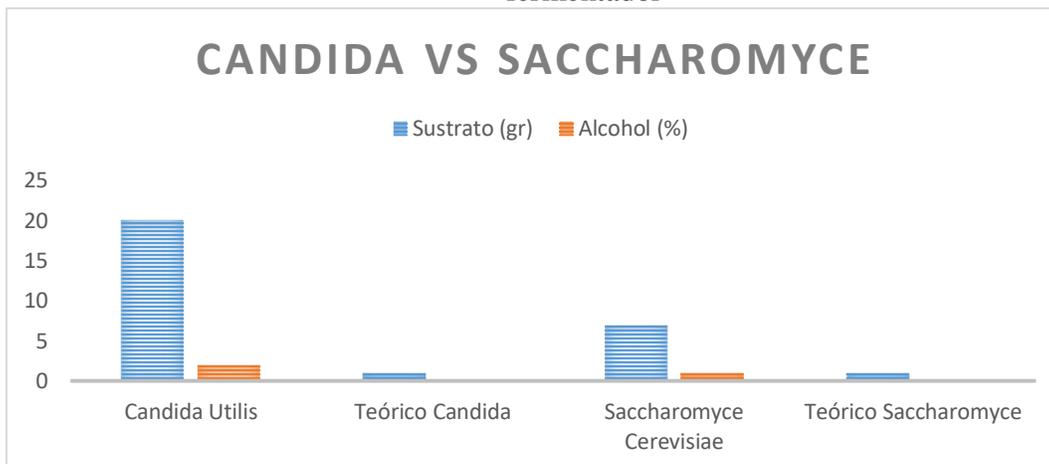
Tabla 4. Comparación por unidad de gramo de los dos agentes fermentadores

Candida Utilis		Saccharomyces Cerevisiae	
Sustrato (gr)	Alcohol %	Sustrato (gr)	Alcohol%
20	2	7	1
1	0,1	1	0,14

Fuente. Propia

- Lo que se puede concluir con este análisis matemático, se puede tener coherencia al plantear que la cantidad de alcohol puede variar dependiendo la cantidad de sustrato agregado. Y la diferencia es notable véase en la Gráfica 7.

Gráfica 7. Valor real y teórico del porcentaje de alcohol dependiendo cantidad de agente fermentador



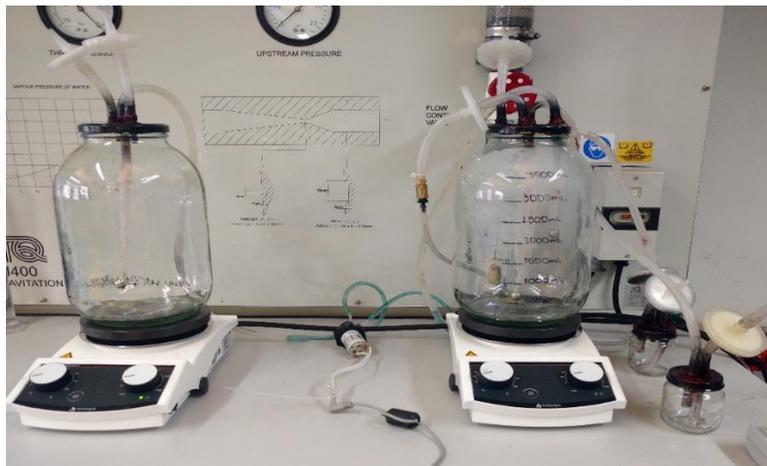
Fuente. Propia

Imagen 4. Sistema piloto de fermentación en Batch con la levadura *Candida Utilis*



Fuente. (Rey & Garcia, 2018)

Imagen 5. Sistema piloto de fermentación en Batch con la levadura *Saccharomyce Cerevisiae*



Fuente. (Fonseca, 2018)

5.1.5 Comparativo de la Taxonomía de las Levaduras (*Candida Utilis*, *Saccharomyces Cerevisiae*)

	<i>Candida Utilis</i>	<i>Saccharomyces Cerevisiae</i>
REINO	Mycetae	Hongo
DIVISIÓN	Deuteromycotina	Amastogomycota
CLASE	Blastomycetes	Ascomycetes
FAMILIA	Cryptococcaceae	Saccharomycetaceae
GÉNERO	<i>Candida</i> , <i>Cryptococcus</i> , <i>Trichosporon</i>	<i>Saccharomyces</i>

Fuente. (Valdes, 2008) (Lopez, 2017)

Esta clasificación está basada con las características anatómicas, morfológicas, fisiológicas, genéticas entre otras. Esto con el fin de identificar sus propiedades que nos genere similitud y



poder analizar cómo se comportaría cada una, dependiendo su relación; sin embargo al observar esta clasificación se puede concluir que no tienen similitud aun teniendo el conocimiento de que son levaduras, pues pertenecen a diferentes reinos, familia, género y demás.

6. CONCLUSIONES

- Para realizar estos proceso de obtención de bioetanol, es necesario utilizar el sistema de fermentación batch diseñado por (Bolívar, 2018), ya que está capacitado para soportar las diferentes condiciones que se necesitan para realizar el procedimiento completo de hidrólisis y fermentación alcohólica para los diferentes agentes fermentadores.
- Se analizó que para los dos tipos de levadura (*Candida Utilis*, *Saccharomyces Cerevisiae*) se utiliza el mismo procedimiento de hidrolizado para romper el mayor porcentaje de lignina.
- Con base al proceso de hidrólisis, se puedo analizar que la biomasa utilizada para la *Saccharomyces Cerevisiae* realizó su procedimiento de degradación de la lignina en un menor tiempo (6 horas) a comparación de la biomasa usada para la *Candida Utilis* (12 horas) obteniéndose un ph similar en los dos procesos, cabe aclarar que la hidrólisis para las dos levaduras se hicieron a igualdad de condiciones; esto pudo pasar debido a la cantidad de biomasa utilizada para cada proceso, pues para la *Candida Utilis* fue mayor; por ende puede influir en el rendimiento del ácido.
- Se pudo evidenciar en el proceso de hidrólisis, que la cantidad de ácido sulfúrico fue menor para la biomasa usada en la *Saccharomyces Cerevisiae* que para la biomasa de la *Candida Utilis*.
- El ph obtenido de la biomasa para la *Candida Utilis* fue de 3,55 y para la biomasa de la *Saccharomyces Cerevisiae* fue de 3,41. Según el análisis este valor puede variar dependiendo la cantidad de biomasa usada.



- Se obtuvo bioetanol a través del sistema piloto de fermentación Batch a partir de la biomasa hidrolizada *Eichhornia Crassipes* utilizando la levadura *Candida Utilis*, en un tiempo de 12 horas, alcanzando un porcentaje de alcohol del 2%.
- Se obtuvo bioetanol a través del sistema piloto de fermentación Batch a partir de la biomasa hidrolizada *Eichhornia Crassipes* utilizando la levadura *Saccharomyces Cerevisiae*, en un tiempo de 6 horas, alcanzando un porcentaje de alcohol del 1%.
- Se realizó la comparación del % de alcohol obtenido por cada uno de los procesos de obtención de bioetanol, indicando que la levadura *Candida Utilis* tuvo mayor % de este; sin embargo se pudo concluir que un factor determinante de esto, es la cantidad agregada del agente fermentador para cada proceso. Lo que nos llevó a realizar una comparación por unidad de gramo de cada uno de estos.
- Se realizó la comparación por unidad de gramo de cada agente fermentador, lo cual se obtuvo que por un gramo de *Candida Utilis* se obtuvo un 0,10% de alcohol y por un gramo de *Saccharomyces Cerevisiae* se obtuvo un 0,14. Con base a esto se concluyó que la obtención de bioetanol es más eficiente con la levadura *Saccharomyces Cerevisiae*, debido al rendimiento de alcohol que se obtiene por una unidad de este.



7. RECOMENDACIONES

- Los resultados de los procesos de obtención de bioetanol son de buen rendimiento, por eso se recomienda que para siguientes estudios, se tomen cantidades iguales para poder analizar mejor los datos. Así mismo, se sugiere que el pH se mantenga entre 3.5 y 5.0 para que los diferentes procesos sean óptimos.
- Se recomienda que para hacer estudios y procesos que requieran fermentación, se utilice el sistema piloto de fermentación Batch diseñado por (Bolívar, 2018), ya que está diseñado para controlar adecuadamente las diferentes condiciones que se presentan en dichos procesos.
- Así mismo, se quiere mostrar que es necesario aprovechar las diferentes maneras de obtener bioetanol a través de la biomasa *Eichhornia Crassipe* con las diferentes levaduras, que ayudan a agilizar el proceso de fermentación para obtener resultados en menor tiempo. Pues como se ha estudiado, las materias primas que tienen en su composición azúcares se puede obtener proceso de fermentación pero que tal vez se tarde un poco a diferencia de utilizar estos agentes.

Bibliografía

- Alvarez, S., Evelson, P., & Boveris, A. (2008). Etanol: Combustible del futuro. *Repositorio digital Universidad de Buenos Aires*, 7.
- Arriols, E. (19 de 02 de 2018). *Ecología Verde*. Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/que-es-el-bioetanol-y-para-que-sirve-1147.html>
- Benitez, R., Calero, V., Peña, E., & Martín, J. (2011). EVALUACIÓN DE LA CINÉTICA DE LA ACUMULACIÓN DE CROMO EN EL BUCHÓN DE AGUA. *Bio. Agro (Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial)*.
- Bermudez, A., Castiblanco, D., & Avila, D. (2012). Bioetanol Biotecnología aplicada. *Gripo de Patentes Superintendencia de Insutria y Comercio*, 7-8.
- Biocombustibles, F. N. (23 de Enero de 2013). *Federación Nacional de Biocombustibles*. Obtenido de Boletín Informativo: <https://www.fedebiocombustibles.com/nota-web-id-1347.htm>
- Biocombustibles, F. N. (06 de Noviembre de 2019). *Federación de Biocombustibles*. Obtenido de Boletín Informativo : [http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-produccion-titulo-Alcohol_Carburante_\(Etanol\).htm](http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-produccion-titulo-Alcohol_Carburante_(Etanol).htm)
- Bolívar, Y. A. (2018). DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA PILOTO DE FERMENTACIÓN EN BATCH PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL.
- BP. (2019). *Biocombustibles*. Obtenido de https://www.bp.com/es_es/spain/medio-ambiente-y-sociedad/biocombustibles/que-son-los-biocombustibles.html
- Castells, P. (01 de 09 de 2009). *Investigación y Ciencia*. Obtenido de El almidón: <https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/biocarburantes-489/el-almidn-1136>
- Castillo, M. F., & Roa, D. P. (2010). Diseño y construcción de un bioreactor batch aerobio para cultivo de bacterias diodegradadoras de petróleo . Riobamba, Ecuador.
- Dergal, S. B. (2006). *Química de los alimentos*. México : Pearson.
- Energía, I. p. (2009). *Biocarburantes*. Obtenido de <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-termico/biocarburantes>
- Fernandez, M. (24 de Marzo de 2018). *El Boletín*. Obtenido de <https://www.elboletin.com/noticia/160911/economia/los-combustibles-fosiles-acaparan-el-80-de-la-demanda-mundial-pese-al-tiron-renovable.html>
- Fonseca, A. L. (2018). Proceso de producción de Bioetanol a partir de la biomasa hidrolizada Eichhornia Crassipes con la levadura (Saccharomyces Cerevisiae). *Fundación Universitaria Los Libertadores*, 38.
- Galbe, M., & Zacchi, G. (2002). A review of the production of ethanol from softwood. *Microbiol. Biotechnol.*
- Gil, R. B., & Pérez, J. I. (2011). El estudio de la fermentación en el laboratorio . *Revista Eureka*, 111-114.



- Julio. (Octubre de 2016). *Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias* . Obtenido de <https://www.energias-renovables.com/>
- Lopez, C. G. (2017). Taxonomía de levaduras de origen enológico por espectrometría de masas. *Universidad Complutense de Madrid* , 17-18.
- Marine Recalde, D. B. (2015). LIMITACION PARA EL DESARROLLO DE ENERGÍAS RENOVABLES EN ARGENTINA. *ScienceDirect*, 89-115.
- Mendez, A. (10 de NOVIEMBRE de 2010). *LA GUIA* . Obtenido de <https://quimica.laguia2000.com/enlaces-quimicos/sacarosa>
- Mestre, R. (Marzo de 2013). *ScienceDirect*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0187893X13725035>
- Moléculas Diarias* . (23 de enero de 2016). Obtenido de <https://medium.com/@moleculd/etanol-historia-de-una-mol%C3%A9cula-430d4b63aff5>
- Morales, R. S. (s.f.). *SCRIBD*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/182072701/HIDROLISIS>
- Ortiz, W. G. (2013). Tratamientos aplicables a materiales lignocelulósicos. *Dianelt*, 40 - 44.
- Peña, C., & Arango, R. (2009). EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ETANOL UTILIZANDO CEPAS RECOMBINANTES DE. *Dyna* , 153 - 161.
- Renovetec. (2013). *Plantas de Biomasa*. Obtenido de <http://www.plantasdebiomasa.net/que-es-la-biomasa.html>
- Rey, C. A., & Garcia, J. A. (2018). PROCESO DE PRODUCCION DE BIOTENOL, A PARTIR DE LA BIOMASA HIDROLIZADA DE LA EICHHORNIA CRASSIPES CON LA LEVADURA (CÁNDIDA UTILIS). *Fundación Universitaria Los Libertadores*, 31-32.
- Rey, C. A., & Garcia, J. M. (2018). Proceso de producción de Biotanol a partir de la biomasa hidrolizada Echhornia Crassipes con la levadura (candida Utilis). *Fundación Universitaria Los Libertadores*, 45.
- Rico, J. (Septiembre de 2006). *Biocarburantes en el transporte*. Obtenido de https://appa.es/wp-content/uploads/descargas/ventajas/Ventajas_Biocarburantes_13.pdf
- Rosa, S. M. (2015). *Hidrólisis ácida de celulosa y biomasa lignocelulósica asistida con líquidos iónicos* . Madrid: Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de Ciencias .
- Sariol, L. R., Acosta, Y. L., & Lopez, F. D. (2011). Estudio del consumo de ácidos en el ajuste de pH en diferentes medios de fermentación alcohólica. *ICIDCA*, 57-62.
- Sierra, F. E., Contreras, I., & Guerrero, C. A. (2012). ETANOL LIGNOCELULÓSICO: ENERGÉTICO OBTENIDO DE PROCESOS. *Aprovechamiento energetico* , 142.
- Sifontes, M. C., & Domine, M. (25 de 10 de 2013). LIGNINA, ESTRUCTURA Y APLICACIONES: METODOS DE DESPOLIMERIZACIÓN. VALENCIA, ESPAÑA.



- Siota, S. R. (18 de 12 de 2013). VALORACIÓN DE HEMICELULOSAS DE BIOMASA VEGETAL. *Universidad de Vigo*, 39-40.
- Tejada, C., Paz, I., Villabona, A., Espinosa, M., & Lopez, C. (2018). Aprovechamiento del Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) para la síntesis de carboximetilcelulosa. *Revista Cubana de Química* .
- Todo es Química*. (10 de 03 de 2010). Obtenido de <https://todoesquimica.blogia.com/2010/031001-alcohol-et-lico-o-etanol.php>
- Valdes, G. S. (2008). Tratamiento Primario de Vinazas de Destilería Empleando *Candida Utilis* . *Instituto Superior Politécnico Jose Antonio Echeverria* , 4-6.
- Vasquez, H. J., & Dacosta, O. (2007). Fermentación Alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de los desechos agrícolas . *Ingeniería, Investigación y tecnología* .
- Vasquez, H., & Dacosta, O. (2007). Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos. *Ingeniería. Investigación y Tecnología*, 249-259.
- Villalba, K. O., & Rios, L. A. (2012). Producción de bioetanol a partir de jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*). *AGUNKUYA*, (50) 42-62.
- Zita, A. (23 de 05 de 2019). *TodaMateria: Contenidos escolares* . Obtenido de <https://www.todamateria.com/glucosa/>