



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

**CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL CON MENCIÓN EN
AGRONEGOCIOS**

TEMA

**Estudio comparativo del rendimiento en la producción de bioetanol a
partir del material lignocelulósico del Banano (*Musa paradisiaca* L) y el
Maracuyá (*Passiflora edulis*)**

AUTOR

JOSÉ DANIEL INTRIAGO FUENTES

**Componente Práctico de Examen Complexivo previo a la
obtención del Título de
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

TUTOR

Ing. Jesús Ramón Meléndez Rangel, PhD.

Guayaquil, Ecuador

Septiembre, 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

**CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL CON MENCIÓN EN
AGRONEGOCIOS**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente Componente Práctico de Examen Complexivo fue realizado en su totalidad por **José Daniel Intriago Fuentes**, como requerimiento para la obtención del Título de **Ingeniero Agroindustrial con mención en Agronegocios**.

TUTOR

Ing. Jesús Ramón Meléndez Rangel, PhD.

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. John Eloy Franco Rodríguez, PhD.

Guayaquil, a los 17 días del mes de septiembre del año 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL CON MENCIÓN EN
AGRONEGOCIOS**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, José Daniel Intriago Fuentes

DECLARO QUE:

El presente Componente Práctico de Examen Complexivo, **Estudio comparativo del rendimiento en la producción de bioetanol a partir del material lignocelulósico del Banano (*Musa paradisiaca* L) y el Maracuyá (*Passiflora edulis*)**, previo a la obtención del Título de Ingeniero Agroindustrial, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Componente Práctico de Examen Complexivo.

Guayaquil, a los 17 días del mes de septiembre del año 2020

AUTOR

José Daniel Intriago Fuentes



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL CON MENCIÓN EN
AGRONEGOCIOS**

AUTORIZACIÓN

Yo, José Daniel Intriago Fuentes

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en la biblioteca de la institución de la propuesta del Componente Práctico de Examen Complexivo, **Estudio comparativo del rendimiento en la producción de bioetanol a partir del material lignocelulósico del Banano (*Musa paradisiaca* L) y el Maracuyá (*Passiflora edulis*)**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 17 días del mes de septiembre del año 2020

AUTOR

José Daniel Intriago Fuentes



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

CERTIFICACIÓN URKUND

La Dirección de las Carreras Agropecuarias revisó el Componente Práctico del Examen Complexivo “**Estudio comparativo del rendimiento en la producción de bioetanol a partir del material lignocelulósico del Banano (*Musa paradisiaca* L.) y el Maracuyá (*Passiflora edulis*).**”, presentada por el estudiante **Intriago Fuentes José Daniel**, de la carrera de **Ingeniería Agroindustrial**, obtuvo el resultado del programa URKUND el valor de 0 %, considerando ser aprobada por esta dirección.

URKUND	
Documento	Intriago Fuentes, J., Examen Complexivo UTE A 2020.docx (D78787326)
Presentado	2020-09-08 10:33 (-05:00)
Presentado por	daniel_intriago95@hotmail.com
Recibido	noelia.caicedo.ucsg@analysis.orkund.com
	0% de estas 27 páginas, se componen de texto presente en 0 fuentes.

Fuente: URKUND-Usuario Caicedo Coello, 2020

Certifican,

Ing. John Franco Rodríguez, Ph. D.
Director Carreras Agropecuarias
UCSG-FETD

Ing. Noelia Caicedo Coello, M. Sc.
Revisora - URKUND

AGRADECIMIENTOS

Las palabras no me alcanzan para las gracias infinitas que le debo a cada una de las personas que me acompañaron durante este proceso de formación, agradezco a todos los docentes que me encontré en el camino tanto de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, como todos los entrenadores y amigos de la selección de fútbol de la universidad quienes también ayudaron a formar mi carácter y criterio.

Le agradezco a mi tutor el Dr. Jesús Ramón Meléndez Rangel, un excelente profesional que siempre supo darme las pautas y los consejos necesarios para avanzar con este proyecto de investigación.

También agradezco a mis amigas Melanie, Judith, Marcela con quienes formamos una buena amistad y estuvieron conmigo cuando las necesité, al igual que Milton, Sebastián y Bryan que fue con quienes más compartí mi etapa universitaria tanto dentro y fuera de las aulas, siempre los recordaré.

Y de manera especial le agradezco a Kathy Menoscal Vaca, mi compañera de todo durante esta etapa universitaria, por su amistad, su paciencia y su constante apoyo desde el día uno de habernos conocido, Sin tí las cosas habrían sido muy distintas, hiciste que el proceso sea inolvidable, gracias, por tanto.

DEDICATORIA

Muy en especial a mi madre Lourdes Fuentes Sotomayor, por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional en todo momento, mi padre Lincoln Intriago Giler, mi modelo a seguir, y mi hermano Diego, mi mano derecha para todo.

Por su amor, por los consejos, por la confianza, por los valores y principios inculcados durante el transcurso de esta etapa hemos llegado estar aquí. Son mi fortaleza, los amo.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL CON MENCIÓN EN
AGRONEGOCIOS**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Jesús Ramón Meléndez Rangel, PhD.

TUTOR

Ing. John Eloy Franco Rodríguez, PhD.

DIRECTOR DE CARRERA

Ing. Noelia Carolina Caicedo Coello, M. Sc.

COORDINADORA DE UTE



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

**CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL CON MENCIÓN EN
AGRONEGOCIOS**

CALIFICACIÓN

Ing. Jesús Ramón Meléndez Rangel, PhD.

TUTOR

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN	2
1.1 Objetivos.....	4
1.1.1 Objetivo general.	4
1.1.2 Objetivos específicos.....	4
1.2 Hipótesis General	4
2 MARCO TEÓRICO	5
2.1 Biocombustibles.....	5
2.1.1 Características de los biocombustibles.	5
2.1.2 Los biocombustibles y su valor agregado.....	5
2.2 Procesos para la obtención de biocombustibles de material lignocelulósico.....	6
2.2.1 Torrefacción.	7
2.2.2 Licuación.	7
2.2.3 Pirólisis.	7
2.2.3 Gasificación.....	7
2.3 Situación mundial del Etanol	8
2.4 Situación del etanol en Latinoamérica	8
2.4 Situación del etanol en el país	9
2.5 Producción del etanol en el Ecuador	9
2.6 Bioetanol.....	9
2.6.1 Producción de bioetanol.....	10
2.6.2 Bioetanol de segunda generación.	10
2.7 Material lignocelulósico.....	11
2.8 Biomasa lignocelulósica	11
2.9 Ventajas en la producción de biocombustibles de segunda generación	12
2.10 Producción de banano en el Ecuador y el mundo	13
2.10.1 El plátano.	13
2.10.2 Sectores donde se produce plátano en Ecuador.....	14
2.10.3 Cáscara del banano.	14
2.11 Producción de maracuyá en el Ecuador y el mundo.....	15

2.11.1 Sectores donde se produce maracuyá en Ecuador y otros países.	15
2.11.2 Empresas Agroindustriales que producen y comercializan maracuyá.....	16
2.12 Cáscara de maracuyá.....	17
2.13 Caracterización de la cáscara de maracuyá y banano	18
2.14 Levadura <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	18
2.15 Proceso bioetanol de primera generación	19
2.16 Proceso de producción de bioetanol de segunda generación	19
2.17 Beneficios de los biocombustibles al medio ambiente	20
2.18 Efectos del etanol en el ambiente.....	21
2.19. Investigaciones previas de producción de biocombustibles con levadura " <i>Saccharomyces cerevisiae</i> "	22
2.19.1. La producción de etanol e hidrógeno a partir de la cáscara de piña por <i>Saccharomyces Cerevisiae</i> y <i>Enterobacter aerogenes</i>	22
2.19.2. Valorización del bagazo de caña de azúcar para la producción de bioetanol mediante sacarificación y fermentación simultáneas: optimización y estudios cinéticos.	23
2.19.3. Bioconversión de almidón a etanol en un proceso de un solo paso por cocultivo de levaduras amilolíticas y <i>Saccharomyces Cerevisiae</i>	23
2.19.4. Fermentación de etanol a partir de caña de azúcar a diferentes vencimientos.	24
2.19.5. Demostraciones prácticas de los retos y oportunidades de la producción de bioetanol de primera y segunda generación a partir de cultivos tropicales.	24
3 MARCO METODOLÓGICO	25
3.1 Ubicación del ensayo.....	25
3.1.1. Características climáticas.....	25
3.2. Materiales utilizados	25
3.2.1. Materia prima.	25
3.2.2. Materiales y equipos.....	26
3.2.3. Reactivos.....	26
3.2 Tipo de investigación	27

3.3 Factores de estudio	27
3.4 Tratamientos en estudio.	28
3.5. Análisis Estadístico.....	29
3.6. Diseño Experimental.....	29
3.7. Modelo Matemático	29
3.8. Esquema del análisis de varianza	30
3.9. Proceso productivo del bioetanol.....	31
3.9.1. Diagrama de flujo.	31
3.9.2. Descripción de procedimiento experimental.....	32
3.10. Instrumentos de la investigación.....	33
3.10.1. Caracterización de materia prima.....	33
3.10.2. Costos de producción.....	34
3.10.3. Cálculo del Rendimiento.....	34
4 DISCUSIÓN	35
5 RESULTADOS ESPERADOS	37
5.1 Académico.....	37
5.2 Técnico	37
5.3 Económico.....	37
5.4 Participación Ciudadana.....	37
5.5 Científico.....	37
5.6 Tecnológico	37
5.7 Social.....	38
5.8 Ambiental.....	38
5.9 Cultural	38
5.10 Contemporáneo	38

Bibliografía

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores de estudio	28
Tabla 2. Interacciones de tratamientos.....	29
Tabla 3. Esquema del análisis de varianza.	30
Tabla 4. Fórmulas para calcular costos de producción	34

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Principales Países Productores de Maracuyá	16
Gráfico 2. Pasos para convertir la biomasa lignocelulósica en bioetanol de segunda.....	20
Gráfico 3. Ubicación de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil	25
Gráfico 4. Proceso obtención de etanol	31

RESUMEN

Los biocombustibles son combustibles líquidos o gaseosos producidos a partir de fracciones de productos biodegradables, residuos forestales, y de desechos industriales. El objetivo de este trabajo es comparar el rendimiento de la producción de bioetanol a partir de dos tipos de material lignocelulósico en este caso de las cáscaras de banano y maracuyá. La investigación será de tipo experimental, con nivel exploratoria y descriptiva. Los factores por estudiar son A, los dos tipos de material lignocelulósico (cáscaras de banano y maracuyá) y B, niveles de levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Se utilizará un Diseño Completamente al Azar (DCA) AxB lo que da un resultado de 6 tratamientos y 3 repeticiones y el test Tukey (<0.05) para comparar las medias de los tratamientos entre sí. Como resultado se determinará el rendimiento en la producción de bioetanol de segunda generación y se determinará con un nivel de confianza del 95 % de probabilidades sobre el mejor comportamiento de los materiales lignocelulósicos utilizadas en el estudio.

Palabras clave: biodiesel, cáscara, banano, maracuyá, *Saccharomyces cerevisiae*

ABSTRACT

Biofuels are liquid or gaseous fuels produced from biodegradable product fractions, forest residues, and industrial waste. The objective of this work is to compare the performance of bioethanol production from two types of lignocellulosic material, in this case from banana and passion fruit peels. The research will be experimental, exploratory, and descriptive. The factors to be studied are A, the two types of lignocellulosic material (banana and passion fruit peels) and B, levels of yeast *Saccharomyces cerevisiae*. A Completely Random Design (DCA) AxB will be used which gives a result of 6 treatments and 3 repetitions and the Tukey test (<0.05) to compare the means of the treatments with each other. As a result, the performance in the production of second-generation bioethanol will be determined and it will be determined with a confidence level of 95 % of probabilities on the best performance of the lignocellulosic materials used in the study.

Key words: Biofuels, casseroles, banana, passion fruit, *Saccharomyces cerevisiae*

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los combustibles fósiles están disminuyendo, lo que hace que el interés mundial en las fuentes de energía renovables crezca rápidamente (Li, y otros, 2012) (Kosov, Sinelshchikov, Sytchev, & Zaichenko, 2014). Uno de los combustibles renovables y ecológicamente puros más interesantes es la biomasa, que se considera carbono neutral (Acda y Devera, 2014).

Durante los últimos años ha crecido el interés por el uso de los residuos lignocelulósicos en diversos ámbitos. La abundancia de estos materiales, junto a la necesidad de minimizar el deterioro medioambiental ha llevado a la investigación a que se desarrollen nuevas tecnologías que utilicen las materias primas a partir de la cosecha y procesamiento de diferentes productos agrícolas para la producción de biocombustibles (Cabrera, 2014).

En los países subdesarrollados como Ecuador estos residuos son comúnmente abandonados en vertederos, pero actualmente se encuentra en un proceso de sustitución energética orientado al uso de energía renovable debido a la alta demanda que estos residuos generan en nuestra región, la producción es mínima en comparación con países como Brasil y Estados Unidos que proporcionan el 88 % de etanol utilizado como combustible (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2007).

Es por esta razón que el sector agrícola está fuertemente relacionado con el energético debido al aumento de los biocombustibles en el mercado mundial. Principalmente, porque es uno de los posibles medios para reducir las emisiones de CO₂ y los efectos de GEI (gases de efecto invernadero) y a su vez aportar un valor agregado para aprovechar el potencial y oportunidades que pueden llegar a ser los biocombustibles de segunda generación.

El objetivo de esta investigación busca desarrollar nuevas alternativas a partir del estudio comparativo de la cantidad de bioetanol producido con material lignocelulósico de dos materias primas distintas como lo son la cáscara del banano y el maracuyá, caracterizando sus partes fisicoquímicas,

describiendo el proceso de producción, determinando su rendimiento y demostrando que con esta tecnología se puede reducir los problemas ambientales que hoy afrontamos. Los subproductos de la industria agrícola y alimentaria se han convertido en productos desecho-problema, convirtiéndose en una materia prima potencial para la producción de alcohol combustible en uno de los más importantes.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general.

- Determinar el nivel de rendimiento en la producción de bioetanol a partir de métodos de extracción de segunda generación con presencia del material lignocelulósico del Banano (*Musa paradisiaca* L) y el Maracuyá (*Passiflora edulis*).

1.1.2 Objetivos específicos.

- Caracterizar física y químicamente las materias primas involucradas en la producción de biocombustible.
- Describir el proceso industrial para la obtención de biocombustible de segunda generación.
- Determinar el comportamiento del rendimiento en la producción de biocombustible a partir de diferentes concentraciones de levadura. (*Saccharomyces Cerevisiae*).
- Determinar cuáles son los beneficios que se obtienen con la producción de biocombustible desde el escenario de proyección ambiental.
- Establecer los costos de producción en el rendimiento de bioetanol a partir del material lignocelulósico del Banano y Maracuyá.

1.2 Hipótesis General

Existe diferencia en el rendimiento de la producción de bioetanol a partir de métodos de extracción de segunda generación aplicado al material lignocelulósico del Banano (*Musa paradisiaca* L) y el Maracuyá (*Passiflora edulis*).

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Biocombustibles

Los biocombustibles son combustibles obtenidos a partir de desechos agrícolas, forestales, industriales, entre otros (Acosta, 2012). Los biocombustibles líquidos más conocidos son el bioetanol y el biodiesel.

2.1.1 Características de los biocombustibles.

- Contribuir al desarrollo de la economía en el ámbito regional y nacional.
- No tener impactos negativos en la tierra, aire y suelo, no afectar la flora y fauna existentes.
- Reducir la emisión de GEI (Gases de Efecto Invernadero).

Su producción y uso tienen efectos diferentes: en el ámbito económico, son capaces de reducir costes y aumentar el valor de los productos y residuos agrícolas, mejorando al mismo tiempo su calidad (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2015).

El etanol de primera generación se obtiene a partir de cultivos de caña de azúcar, mandioca, remolacha o cereales. La segunda generación se produce a partir de residuos orgánicos con un alto contenido de lignina y celulosa. Y la tercera generación proviene de biomasa modificada genéticamente para crear un proceso más eficiente (Castillo, 2013).

2.1.2 Los biocombustibles y su valor agregado.

En la actualidad, los combustibles más utilizados y con mayor producción son el biodiesel y el bioetanol. Desde un punto de vista etimológico, estos serán combustibles de origen biológico, pero existe toda una polémica en contra de esta definición, que incluiría productos derivados del petróleo ya que provienen de restos fósiles. Entonces, la afirmación más correcta podría decirse que se trata de un combustible de origen biológico, obtenido de forma renovable a partir de residuos orgánicos. Entre las fuentes de biocombustibles está la biomasa, proveniente de cultivos como caña de azúcar, maíz, sorgo, yuca y otros, usada para producir etanol, y los aceites de

palma africana, soya, higuera, *Jatropha curcas*, colza y otras plantas, utilizados para producir biodiesel (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2015).

El sector agrícola está fuertemente asociado con la energía debido a la creciente cantidad de biocombustibles en el mercado mundial. La razón principal de esto es que los residuos agrícolas pueden agregar valor para aprovechar el potencial y las oportunidades y convertirse en un biocombustible de segunda generación. (Sánchez, 2019).

2.2 Procesos para la obtención de biocombustibles de material lignocelulósico

La segunda generación es actualmente la generación más estudiada. La ventaja de este proceso es que tiene una huella de CO₂ nula o incluso negativa. Las materias primas de lignocelulosa y los residuos de la silvicultura y la agricultura representan uno de los recursos biológicos menos utilizados y subestimados y se consideran una fuente de biocombustible prometedora. (Naik, Goud, Rout y Dalai, 2010).

El 75 % de la biomasa vegetal se compone de polisacáridos. Existe una gran cantidad de azúcar que no se usa en agricultura, porque la proporción de azúcares que se usa en los alimentos es insignificante en comparación con los polisacáridos que se encuentran en la pared celular del resto de la planta, es decir, las partes no comestibles. En su punto de vista más simple, este material se puede quemar para generar calor y electricidad (Cortés, Gata, Pipió, Rodríguez y Sánchez, 2019).

Hay dos rutas principales para la obtención de biocombustibles líquidos a partir de biomasa:

- La primera involucra procesos termoquímicos, que presenta la ventaja de convertir prácticamente toda la materia en bioetanol.
- La segunda es la bioquímica. Como desventaja de esta última, hay que mencionar que sólo puede convertir una fracción de los polisacáridos,

siendo así el rendimiento muy bajo (Naik et al 2010).

2.2.1 Torrefacción.

En este proceso, la lignocelulosa se expone a temperaturas que varían entre 230 y 300 °C. Esto conduce a la evaporación del agua y los compuestos volátiles, lo que permite un mejor uso de la energía en los procesos posteriores; Por este motivo, también se denomina pretratamiento. Este proceso por sí solo proporciona un rendimiento muy bajo en la producción de biocombustibles. (Zhang y Zhang, 2019).

2.2.2 Licuación.

El proceso con agua (hidropirólisis) es bastante atractivo porque el solvente es barato y la fase acuosa de la licuefacción no requiere una etapa de secado, siendo interesante, por tanto, para materias primas con alto grado de humedad. La hidropirólisis requiere alta presión y uso de catalizador heterogéneo (Monteiro, 2010).

2.2.3 Pirólisis.

El pirólisis es un proceso fisicoquímico en el cual la biomasa es calentada a temperaturas relativamente bajas (500 - 800 °C), dando lugar a la formación de un residuo sólido rico en carbono (carbón) y una fracción volátil compuesta de gases y vapores orgánicos condensables (licor piroleñoso). La proporción de estos compuestos depende del método de pirólisis empleado, de los parámetros de proceso y de las características de la materia prima (Goyal, Seal, y Saxena, 2008).

2.2.3 Gasificación.

La gasificación es un proceso que convierte un insumo sólido o líquido en un gas (también llamado gas pobre) con características básicamente combustibles, por su oxidación parcial a temperaturas intermedias (400 – 900 °C), por encima de las recomendadas para pirólisis y por debajo de las recomendadas para combustión (Monteiro, 2010).

2.3 Situación mundial del Etanol

El mercado internacional de biocombustibles todavía es bastante limitado y embrionario. Gran parte de la producción mundial se dirige hacia el mercado interno. Sin embargo, la producción de bioetanol está mucho más adelantada que la de biodiesel, así como su comercio internacional (Furtado, 2009).

La situación del etanol es muy distinta porque llega a los países desarrollados como un producto acabado. Paradójicamente el etanol es considerado como un producto agrícola al paso que el aceite vegetal, que es una materia prima en la elaboración del biodiesel, se considera como un producto industrial (Furtado, 2009).

2.4 Situación del etanol en Latinoamérica

La mayoría de los países latinoamericanos, incluidos los productores de azúcar, están buscando una estrategia para reorganizar sus tecnologías de producción para responder a la apertura de nuevos mercados y la integración regional. Con la disminución de las reservas de combustibles fósiles y el aumento de los precios, la búsqueda de materias primas alternativas para reemplazar el petróleo se ha intensificado en todo el mundo (Gray, 2007).

Se identifica que son pocos los países latinoamericanos con condiciones para tornarse exportadores y también son pocas las culturas cuya producción tiene grandes perspectivas de expansión. Básicamente Argentina y Brasil son los grandes exportadores de productos agrícolas que tienen condiciones de expandir su oferta para ampliar exportaciones de biocombustibles. Las dos culturas con potencial productivo son la caña de azúcar, para el etanol, y la soya, para biodiesel. Las demás culturas tienen poca presencia en la actualidad y no se destinan para las exportaciones (Furtado, 2009).

2.4 Situación del etanol en el país

El Ecuador cuenta con importantes recursos energéticos renovables y no renovables, entre los que destacan el petróleo, por ser la principal fuente de ingresos de divisas del país, y las energías solares, hidráulica y la bioenergía, por el potencial que presentan (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2007).

La producción de biocombustibles en Ecuador es mínima en comparación con países como Brasil. En 2005, la superficie sembrada con caña de azúcar era de 130 000 ha, de las cuales 70 000 se utilizaron para la producción de azúcar, 50 000 para la elaboración de paneles y licor, y 10 000 para la producción de etanol (100 000 litros / día). La palma aceitera (principal materia prima para la producción de biodiesel) se produce en 11 de las 22 provincias del Ecuador. (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2007).

2.5 Producción del etanol en el Ecuador

Un estudio realizado por el CONSEP en 14 provincias en las tres regiones del país determinó que existen 374 trapiches artesanales, con 1 647 personas en relación directa de trabajo en el proceso de producción y finalmente se determinó que se producen 426 730 litros mensuales de alcohol artesanal, lo que en producción diaria es alrededor de 14 000 litros por día. Estos trapiches artesanales adicionalmente producen caña, panela y miel (Guzmán, 2013).

2.6 Bioetanol

El bioetanol ha sido identificado como el biocombustible más utilizado en todo el mundo, ya que contribuye significativamente a la reducción del consumo de petróleo crudo y la contaminación ambiental. Se puede producir a partir de diversos tipos de materias primas como sacarosa, almidón, lignocelulosa y biomasa de algas a través del proceso de fermentación por microorganismos (Mohd Azhar, et al 2017).

El bioetanol se ha producido a partir de azúcares procedentes de cultivos básicos con almidón como el trigo, la caña de azúcar o el maíz. Sin embargo, estas materias primas que contienen azúcar y almidón se utilizan principalmente para alimentos y piensos, lo que afecta su suministro continuo (Tan et al, 2019).

Las crecientes actividades de las industrias agrícolas y forestales mundiales están produciendo enormes cantidades de residuos lignocelulósicos, que deben reciclarse bien. La gestión de este desperdicio implica desafíos ambientales, sociales, económicos y políticos. Los lignocelulósicos se han usado comúnmente para materiales de construcción y producción de energía, logrando así impactos sociales y ambientales positivos (Rodríguez y Orrego, 2020).

2.6.1 Producción de bioetanol.

En general, el proceso de extracción de combustible del bioetanol consta de cuatro etapas fundamentales:

- Pretratamiento (mecánico, térmico, fisicoquímico, químico o biológico)
- Hidrólisis enzimática
- Detoxificación mediante métodos biológicos o fisicoquímicos
- Fermentación principalmente de hexosas y pentosas

De esta última etapa se obtienen como productos finales un alcohol en forma de etanol, dióxido de carbono (CO₂) en forma de gas y moléculas de ATP (Adenosín Trifosfato) que consumen los microorganismos en su metabolismo celular energético anaeróbico (Sánchez , Gutiérrez , Muñoz J y Rivera , 2010).

2.6.2 Bioetanol de segunda generación.

El etanol de segunda generación utiliza diferentes tipos de materiales lignocelulósicos como sustrato. Actualmente, solo se producen cantidades insignificantes de bioetanol de segunda generación en varias plantas de

demostración en todo el mundo que funcionan industrialmente, pero aún no son comercialmente factibles. En este momento, la empresa Borregaard ubicada en Noruega se declara el mayor productor de etanol de segunda generación con una producción anual de 20 000 m³ (Rødsrud, Lersch y Sjöde, 2012).

Los avances adicionales en el campo de la producción de bioetanol de segunda generación probablemente dependerán de una mayor comprensión de las interacciones entre enzimas y sustratos lignocelulósicos, el desarrollo de ingeniería enzimática y la optimización de mezclas de enzimas para mejorar la hidrólisis de celulosa (Barbosa, Silvello y Goldbeck, 2020).

2.7 Material lignocelulósico

La composición química y biológica de los residuos agrícolas depende del proceso de transformación y de las materias primas utilizadas. Sin embargo, los residuos agrícolas industriales se clasifican como material celulósico; es decir, el contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina representa un porcentaje más alto (Alonso, Ramírez y Rigal, 2012; Saval, 2012).

Algunos residuos agroindustriales tienen un gran potencial para producir bioenergía a partir de biocombustibles como biomasa energética, bioetanol, biodiésel y otros, e incluyen una amplia gama de productos, que a su vez se han categorizado en diferentes tipos combustibles. Los sólidos (leña, desechos agrícolas, desechos animales y desechos domésticos) se gasifican para producir calor y electricidad. Los fluidos que utilizan cultivos energéticos (caña de azúcar, semillas oleaginosas, aceite de ricino, palma aceitera y coco) se utilizan para producir etanol y biodiesel. (González, 2019).

2.8 Biomasa lignocelulósica

El uso de residuos de origen agrícola y desechos orgánicos como una alternativa al combustible de origen fósil va a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y va a ser beneficioso para todos los interesados en invertir en este tipo de bioenergía (Petre, Pătrulescu y Teodorescu, 2016).

Actualmente, la biomasa lignocelulósica y en particular los subproductos de complejo agroindustrial han dejado de ser residuos, convirtiéndose en una potencial materia prima para diversos procesos agrícolas e industriales, siendo la producción de alcohol combustible uno de los más importantes. Sin embargo, aún existen muchas limitaciones que han surgido en torno a la producción de etanol a partir de materiales de este tipo, debido a su compleja estructura lignocelulósica (Riaño, Morales, Hernández y Barrero, 2010).

Los residuos agroindustriales se constituyen como la biomasa más abundante del planeta y su uso presenta un amplio potencial, debido a que son sustratos renovables y no presentan ningún valor comercial (Gupta y Prakash, 2015).

El uso de lignocelulosas es un desafío tecnológico que requiere la aplicación gradual de nuevos conceptos y métodos. Ciertos países del tercer mundo con grandes áreas de tierras cultivables podrían reducir de manera rentable las importaciones de petróleo en el futuro si ahora comienzan un programa de investigación acordado para la producción a gran escala de etanol a partir de residuos agrícolas (Díaz y Herrera, 2016).

2.9 Ventajas en la producción de biocombustibles de segunda generación

La ventaja más importante de los biocombustibles de segunda generación, producidos con un balance energético positivo, en comparación con los biocombustibles convencionales, es el menor impacto ambiental de su producción (Vicentin, 2013).

- Menos nivel de impacto ambiental
- Mayores rendimientos en combustible o energía por hectárea, debido a que es posible aprovechar el total de la biomasa
- El potencial aprovechamiento de una vasta gama de materia prima, y en particular, de residuos o desechos

- Bajo nivel de emisiones

Para la producción de biocombustibles de segunda generación, la lignocelulosa es central y permite el aprovechamiento de partes de la planta o del cultivo que no aportan valor nutricional a la humanidad, como subproductos o desechos de industrias del procesamiento de alimentos o madera, lo que les brinda la oportunidad de agregar valor para la producción de biocombustibles (Vicentin, 2013).

La ventaja del bioetanol es que posee menos de un 0.1 % de agua en su composición, siendo adecuado para la mezcla carburante con la gasolina. Brasil fue el primer país del mundo en eliminar totalmente el tetraetilo de plomo de su matriz de combustibles en 1992 al utilizar bioetanol, ya que, al quemarse el tetraetilo de plomo, el plomo era liberado a la atmósfera generando un problema ambiental y de salud (Castillo, 2013).

Otra ventaja de utilizar bioetanol es que se puede obtener por fermentación, lo cual es un proceso económicamente viable, por lo que es rentable obtener bioetanol, considerar su volumen de producción, y costo de producción. Se debe tener en cuenta, por lo que los países producen etanol a partir de diversas materias primas (Castillo, 2013).

2.10 Producción de banano en el Ecuador y el mundo

2.10.1 El plátano.

El plátano es uno de los cultivos más importantes en el mundo. En el año 2013 se produjeron 106 millones de toneladas y la mayoría de la producción se concentró en dos continentes, Asia (57 %) y América (26 %), pero se le conoce y consume a nivel mundial por su disponibilidad a lo largo de todo el año (Guerrero, Aguado, Sánchez y Curt, 2016).

Se trata de un cultivo tropical, herbáceo y perenne, de la familia de las musáceas, que genera un racimo una sola vez en su vida. En la cosecha se corta la planta para descender el racimo, generándose como residuos lignocelulósicos el tallo y las hojas. Una vez que el racimo llega a la planta de

empaquetado se genera otro residuo, el raquis del racimo. La relación entre residuo y producto de plátano es de 2:1 (Guerrero, Aguado, Sánchez y Curt, 2016).

2.10.2 Sectores donde se produce plátano en Ecuador.

Los cultivos de bananos se distribuyen en las provincias de Manabí, Los Ríos, Guayas, El Oro, y Esmeraldas. En el año 2015 la producción de cajas de banano por hectárea se incrementó en 5 % en comparación al año anterior. Con este mejoramiento de la producción, los bananeros se recuperaron con más ingresos, lo que permitió financiar las mejoras en infraestructura, fertilización y reducir el impacto de la Sigatoka negra y demás plagas. Otros aprovecharon el buen momento para alquilar sus plantaciones ya que los precios de la fruta estaban altos y presentaban buenos niveles de productividad (Crop Science Bayer, 2017).

El sector bananero genera entre 2 a 2.5 millones de empleo tanto directo como indirecto, siendo un promedio de empleo directo de 0.8 hombres por hectárea de banano. El Ministerio de Agricultura y Ganadería, registra 162 039 hectáreas de banano, de los cuales el 12 % pertenece a banano orgánico y el 88 % es de banano convencional (Crop Science Bayer, 2017).

Los residuos lignocelulósicos se dejan sobre el suelo o se llevan a vertederos a cielo abierto. En el primer caso, contribuyen a mantener la humedad del suelo y aportar materia orgánica, pero suponen un riesgo potencial de diseminación de enfermedades; y en ambos casos se generan gases de efecto invernadero al descomponerse (Guerrero, Aguado, Sánchez y Curt, 2016).

2.10.3 Cáscara del banano.

La cáscara de banano es un residuo agrícola que se puede aplicar como un sustrato para la elaboración de etanol debido a sus ricos carbohidratos, proteínas crudas y azúcares reductores. Además, las cáscaras de banano son materia prima potencial para la producción de etanol, ya que

estas son materias asequibles y renovables de bajo costo (Bhatia y Paliwal, 2010).

Como otros usos de las cáscaras de banano han incorporado la producción de proteínas, etanol, metano, pectinas, extractos y enzimas. Actualmente, en la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria en cáscaras de banano se han identificado compuestos antioxidantes de gran valor (Albarelli, Rabelo, Santos, Beppu y Meireles, 2011).

Muchas otras la aplicación como un sustrato para generar biomasa fúngica; uso en la producción de la casa; y la utilización como un biosorbente para la eliminación de metales pesados (Ibrahim, 2015).

Las cáscaras de banano son desechos agrícolas fácilmente disponibles que se utilizan poco como medio de crecimiento potencial para la cepa de levadura, a pesar de su rico contenido de carbohidratos y otros nutrientes básicos que pueden ayudar al crecimiento de la levadura (Benjamin et al, 2014).

2.11 Producción de maracuyá en el Ecuador y el mundo

2.11.1 Sectores donde se produce maracuyá en Ecuador y otros países.

En nuestro país, el maracuyá (*Passiflora edulis*), se encuentra en el litoral ecuatoriano, destacándose las provincias de los Ríos con 18 553 ha (cantones Quevedo y Mocache). Manabí con 4 310 ha y Esmeraldas con 1 247 ha (Quinindé y la Concordia), con una producción de 247 973 toneladas y productividad media de 8.6 t/ha (Quintero, 2013).

La producción de maracuyá se orienta a la obtención de jugo y la producción de pulpa, en el proceso de transformación se procede a la separación de la pulpa de la cáscara y la semilla. En gran parte de los casos la cáscara se destruye, se destina a alimentación animal, abono orgánico y actualmente comienza a estudiarse posibles aplicaciones para la producción de energía (Espinoza, 2016).

La fruta de la pasión, que en Ecuador se cultiva tiene una alta demanda en EE. UU. y Europa, con énfasis en Países Bajos, por el concentrado sabor ácido que en estos países es considerado “exótico”. Más conocida como maracuyá, esta fruta es cultivada principalmente por pequeños productores, pues el 80 % de los casi 6 800 agricultores que se dedican a esta actividad está en ese rango (Tapia, 2015).

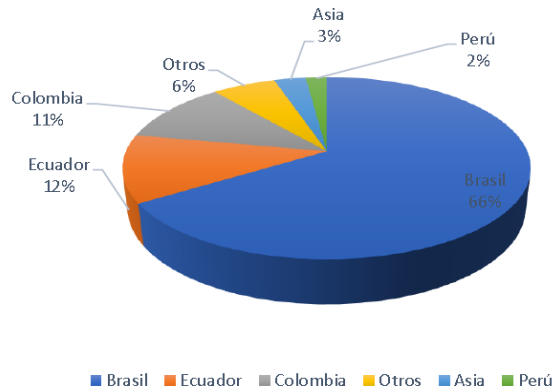
Aunque Brasil es el mayor productor de la fruta, Ecuador lidera la exportación de Latinoamérica, debido a que el ‘gigante de la región’ destina la mayor parte de su producción al consumo local. De acuerdo con los últimos datos del Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca (MAGAP), hasta el 2016 se contabilizaron 4 286 hectáreas de cultivo de maracuyá, o ‘*Passiflora edulis*’ (Tapia, 2015).

2.11.2 Empresas Agroindustriales que producen y comercializan maracuyá.

En las 50 hectáreas de la empresa Ecuantropics S.A., ubicadas en Sacachún, provincia de Santa Elena, el maracuyá que se cultiva dos veces por semana, nace de semillas que pasaron por este proceso de selección. De ahí que la productividad que se alcanza es de 18 toneladas por hectárea (Tapia, 2015).

En el Gráfico 1, se presentan los principales países productores de maracuyá en el mundo.

Gráfico 1. Principales Países Productores de Maracuyá



Fuente: Ortiz (2018)

2.12 Cáscara de maracuyá.

La cáscara de la fruta de la pasión es un desecho industrial que actualmente se utiliza y se vende a granjas ganaderas, adquiriendo un bajo valor económico; Además, en días de alta productividad, la cantidad de este residuo aumenta, causando problemas con la acumulación de material, olores desagradables, mayor actividad microbiana, la existencia de mosquitos y moscas, costos de transporte y contratación de unidades de transporte y motores para movilizarse, por lo tanto esto lleva a la búsqueda de una nueva aplicación de cáscara, que se forma en grandes cantidades en el proceso de extracción de jugo de las frutas (Escobedo, 2013).

Este residuo se desecha porque la pulpa de la fruta se utiliza para el consumo humano. Además, las plantas procesadoras de jugo de maracuyá que eliminan el pericarpio en grandes cantidades son otra fuente de desechos. Se venden a muy bajo precio y están destinados a la producción de forrajes; Sin embargo, el uso de estas cáscaras de maracuyá es posible, solucionando el problema ecológico de la acumulación de residuos; porque producen un olor desagradable, aumento de la actividad microbiana (Escobedo, 2013).

El maracuyá es una fruta tropical de una planta que crece en una forma enredada, pertenece a la familia de las *Pasifloras* que posee más de 400 variedades (Castro, Paredes y Muñoz, 2010).

2.13 Caracterización de la cáscara de maracuyá y banano

En general, la caracterización fisicoquímica muestra que entre los frutos de cada tratamiento hay diferencias apreciables en el largo, grosor, contenido de azúcares y pH; estas diferencias se mantienen durante el proceso de maduración (Arrieta, Baquero y Barrera, 2006). Según Arias (2019) en su trabajo sobre, “Caracterización físico-química de residuos agroindustriales como insumo para la alimentación bovina” obtuvo los siguientes resultados; la cascara de maracuyá obtuvo 6.76 % de proteína, 47.07 % fibra, 12.22 % de humedad, 9.46 % de cenizas, 0.78 % de grasa y 3.54 % de energía, mientras que la cascara de banano obtuvo 6.46 % de proteína, 17.35 % fibra, 13.78 % de humedad, 9.05 % de cenizas, 3.85 % de grasa y 3.77 % de energía (Arias, 2019).

La caracterización realizada a los subproductos del plátano permite considerarlos como potenciales sustratos, y generadores, así, diferentes alternativas de aprovechamiento a los que son considerados estos residuos agroindustriales (Mondragón, Serna, Garcia, y Jaramillo, 2017). El puré de banano deshidratado residual es un sustrato que no es aprovechado para transformarlo para algún beneficio, además, estos residuos son aptos para la fermentación alcohólica y la obtención de etanol, debido a su composición fisicoquímica y su contenido de azúcares (Moreira y Solórzano, 2020).

Con respecto a la caracterización del pericarpio de maracuyá (Ávila, 2015) recomienda hacer el análisis de celulosa y hemicelulosa para tener una visión más precisa de qué tipo de azúcares reductores se obtiene y experimentar con enzimas para lograr un mayor rendimiento en la conversión de holocelulosa en azúcares reductores, ya que el pericarpio presenta una composición química que puede ser aprovechada con otro proceso

2.14 Levadura *Saccharomyces cerevisiae*

El microorganismo *S. cerevisiae* ha demostrado ser muy fuerte y adecuado para la fermentación de los hidrolizados lignocelulósicos, que fácilmente puede fermentar mono y disacáridos de 6 carbonos como la glucosa, fructosa, maltosa y sacarosa. Sin embargo, *S. cerevisiae* no es capaz

de fermentar azúcares de 5 carbonos como la xilosa obtenida en la hidrólisis de la hemicelulosa, convirtiendo esto en una gran desventaja ya que los hidrolizados de la biomasa son mezclas de azúcares de 5 y 6 átomos de carbono (Amarasekara, 2013).

En comparación con otros tipos de microorganismos, las levaduras, especialmente *Saccharomyces cerevisiae*, son los microbios comunes empleados en la producción de etanol debido a su alta productividad de etanol, alta tolerancia al etanol y la capacidad de fermentar una amplia gama de azúcares. Las levaduras pueden fermentar directamente azúcares simples en etanol, mientras que otro tipo de materia prima debe convertirse en azúcares fermentables antes de que pueda fermentarse en etanol (Mohd Azhar et al, 2017).

2.15 Proceso bioetanol de primera generación

La caña se lava y se pasa al sistema de preparación y extracción, esencialmente, en molindas. La extracción del jugo se realiza bajo la presión de cilindros, se separa el jugo que contiene la sacarosa, de la fibra. En los difusores la caña picada y desfibrada pasa por sucesivos lavados con agua caliente y desprende sus azúcares por lixiviación. En la etapa final el producto pasa por un cilindro de secado, de donde sale el bagazo que se utiliza en las calderas. De esta forma, el jugo que contiene los azúcares de caña puede ser utilizado en la producción de azúcar o de bioetanol (Carvalho, 2008).

2.16 Proceso de producción de bioetanol de segunda generación

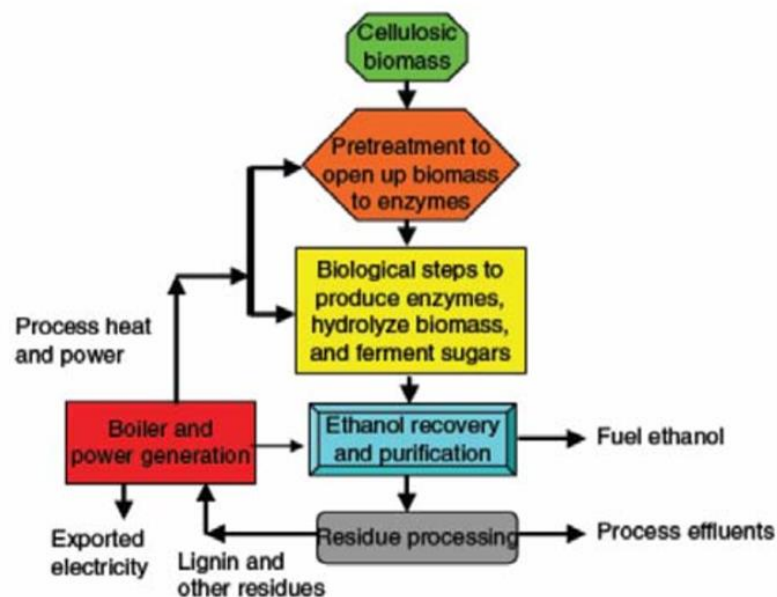
La conversión de la biomasa lignocelulosa en bioetanol requiere de los siguientes pasos descritos en el Gráfico 2:

1. Obtención de la biomasa lignocelulósica (cosecha/residuo).
2. Pretratamientos para separar dicha biomasa en celulosa, hemicelulosa y lignina.
3. Hidrólisis de la celulosa y de la hemicelulosa para la producción de azúcares. Esta etapa puede ser química (mediante hidrólisis ácida) o biológica (utilizando la enzima llamada celulosa). La hidrólisis ácida es

un proceso bien establecido y muy cercano a su comercialización a gran escala, pero aún se está investigando en enzimas alternativas, así como en diversos hongos y bacterias modificadas genéticamente que fermenten toda la biomasa en azúcares.

4. Fermentación de los azúcares para producir alcohol.
5. Separación del etanol de los coproductos de la fermentación (Wyman, 2008).

Gráfico 2. Pasos para convertir la biomasa lignocelulósica en bioetanol de segunda



Fuente: Wyman, (2008)

2.17 Beneficios de los biocombustibles al medio ambiente

Los biocombustibles ofrecen muchos beneficios. Al reducir la demanda de petróleo los biocombustibles podrían volver más seguro el abastecimiento de energía. Su uso también reduciría los costos de importación a países con déficit de energía y ofrecería una mejor balanza comercial y balanza de pagos. Todos estos desarrollos descongelarían la escasez de recursos para otras necesidades apremiantes (Arungu, 2007).

Puede reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero, monóxido de carbono y partículas. Además, la transición a los biocombustibles creará nuevas industrias y aumentará la actividad

económica. Los biocombustibles son renovables, el bioetanol y el biodiésel se queman limpiamente. Otro aspecto importante es que puede utilizar su infraestructura existente para almacenar e implementar, lo que facilita su comercialización con relación a otras alternativas. Se espera que los biocombustibles desempeñen un papel importante en la política de cambio climático, lo que sin duda abrirá oportunidades para el desarrollo de biocombustibles en los países en desarrollo, incluida África (Arungu, 2007).

2.18 Efectos del etanol en el ambiente

Las mezclas de etanol y etanol-gasolina son más limpias y tienen niveles de octano más altos que la gasolina pura, pero también tienen mayores emisiones de evaporación de los tanques de combustible y equipos de dispensación. Estas emisiones por evaporación contribuyen a la formación de ozono y smog nocivos a nivel del suelo. La gasolina requiere un procesamiento adicional para reducir las emisiones por evaporación antes de mezclarla con etanol (Independent Statistics and Analysis, 2019).

Producir y quemar etanol produce emisiones de dióxido de carbono (CO₂), un gas de efecto invernadero. Sin embargo, la combustión de etanol a partir de biomasa (como el maíz y la caña de azúcar) se considera neutral en carbono atmosférico porque a medida que la biomasa crece, absorbe CO₂, lo que puede compensar el CO₂ producido cuando se quema el etanol (Independent Statistics and Analysis, 2019).

El bioetanol es una alternativa ampliamente reconocida al combustible fósil para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Hasta la fecha, el bioetanol se produce principalmente a partir de cultivos alimentarios que afectan prácticamente todos los aspectos de los cultivos de campo, desde la demanda interna y la exportación hasta el precio, y la asignación de tierras entre los cultivos, lo que ha creado una preocupación sobre la sostenibilidad del bioetanol a partir de cultivos alimentarios (Ramesh y Ramachandran, 2019).

Aunque las emisiones de GEI y el costo de producción dependen de la materia prima, el tamaño de la planta, la utilización de coproductos y los procesos de producción, y el enfoque de simbiosis industrial / economía circular pueden mejorar la sostenibilidad económica y ambiental del bioetanol. Sin embargo, la producción de bioetanol a partir de cultivos alimentarios debe regularse para garantizar la seguridad alimentaria, y requiere un análisis fronterizo para mitigar los riesgos económicos y ambientales (Ramesh y Ramachandran, 2019).

2.19. Investigaciones previas de producción de biocombustibles con levadura “*Saccharomyces cerevisiae*”

2.19.1. La producción de etanol e hidrógeno a partir de la cáscara de piña por *Saccharomyces Cerevisiae* y *Enterobacter aerogenes*.

La producción de biocombustibles, incluido el etanol y el hidrógeno a partir de residuos agrícolas, es motivo de preocupación como energía renovable. La cáscara de piña, un subproducto de la industria de procesamiento de piña representa el 29-40 % (p / p) del peso total de la piña. Se logró 36.25 ± 2.87 % de celulosa de la cáscara de piña después del pretratamiento con agua y calor a 100 °C durante 4 h. Posteriormente, se añadió 0.5 % (p / p) de celulasa de *Aspergillus niger* (Sigma) para la hidrólisis enzimática. La producción máxima de azúcar (34.03 ± 1.30 g / L) se obtuvo después de 24 h de tiempo de incubación. El hidrolizado enzimático se utilizó como medio de fermentación, sin adición nutricional para producir etanol e hidrógeno por *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5048 y *Enterobacter aerogenes* TISTR 1468. El rendimiento máximo de etanol (9.69 g / L) sin producción de hidrógeno por *S. cerevisiae* se logró después de 72 h. Sin embargo, el etanol e hidrógeno máximos de *E. aerogenes* fueron 1.38 g / L y 1.416 mL / L después de 72 h y 12 h de cultivo, respectivamente. Además, los 1.2 pliegues de la producción de biocombustibles aumentaron cuando se inmovilizó la célula bacteriana en la matriz de esponja vegetal (Choonut, Saejong y Sangkharak, 2014).

2.19.2. Valorización del bagazo de caña de azúcar para la producción de bioetanol mediante sacarificación y fermentación simultáneas: optimización y estudios cinéticos.

Este estudio se centra en la valorización del bagazo de caña de azúcar (SCB), que es un subproducto de desecho de la industria azucarera para la producción de etanol. Se modeló y optimizó un proceso simultáneo de sacarificación y fermentación. Además, se evaluó la cinética del crecimiento celular de *Saccharomyces cerevisiae* y la formación de etanol en las condiciones optimizadas utilizando los modelos logísticos y modificados de Gompertz, respectivamente. La metodología de superficie de respuesta (RSM) se utilizó para la optimización con parámetros de entrada que consisten en la carga de enzimas (20–100 U/g), temperatura (30–50 °C) y título de levadura (1–5 veces). Se observó una concentración máxima de bioetanol de 4.88 g / L en las condiciones óptimas del proceso de 1 vez (título de levadura), 100 U/g (carga enzimática) y 39 °C (temperatura) (Jugwanth, Sewsynker-Sukai y Gueguim Kana, 2020).

2.19.3. Bioconversión de almidón a etanol en un proceso de un solo paso por cocultivo de levaduras amilolíticas y *Saccharomyces Cerevisiae*.

La producción de etanol por un cocultivo de *Saccharomyces diastaticus* y *Saccharomyces cerevisiae* 21 fue de 24.8 g / l utilizando almidón crudo no hidrolizado en una fermentación de un solo paso. Esto fue 48 % más alto que el rendimiento obtenido con el monocultivo de *S. Diastaticus* (16.8 g / l). La eficiencia máxima de fermentación de etanol se logró (93 % del valor teórico) utilizando una concentración de almidón de 60 g / l. En otra fermentación en co-cultivo con *E. capsularis* y *S. cerevisiae* 21, el rendimiento máximo de etanol fue de 16.0 g / l, mayor que el rendimiento con el monocultivo de *Endomycopsis capsularis*. En las fermentaciones discontinuas utilizando cocultivos, la producción máxima de etanol se produjo en 48 h de fermentación a 30 ° C utilizando 60 g / l de almidón (Verma, Nigam, Singh y Chaudhary, 2000).

2.19.4. Fermentación de etanol a partir de caña de azúcar a diferentes vencimientos.

Se realizaron experimentos empleando partículas de caña obtenidas de la caña de azúcar en diferentes etapas de crecimiento hasta la maduración para estimar la etapa de crecimiento de la caña de azúcar donde se optimizó la producción de etanol y el consumo de carbohidratos. La sacarosa se consumió poco en la caña joven, lo que fue un resultado inesperado. La fructosa, por otro lado, era la hexosa que permanecía en el medio al final de las fermentaciones, especialmente cuando se usaba caña de azúcar madura. Hubo una tendencia creciente en la producción de etanol en función de DAP (días después de la siembra) como se esperaba, sin embargo, se alcanzó una meseta después de 225 DAP y el valor máximo obtenido fue entre 300 y 325 DAP. Finalmente, se descubrió que las levaduras que mostraban más afinidad con las fibras de caña de azúcar mostraban mejores rendimientos de etanol en todo el intervalo DAP (Rolz y León, 2011).

2.19.5. Demostraciones prácticas de los retos y oportunidades de la producción de bioetanol de primera y segunda generación a partir de cultivos tropicales.

En este trabajo se presentó una serie de prácticas de laboratorio en las que los estudiantes desarrollan fermentaciones para producir bioetanol de primera (azúcares libres y almidón) y segunda generación (celulosa). Debido a que las zonas tropicales de México y de otros países americanos se están considerando como las más propicias para el cultivo de las materias primas vegetales, se probaron fuentes de carbohidratos de estas regiones tales como jugos (piña, caña de azúcar, uva y manzana), almidón de tubérculos (camote, papa y malanga) y celulosa (hojas de caña y papel reciclado). Las prácticas se desarrollaron como investigación dirigida y con ellas se aprenden y discuten los principios y los retos de la producción de etanol como biocombustible (Zamora, Prado, Capataz, Barrera y Peña, 2014).

3 MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación del ensayo

El presente Trabajo de Titulación, se llevará a cabo en el laboratorio de Química de la Facultad Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil ubicada en en la avenida Carlos Julio Arosemena km 1 1/2, cantón Guayaquil, provincia del Guayas.

En el gráfico 3, se puede observar la ubicación de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Gráfico 3. Ubicación de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil



Fuente: Google Maps (2020)

Elaborado por: El Autor

3.1.1. Características climáticas.

- Temperatura promedio de 25 °C
- Humedad relativa del 67 %
- Clima Tropical

3.2. Materiales utilizados

3.2.1. Materia prima.

- Cáscara de Banano
- Cáscara de Maracuyá

3.2.2. Materiales y equipos.

- Recipientes de vidrio
- Botellón de agua
- Manguera
- Papel aluminio
- Estufa
- Agua destilada
- Molino
- Agitadores
- Calentador
- Termómetro
- Cinta adhesiva
- Matraz Erlenmeyer
- Pipeta
- Mechero Bunsen
- Tamiz
- Autoclave
- Destilador
- Refractómetro
- pH-metro

3.2.3. Reactivos.

- Azúcar
- Levadura (*Saccharomyces cerevisiae*)
- Hipoclorito de sodio
- Hidróxido de sodio 0.1 N
- Sulfato de calcio
- Ácido sulfúrico
- Hidróxido de sodio 5 N

3.2 Tipo de investigación

Se planteará una investigación experimental, con nivel exploratorio y descriptivo (Hernández, Fernández y Baptista, 2014) tomando en cuenta que, para la producción de bioetanol a partir de material lignocelulósico, existen distintas fuentes de información, no obstante, se investigará para implementar en la metodología, para luego ser examinadas estadísticamente y enfatizar el mejor tratamiento.

3.2.3 Investigación Experimental.

La investigación experimental está integrada por un conjunto de actividades metódicas y técnicas que se realizan para recabar la información y datos necesarios sobre el tema a investigar y el problema a resolver (Arias, 2012).

3.2.4 Investigación Exploratoria.

La investigación exploratoria hace frente a una situación o problema, cuando el investigador no tiene conocimientos del tema a investigar, define o clarifica conceptos, da a conocer situaciones, problemas, identifica causas y formula hipótesis (Abascal y Grande, 2017).

3.2.5 Investigación descriptiva.

La investigación descriptiva, consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno. Con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Su misión es observar y cuantificar la modificación de una o más características en un grupo (Arias, 2012).

3.3 Factores de estudio

- Dos variedades de material lignocelulósico: banano y maracuyá
- Tres niveles de Levadura

En la Tabla 1, se muestran los factores de estudio de la investigación:

Tabla 1. Factores de estudio

Factores	Variedad	Simbología
A	Banano	B1
		B2
		B3
	Maracuyá	M1
		M2
		M3
B	Levadura	Sc1
		Sc2
		Sc3

Elaborado por: El Autor

3.4 Tratamientos en estudio.

Los tratamientos en estudio serán:

Dos variedades de biomasa:

- Banano
- Maracuyá

También se estudiará tres niveles de levadura:

- 1 %
- 5 %
- 7 %

En la Tabla 2, se exponen los tratamientos establecidos en la investigación.

Tabla 2. Interacciones de tratamientos.

Tratamientos	
1	B1sc1
2	B2sc2
3	B3sc3
4	M1sc1
5	M2sc2
6	M3sc3

Elaborado por: El Autor.

3.5. Análisis Estadístico

El análisis estadístico se realizará mediante el análisis de varianza ANOVA y las medidas serán comparadas mediante la prueba de rangos múltiples Tukey ($P \leq 0.05$), con la utilización de SPSS versión 24.

3.6. Diseño Experimental

Durante el desarrollo del ensayo se utilizará un Diseño Completamente al Azar (DCA) AxB donde el factor A (tipo de material lignocelulósico; banano y maracuyá) y el factor b (los 3 niveles de levadura), resultando 6 tratamientos y 3 réplicas.

3.7. Modelo Matemático

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ij} = total de las observaciones en estudio.

μ = efecto de la media general.

T_i = Efecto del factor A.

β_j = Efecto del factor B.

$(\tau\beta)$ = Efecto de la interacción del factor A por el factor B.

ε_{ijk} = Efecto del error experimental (Bocco, 2010).

3.8. Esquema del análisis de varianza

En la tabla 3, se muestra el esquema de análisis de varianza de la investigación a realizar.

Tabla 3. Esquema del análisis de varianza.

Fuente de Variación	Grados de Libertad
Tratamientos	5
Factor A	1
Factor B	2
Interacción A*B	2
Error Experimental	12
Total	17

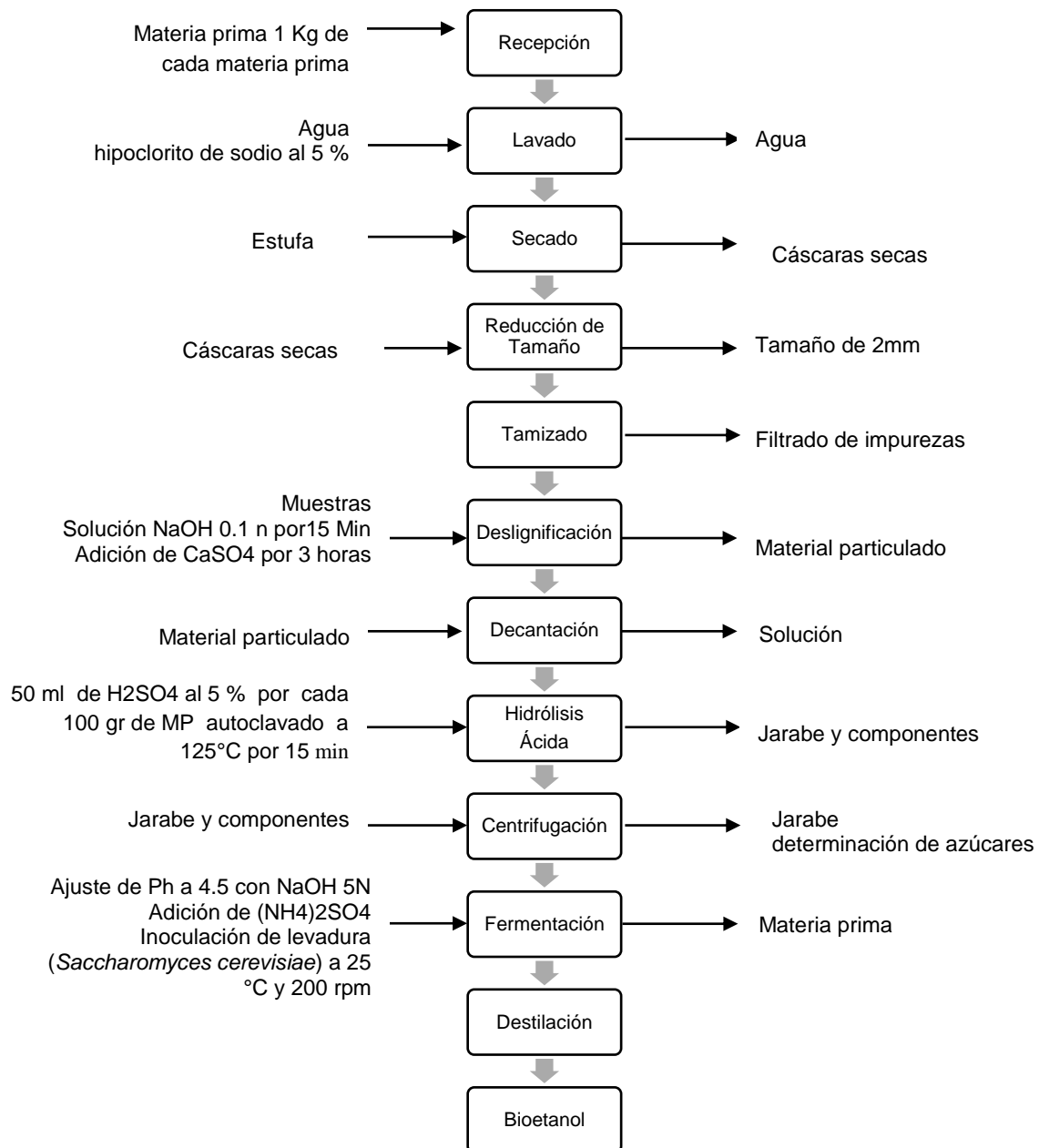
Elaborado por: El Autor.

3.9. Proceso productivo del bioetanol

3.9.1. Diagrama de flujo.

En el gráfico 1, se observa el proceso productivo para la obtención de bioetanol se aplicará para ambas materias primas (cáscaras de banano y maracuyá):

Gráfico 4. Proceso obtención de etanol



Fuente: (Tejada, Tejada, Villabona y Tarón, 2010)

Elaborado por: El Autor

3.9.2. Descripción de procedimiento experimental.

Este proceso productivo para la obtención de bioetanol se aplicará para ambas materias primas por separado (cáscara de banano y cáscara de maracuyá):

- **Recepción:** se receptorá la materia prima, en este caso 1 kg de cáscara de banano y 1 kg de cáscara de maracuyá.
- **Lavado:** una vez recibida, se proseguirá con un proceso de lavado para eliminar el exceso de tierra y polvo, con agua y una solución de hipoclorito de sodio al 5 %, para cada materia prima por separado.
- **Secado:** seguidamente, cada muestra se someterá a un proceso de deshidratación por separado a una temperatura de 60 °C.
- **Reducción de tamaño:** la materia prima seca, se someterá a una molienda hasta obtener un tamaño de partícula aproximado de 2 mm.
- **Deslignificación:** se pesarán los gramos de cada muestra y se realizará la eliminación de lignina, sumergiendo las muestras en una solución de NaOH 0.1 normal durante 15 minutos. Posteriormente se adicionará sulfato de calcio y se dejará en reposo por un lapso de 3 horas.
- **Decantación:** el material particulado de cada solución obtenida será separado de cada materia prima
- **Hidrólisis ácida:** una vez finalizada la decantación, se llevará a cabo la hidrólisis ácida, en la cual se añadirá 50 ml de ácido sulfúrico al 5 % por cada 100 gramos de cada muestra, se esterilizará a una temperatura de 125°C, durante 15 minutos en la autoclave.
- **Centrifugación:** culminada la hidrólisis ácida se separarán los componentes por medio de centrifugación y se determinará los grados brix del jarabe de cada muestra.
- **Fermentación:** se rectificará el pH a 4.5 – 5.0 con hidróxido de sodio normalidad 5 y como nutriente se utilizará el fosfato de amonio. Se activará la levadura en un poco de jarabe a una temperatura de 25 °C a 200 rpm. Se inoculará con el porcentaje de levadura respectiva para cada tratamiento de cada muestra.

- **Destilación:** una vez culminada la fermentación y obtenido el etanol, se realizará una destilación simple de cada muestra del producto fermentado para separar el agua del combustible y purificarlo.

3.10. Instrumentos de la investigación

3.10.1. Caracterización de materia prima.

Se realizará análisis físico y químico a la materia prima (cáscara de banano y cáscara de maracuyá) detallado a continuación:

a) Determinación del pH.

Para determinar el pH se tomará 10 g de muestra de cada materia prima y 50 ml de agua destilada. Se procede a mezclarlo en un vaso de precipitación y ubicarlo en el pH metro (NTE INEN 526, 2013).

b) Determinación de la Acidez.

Para este procedimiento se tomó 10 g de cada materia prima, 25 ml de hidróxido de sodio, 50 ml de agua destilada y 5 gotas de fenolftaleína en cada muestra utilizando esta fórmula (NTE INEN 521, 2013).

$$\text{Acidez} = g \times N \times \text{Milieq} \times 100g$$

Dónde:

g: volumen en ml, gastado por la base.

N: normalidad de la base.

Milieq: miliequivalente del ácido predominante en la muestra acida.

Gramos muestra: volumen del ácido.

c) Determinación de la humedad.

Se escogen 2 g de muestra y una vez pesada se la dejará en la estufa a 130 °C por 2 horas. Se procede a tomar el peso de muestra seca y se calcula cantidad de humedad con la siguiente formula (NTE INEN 518, 1981).

$$\% \text{ Humedad} = (P_1 - P_2) m \times 100$$

Dónde:

P_1 = peso de la placa más muestra

P_2 = peso de la placa más muestra seca

m = peso de la muestra

3.10.2. Costos de producción.

Se deducirá el costo de producción. En la siguiente tabla se detalla las formulaciones que se utilizarán para calcular los costos de producción de bioetanol.

Tabla 4. Fórmulas para calcular costos de producción

Costos de producción		
Costo Primario	MPD + MOD	MPD: Materia prima directa MOD: Mano de obra directa
Costo de conversión	MOD+CIF	MOD: Mano de obra directa CIF: Costo indirectos de producción
Costo de producción	MOD+MPD+CIF	MOD: Mano de obra directa MPD: Materia prima directa CIF: Costo indirectos de producción

Elaborado por: El Autor

3.10.3. Cálculo del Rendimiento.

El rendimiento del proceso se calcula con la relación entre el peso obtenido de los productos y la cantidad de materia prima utilizada, por medio de un balance de materia.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{vol. de etanol producido}}{\text{vol. de MP sometida a fermentación}} \times 100$$

4 DISCUSIÓN

Rath et al. (2014) En su artículo indican que el valor del pH del material lignocelulósico tiene una influencia significativa en la fermentación alcohólica. Se determinó el pH del bioetanol producido a partir de diferentes desechos. La levadura sobrevive en un ambiente ligeramente ácido con un pH entre 4 y 6. Según (Díaz y Herrera, 2016) recomienda que se tome como materia prima aquella que tenga la mayor cantidad de material lignocelulósico; puesto que, se generará mayor cantidad de alcohol.

Según Arrieta et al. (2006), la cáscara de banano en su proceso de maduración realiza un proceso osmótico donde el agua de la cáscara es transferida a la pulpa del fruto, por lo que su valor de humedad varía de acuerdo con el estado de maduración. En la caracterización fisicoquímica de la cáscara de banano (Mondragón, Serna, Garcia, y Jaramillo, 2017) pH 4.86 %, acidez 1.55 %, humedad 8.49 % y 8.01 en cenizas, (Moreira y Solórzano, 2020) obtuvo 4.85 % de pH, 0.14 % acidez, 20.0 % brix, 4.09 % de humedad. En la cáscara de maracuyá (Escobedo G. , 2013) obtuvo un 7.00 % de humedad y 9.00 % en ceniza en la cáscara de maracuyá mientras que Chávez (2018) obtuvo 3.3- 5 en pH, 1-3 Brix°, cenizas 0.50- 0.60 % y acidez 0.32 - 0.45 %.

Rath et al. (2014) Indica que el tiempo de fermentación disminuyó dramáticamente con el aumento de la concentración de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*). El aumento del inóculo de *Saccharomyces cerevisiae* en los cultivos de 3 % a 12 % dio un aumento dramático en la tasa de producción de etanol. Usando un inóculo de levadura de 12 %, 9 %, 6 %, 3 %, la producción máxima de etanol se logró por completo en 2, 3, 5, 7 días respectivamente.

Según Chang (2006), en la fermentación alcohólica, se debe obtener 1 % de alcohol etílico por 2 grados Brix. En el caso del jarabe que contiene cáscara de naranja a 10 grados Brix, su producción de etanol sería técnicamente del 5 %. Virreira y Góngora (2014) obtuvieron azúcares reductores en la hidrólisis ácida de la cascara de naranja fue de 79.67 %, una

concentración de ácido sulfúrico del 5 %, temperatura de reacción de 50 °C y tiempo de reacción de 60 minutos, para una relación sólido líquido 1/30. Para la fermentación realizada en el estudio de (Monsalve, Medina y Ruiz, 2006) con *Sacharomyces cerevisiae* se logra una concentración de etanol de $7.92 \pm 0.31\%$

Choonut et al. (2014) Indicaron en su estudio sobre La producción de etanol e hidrógeno a partir de cáscara de piña por *Sacharomyces cerevisiae* y *Enterobacter aerogenes* que las *S. cerevisiae* inmovilizadas en la cáscara de piña produjeron el mayor etanol (11.63 g /L) después de 72 h de cultivo.

Moreira y Solórzano (2020) en su estudio sobre la obtención de etanol de segunda generación a partir de banano deshidratado residual mediante fermentación alcohólico, donde obtuvieron a partir de 31.08 % de azúcares reductores de banano deshidratado de los cuales obtuvieron mediante la fermentación alcohólica 8.49 % de etanol.

Según los datos obtenidos por Ávila (2015) con la utilización de la *Saccharomyces cerevisiae* en condiciones anaeróbicas obtuvo un rendimiento con respecto a la materia prima de 3.45 mg de bioetanol por cada gramo de pericarpio de maracuyá. Sin embargo, en la obtención de bioetanol a partir de cáscaras de banano, (Monsalve, Medina y Ruiz, 2006) lograron una concentración de 7.92 g/L, empleando la levadura *Saccharomyces cerevisiae*.

5 RESULTADOS ESPERADOS

5.1 Académico

Servirá de gran aporte para próximas generaciones de estudiantes o personas que están interesadas en el tema.

5.2 Técnico

Con el desarrollo de la presente investigación se determinará el rendimiento en la producción de bioetanol de primera generación y segunda generación.

5.3 Económico

Con los resultados se buscará que sea beneficioso para los pequeños, medianos y grandes productores y así les den un valor agregado a sus materias primas en producción obteniendo también ingresos económicos.

5.4 Participación Ciudadana

A través del desarrollo de la presente investigación se informará a los productores de materia prima para que observen los métodos y resultados de esta investigación y pueden obtener beneficios comerciales.

5.5 Científico

Mediante la presente investigación se determinará con un nivel de confianza del 95 % de probabilidades sobre el mejor comportamiento de los materiales en estudio. Estos resultados se espera que beneficien en especial a los estudiantes de las carreras agropecuarias de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

5.6 Tecnológico

Esta tecnología estadística aplicada reúne las condiciones apropiadas para su respectiva investigación.

5.7 Social

El productor tendrá la posibilidad de darle un valor agregado a sus procesos para obtener mejores rendimientos.

5.8 Ambiental

Durante la presente investigación se analizó el impacto de estos procesos para reducir el calentamiento global y los gases de efecto invernadero.

5.9 Cultural

Esta metodología permite obtener mejores ingresos para el productor, la comunidad y a su vez beneficiaria al ser humano para así reducir el impacto del calentamiento global que atravesamos.

5.10 Contemporáneo

Es una tecnología innovadora que puede estar al alcance de pequeños, medianos y grandes productores.

Bibliografía

- Abascal, E., y Grande, E. (2017). *Investigación Comercial. Fundamentos y técnicas de investigación comercial* (13 Edición ed.). Madrid, España: ESIC .
- Acda, M., y Devera, E. (2014). Note physico-chemical properties of wood pellets from forest residues. *Journal Tropical For Science*, 26(4), 589 - 595.
- Acosta, A. (2012). *Biocombustibles* (1 Edición ed.). Buenos Aires, Argentina: Academia Nacional de Ingeniería. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=NPW3AQAACAAJ>
- Albarelli, J., Rabelo, R., Santos, D., Beppu, M., y Meireles, M. (October de 2011). Effects of supercritical carbon dioxide on waste banana peels for heavy metal removal. (Elsevier, Ed.) *The Journal of Supercritical Fluids*, 58(3), 343-351. doi:<https://doi.org/10.1016/j.supflu.2011.07.014>
- Alonso, M., Ramírez , C., y Rigal , L. (2012). Valorización de residuos agroindustriales del tequila para alimentación de rumiantes. *Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18(3), 449-457.
- Amarasekara, A. S. (2013). *Handbook of Cellulosic Ethanol*. New Jersey, United States: John Wiley; Sons.
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*. (Sexta Edición). Caracas, Venezuela: Episteme.
- Arias, R. (2019). *Caracterización físico-química de residuos agroindustriales como insumo para la alimentación*. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Babahoyo - Los Ríos: Universidad Técnica de Babahoyo. Obtenido de <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/6879>
- Arrieta, A., Baquero, U., y Barrera, J. (2006). Caracterización fisicoquímica del proceso de maduración del plátano 'Papocho' (Musa ABB Simmonds). *Agronomía Colombiana*, 24(1), 48 - 53.

- Arungu, S. (Diciembre de 2007). *Sci Dev Net*. Obtenido de https://www.scidev.net/america-latina/desarrollo-de-capacidades/opinion/biocombustibles-beneficios-y-riesgos-del-tercer-m.html?__cf_chl_jschl_tk__=f519ff524843855157fdffa4f9b5861341cf371b-1588651776-0-AaFmansCOajwavYnzCevLkXRKzSmW7aW_zkvY
- Ávila, L. (2015). *Obtención de bioetano de segunda generación a partir del pericarpio de maracuyá (Passiflora edulis f. flavicarpa)*. Cuenca - Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Barbosa, F., Silvello, M., y Goldbeck, R. (2020). Cellulase and oxidative enzymes: new approaches, challenges and perspective on cellulose degradation for bioethanol production. *Biotechnology Letters*, 6(42), 875 - 884. doi:<https://doi.org/10.1007/s10529-020-02875-4>
- Benjamin, C., Singh, P., Dipuraj, P., Singh, A., Rath, S., Kumar, Y., y Peter, J. (December de 2014). Bio-Ethanol Production from Banana peel by Simultaneous Saccharification and Fermentation Process using cocultures *Aspergillus niger* and *Saccharomyces cerevisiae*. *Internacional Journal of Current Microbiology Applied Sciences*, 3(5), 84-96.
- Bhatia, L., y Paliwal, S. (2010). Banana Peel Wasteas Substrate for Ethanol Production. *International Journal of Biotechnology and Bioengineering Research*, 1(2), 213–218. Obtenido de [//www.ripublication.com/ijbbr.htm](http://www.ripublication.com/ijbbr.htm)
- Bocco, M. (2010). *Funciones Elementales para construir modelos matemáticos*. Buenos Aires - Argentina: Instituto Nacional de Educación Tecnológica .
- Cabrera, E. M. (2014). Alkaline and alkaline peroxide pretreatments at mild temperature to enhance enzymatic hydrolysis of rice hulls and straw. *Bioresource Technology*, 167, 1 - 7.

- Carvalho, A. (2008). *Bioetanol de caña de azúcar: energía para el desarrollo sostenible*. (Primera ed.). Río de Janeiro, Brasil: BNDES.
- Castillo, A. (2013). *Determinación de parámetros de co-cultivo de Schefersomyces stipitis y Saccharomyces cerevisiae para la fermentación de residuos lignocelulósicos para la obtención de bioetanol*. Tesis para optar el título de Magíster, Universidad Iberoamericana, Ciudad de México.
- Castro, J., Paredes, C., y Muñoz, A. (2010). *Cultivo de maracuyá (Passiflora edulis Sims f. flavicarpa Deg)*. Trujillo: Gerencia Regional Agraria La Libertad.
- Chang, Y. (2006). *Industrialización de alimentos, frutas y vegetales*. . Guácimo - Costa Rica: Universidad Earth.
- Chávez, C. (2018). *Desarrollo de mermelada de pulpa y cáscara de maracuyá (Passiflora edulis flavicarpa), endulzada con stevia (Stevia rebaudiana)*. Guayaquil - Ecuador: Universidad Católica Santiago de Guayaquil.
- Choonut, A., Saejong, M., y Sangkharak, K. (2014). The Production of Ethanol and Hydrogen from Pineapple Peel by Saccharomyces Cerevisiae and Enterobacter Aerogenes. *Energy Procedia*(52), 242–249. doi:<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.07.075>
- Cortés, M., Gata, E., Pipió, A., Rodríguez, A., y Sánchez, J. (2019). Biocombustibles: tipos y estrategias de producción. *Moleqta. Revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide*, 35, 6.
- Crop Science Bayer. (Septiembre de 2017). *Crop Science Bayer*. Obtenido de <https://www.cropscience.bayer.ec/es-EC/Noticias/Noticias/2017/Septiembre/El-mercado-del-banano-crece.aspx>
- Díaz, J., y Herrera, F. (2016). *Producción de etanol combustible a partir de lignocelulosas*. Facultad de Ingeniería Electrónica y

Telecomunicaciones., Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control. Popayan - Colombia: Universidad del Cauca. Obtenido de <https://silo.tips/download/produccion-de-etanol-combustible-a-partir-de-lignocelulosas>

El-Mansi, M., Bryce, C., Hartley, B., y Demain, A. (2012). *Fermentation microbiology and biotechnology*. . London: CRC press.

Escobedo, G. (2013). *Valorización de la cáscara de maracuyá (Passiflora edulis F. flavicarpa Deg) como subproducto para obtener pectina usando como agente hidrolizante ácido cítrico*. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Industrial. Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Obtenido de <http://tesis.usat.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12423/491>

Escobedo, G. (2013). *Valorización de la cáscara de maracuyá (Passiflora edulis F. flavicarpa Deg.) como subproducto para obtener pectina usando como agente hidrolizante ácido cítrico*. Facultad de ingeniería , Escuela de Ingeniería Industrial. Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Obtenido de http://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/491/1/TL_Escobedo_Soberon_GilbertoMartin.pdf.

Espinoza, I. (2016). *Características fermentativas y nutritivas de ensilajes de forrajes tropicales con diferentes niveles de inclusión de residuos agroindustriales de cáscara de maracuyá (passiflora edulis)*. Programa de Doctorado en recursos naturales y gestión sostenible. Córdoba: Universidad de Córdoba.

Furtado, A. (2009). Biocombustibles y comercio internacional: una perspectiva latinoamericana. En N. Unidas. CEPAL.

González, M. (2019). Producción de bioenergía en el norte de México: tan lejos y tan cerca. *Frontera Norte*, 177-183.

Google Maps. (2020). (E. Mapa de Guayaquil)

- Goyal, H., Seal, D., y Saxena, R. (2008). Biofuels from thermochemical conversion of renewable resources: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 504-517.
- Gray, K. (2007). Cellulosic ethanol - state of the technology. *International Sugar Journal ref.43*, 109 (1299), pp.145-151.
- Guerrero, A., Aguado, P., Sánchez, J., y Curt, M. (2016). GIS-Based Assessment of Banana Residual Biomass Potential for Ethanol Production and Power Generation: A Case Study. . *Waste and Biomass Valoration*, 7 (2), 405-415. doi:10.1007/s12649-015-9455-3.
- Gupta , A., y Prakash , J. (2015). Sustainable bio-ethanol production from agro-residues: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41(C), 550-567. doi:10.1016/j.rser.2014.08.032
- Guzmán, L. (2013). *Estudio de factibilidad del uso de etanol anhidro en mezclas con gasolinas en el Distrito Metropolitano de Quito*. Facultad de ingeniería, Ciencias Físicas y Matemáticas., Instituto de Investigación y Posgrado. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: Mc Graw Hill Education.
- Ibrahim, H. (July de 2015). Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using banana peel extract and their antimicrobial activity against representative microorganisms. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 8(3), 265-275. doi:https://doi.org/10.1016/j.jrras.2015.01.007
- Independent Statistics and Analysis. (23 de October de 2019). *Independent Statistics and Analysis*. Obtenido de <https://www.eia.gov/energyexplained/biofuels/ethanol-and-the-environment.php>

- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2007). *Atlas de la Agroenergía y los Biocombustibles en las Américas*. (Sexta ed.). San José, Costa Rica.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2015). *Manual de Capacitación: Agregación de Valor a Productos de Origen Agropecuario*. Elementos para la formulación e implementación de políticas públicas.
- Jugwanth, Y., Sewsynker-Sukai, Y., y Gueguim Kana, E. (2020). Valorization of sugarcane bagasse for bioethanol production through simultaneous saccharification and fermentation: Optimization and kinetic studies. *Fuel*, 262. doi:<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116552>
- Kosov, V., Sinelshchikov, V., Sytchev, G., y Zaichenko, V. (2014). Effect of torrefaction on properties of solid granulated fuel of different biomass types,. *Hlgh Temperature*, 52(6), 907 - 912.
- Li, H., Chen, Q., Zhang, X., Finney, K., Vida, S., y Swithenbank, J. (2012). Evaluation of a biomass drying process using waste heat from process industries: a case study. *Applied Thermal Engineering*, 35, 71 - 80.
- Mohd Azhar, S., Abdulla, R., Jambo, S., Marbawi, H., Gansau, J., Mohd Faik, A., y Rodríguez, K. (Julio de 2017). Yeasts in sustainable bioethanol production: A review. *Biochemistry and Biophysics Reports*(10), 52 - 61. doi:<https://doi.org/10.1016/j.bbrep.2017.03.003>
- Mondragón, J., Serna, J., Garcia, L., y Jaramillo, L. (2017). Caracterización fisicoquímica de los subproductos cáscara y vástago del plátano Dominic harton. *Revista Ion*, 30(2), 21 - 24 Págs. doi:10.18273/revion.v31n1-2018003
- Monsalve, J., Medina, V., y Ruiz, A. (2006). Producción de etanol a partir de la cáscara de banano y almidón de yuca. *Dyna*, 73(150), 21 - 27.
- Monteiro, C. (2010). *Situación de los Biocombustibles de segunda y tercera generación en América Latina y Caribe*. Brasil: Organización

Latinoamericana de Energía. Obtenido de <http://expertosenred.olade.org/wpcontent/uploads/sites/7/2014/08/ER006-Situaci%C3%B3n-de-los-Biocombustibles-de-2da-y-3era-Generaci%C3%B3n-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-Caribe.pdf>

Moreira, J., y Solórzano, A. (2020). *Obtención de etanol de segunda generación a partir de banano deshidratado residual mediante fermentación alcohólica*. Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud, Ingeniería. Machala: Universidad Técnica de Machala. Obtenido de repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/15639

Naik, S., Goud, V., Rout, P., y Dalai, A. (2010). Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 14(2), 578-597.

NTE INEN 518. (1981). *Harina de vegetal. Determinación de la pérdida por calentamiento*. Quito: INEN.

NTE INEN 521. (2013). *Harinas de origen vegetal. Determinación de la acidez titulable*. Quito: INEN.

NTE INEN 526. (2013). *Harinas de origen vegetal. Determinación de la concentración de Ión Hidrógeno o pH*. Quito: INEN.

Ortiz, P. (2018). *La producción de maracuyá, su incidencia en el mercado internacional durante el período 2012 - 2016*. Facultad de Ciencias Económicas, Carrera de Economía. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.

Petre, M., Pătrulescu, F., y Teodorescu, R. (2016). Controlled Cultivation of Mushrooms on Winery and Vineyard Wastes. En M. Petre (Ed.), *Mushroom Biotechnology. Developments and Applications*. (págs. 31-47). Academic Press. doi:/doi.org/10.1016/B978-0-12-802794-3.00003-5

Quintero, K. (2013). *Niveles de Harina de Cáscara de Maracuyá (Passiflora edulis) en elaboración de yogur natural. Finca Experimental La María,*

Mocache-Ecuador 2013. Facultad de Ciencias Pecuarias, Ingeniería en Industrias Pecuarias. Mocache Ecuador: Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Obtenido de <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/320>

- Ramesh, C., y Ramachandran, S. (2019). *Bioethanol Produced From Different Food Crops. Sustainable Sources, Interventions, and Challenges* (Academic Press ed.). India: Elsevier. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813766-6.00019-9>
- Rath, S., Singh, A., Masih, H., Kumar, Y., Peter, J., y Minash, S. (2014). Bioethanol production from waste potatoes as an environmental waste management and sustainable energy by using cocultures *Aspergillus niger* and *Saccharomyces cerevisiae*. *International Journal of Advanced Research*, 2(4), :553-563 .
- Riaño, A., Morales, A., Hernández, J., y Barrero, C. (2010). Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos. *Revista Tumbaga*, 1(5), 61-91.
- Rodríguez, Y., y Orrego, C. (2020). Immobilization of enzymes and cells on lignocellulosic materials. *Environmental Chemistry Letters*, 3(18), 787-806. doi:<https://doi.org/10.1007/s10311-020-00988-w>
- Rødsrud, G., Lersch, M., y Sjöde, A. (November de 2012). History and future of world's most advanced biorefinery in operation. (P. Thornley, Ed.) *Biomass and Bioenergy.*, 46, 46-59.
- Rolz, C., y León, R. (2011). Ethanol fermentation from sugarcane at different maturities. *Industrial Crops and Products*, 2(33), 333 - 337. doi:<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.11.013>
- Sánchez , A., Gutiérrez , A., Muñoz J , J., y Rivera , C. (2010). Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósico. *Revista Tumbaga*, 1(5), 61-91.

- Sánchez, J. (2019). Los biocombustibles, valor agregado, impactos y retos. En J. Sanchez, *Cadena de valor e innovación* (pág. 304). Durango, México: Universidad Juárez del estado de Durango.
- Saval, S. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro. *BioTecnología*, 14-16.
- Tan, J., Phapugrangkul, P., Lee, C., Lai, Z., Abu Bakar, M., y Murugan, P. (September de 2019). Banana frond juice as novel fermentation substrate for bioethanol production by *Saccharomyces cerevisiae*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 21. doi:<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101293>
- Tapia, E. (Junio de 2015). *Revista Líderes*. Obtenido de <https://www.revistalideres.ec/lideres/cultivo-maracuya-produccion-ecuador.html>
- Tejeda, L., Tejeda, C., Villabona, A., y Tarón, A. (2010). Producción de bioetanol a partir de la fermentación alcohólica de jarabes glucosados derivados de cáscara de naranja y piña. *Educación en Ingeniería*, 120 - 125.
- Verma, G., Nigam, P., Singh, D., y Chaudhary, K. (2000). Bioconversion of starch to ethanol in a single-step process by coculture of amylolytic yeasts and *Saccharomyces cerevisiae* 21. *Bioresource Technology*, 72(3), 261-266. doi:[https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00117-0](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00117-0)
- Vicentin. (2013). Integración de la cadena: de los primario a los biocombustibles, pasando por los alimentos. *Bioeconomia Argentina*. Obtenido de http://www.bioeconomia.mincyt.gov.ar/presentaciones/Simposio_Bioeconomia_2013_14_Vicentin.pdf.
- Virreira, J., y Góngora, A. (2014). *Caracterización fisicoquímica de las cáscaras de naranja (Citrus sinensis L.) Y pomelo (Citrus grandis), para obtener Bioetanol - Iquitos*. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Iquitos: Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.

- Wyman, C. (2008). Cellulosic Ethanol: A Unique Sustainable Liquid Transportation Fuel. *Harnessing Materials for Energy*, 33(4), 381 - 383. doi:<https://doi.org/10.1557/mrs2008.77>
- Zamora, T., Prado, A., Capataz, J., Barrera, B., y Peña, J. (2014). Demostraciones prácticas de los retos y oportunidades de la producción de bioetanol de primera y segunda generación a partir de cultivos tropicales. *Educación Química*, 25(2), 122 - 127. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X\(14\)70534-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X(14)70534-8)
- Zhang, J., y Zhang, X. (2019). The thermochemical conversion of biomass into biofuels. En *Biomass, Biopolymer-Based Materials, and Bioenergy* (págs. 327-368). Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering.



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y

AUTORIZACIÓN

Yo, **Intriago Fuentes José Daniel** con C.C: # **0919947507** autor del trabajo de titulación: **Estudio comparativo del rendimiento en la producción de bioetanol a partir del material lignocelulósico del Banano (*Musa paradisiaca* L.) y la Maracuyá (*Passiflora edulis*)** previo a la obtención del título de **Ingeniero Agroindustrial** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **17 de septiembre de 2020**

f. _____

Nombre: **Intriago Fuentes José Daniel**

C.C: **0919947507**

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA		
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN		
TEMA Y SUBTEMA:	Estudio comparativo del rendimiento en la producción de bioetanol a partir del material lignocelulósico del Banano (<i>Musa paradisiaca</i> L.) y la Maracuyá (<i>Passiflora edulis</i>)	
AUTOR(ES)	José Daniel Intriago Fuentes	
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Jesús Ramon Meléndez Rangel PhD.	
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil	
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el desarrollo	
CARRERA:	Ingeniería Agroindustrial	
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Agroindustrial con mención en Agronegocios	
FECHA DE PUBLICACIÓN:	17 de septiembre de 2020	No. DE PÁGINAS: 65
ÁREAS TEMÁTICAS:	Innovación de productos, desarrollo de productos, procesamiento de alimentos.	
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	biodiesel, cáscara, banano, maracuyá, <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	
RESUMEN	<p>Los biocombustibles son combustibles líquidos o gaseosos producidos a partir de fracciones de productos biodegradables, residuos forestales, y de desechos industriales. El objetivo de este trabajo es comparar el rendimiento de la producción de bioetanol a partir de dos tipos de material lignocelulósico en este caso de las cáscaras de banano y maracuyá. La investigación será de tipo experimental, con nivel exploratoria y descriptiva. Los factores por estudiar son A, los dos tipos de material lignocelulósico (cáscaras de banano y maracuyá) y B, niveles de levadura <i>Saccharomyces cerevisiae</i>. Se utilizará un Diseño Completamente al Azar (DCA) AxB lo que da un resultado de 6 tratamientos y 3 repeticiones y el test Tukey (<0.05) para comparar las medias de los tratamientos entre sí. Como resultado se determinará el rendimiento en la producción de bioetanol de segunda generación y se determinará con un nivel de confianza del 95 % de probabilidades sobre el mejor comportamiento de los materiales lignocelulósicos utilizadas en el estudio.</p>	
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-967122018	E-mail: daniel_intriago95@hotmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Ing. Noelia Caicedo Coello M. Sc.	
	Teléfono: +593- 987361675	
	E-mail: noelia.caicedo@cu.ucsg.edu.ec	
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA		
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):		
Nº. DE CLASIFICACIÓN:		
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		