



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**

**CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**TEMA**

**Estudio comparativo del rendimiento de la producción de bioetanol mediante métodos de extracción de primera y segunda generación a partir de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).**

**AUTOR**

**BRYAN ANDRES NARVAEZ GUERRERO**

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

**TUTOR**

**Ing. Jesús Ramón Meléndez Rangel, PhD.**

**Guayaquil, Ecuador**

**Agosto, 2020**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente Componente Práctico de Examen Complexivo fue realizado en su totalidad por **Bryan Andrés Narváez Guerrero**, 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 13 días del mes de agosto del año 2020**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

**Yo, Bryan Andrés Narváez Guerrero**

DECLARO QUE:

El presente Componente Práctico de Examen Complexivo, **Estudio comparativo del rendimiento de la producción de bioetanol mediante métodos de extracción de primera y segunda generación a partir de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)**, 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 13 días del mes de agosto del año 2020**

**AUTOR**

---

**Bryan Andrés Narváez Guerrero**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**AUTORIZACIÓN**

**Yo, Bryan Andrés Narváez Guerrero**

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 de la producción de bioetanol mediante métodos de extracción de primera y segunda generación a partir de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 13 días del mes de agosto del año 2020**

**AUTOR**

---

**Bryan Andrés Narváez Guerrero**



**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 de la producción de bioetanol mediante métodos de extracción de primera y segunda generación a partir de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)**, presentado por la estudiante **Bryan Andrés Narváez Guerrero**, de la carrera de Ingeniería Agroindustrial con mención en Agronegocios, donde obtuvo del programa URKUND, el valor de 0 % de coincidencias, considerando ser aprobada por esta dirección.

Fuente: URKUND-Usuario Caicedo Coello, 2020

Certifican,

URKUND	
Documento	<a href="#">Bryan Narvaez Corregido.docx</a> (D78767405)
Presentado	2020-09-08 10:35 (-05:00)
Presentado por	banarvaezguerrero@gmail.com
Recibido	noelia.caicedo.ucsg@analisis.urkund.com
	0% de estas 25 páginas, se componen de texto presente en 0 fuentes.

---

**Ing. John Franco Rodríguez, PhD.**

Director Carreras Agropecuarias  
UCSG-FETD

---

**Ing. Noelia Caicedo Coello, M. Sc.**

Revisora - URKUND

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer de manera infinita en primer lugar a Dios por a pesar de las dificultades en la que se encuentra el mundo debido a la pandemia, nunca me abandonó y me permite culminar esta hermosa etapa de mi vida, con un año lleno de retos y dificultades para todos. Así como también agradecer a mi hermosa familia que son mi pilar, mi base y mi motivación fundamental en todo.

Agradezco a mi Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, ya que fue donde conocí a las personas que influyeron y me ayudaron mucho en mi crecimiento personal y profesional, a los docentes que se convirtieron en grandes amigos en especial al Dr. John Franco Director de las Carreras Agropecuarias, al apreciado Dr. Jorge Velásquez y a mi tutor Dr. Jesús Ramón Meléndez que me guio de manera puntual y muy profesional durante el desarrollo de este proyecto de investigación.

En realidad, no encuentro palabras de agradecimientos para mis compañeros y amigos que durante este camino siempre fueron influyentes e incondicionales. Nunca los olvidaré y espero seguir teniendo ese vínculo de amistad con todos ustedes.

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este esfuerzo a las personas que más amo, a mis padres Víctor Mauro Narvárez Palomino y Mary Elizabeth Guerrero Sánchez, que siempre estuvieron apoyándome con profundo amor y confianza entre alegrías y lágrimas. A mis queridos hermanos Víctor, Jossue, Geovanny y mi hermanita Elizabeth Narvárez Guerrero por siempre permanecer unidos como un gran equipo, sin ustedes nada de esto sería igual.

A mis abuelas Mariana Palomino y Lili Sánchez que estuvieron presentes durante toda esta trayectoria y que con sus oraciones me ayudaron a llegar hasta aquí. A mis tíos y primos que me brindan apoyo incondicional en todos los momentos de mi vida.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**

**CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

**Ing. Jesús Ramón Meléndez Rangel, PhD.**  
TUTOR(A)

---

**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 CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**CALIFICACIÓN**

---

**Ing. Jesús Ramón Meléndez Rangel, PhD.**

**TUTOR**

## ÍNDICE GENERAL

<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>2</b>
1.1 Objetivos .....	4
1.1.1 Objetivo general .....	4
1.1.2 Objetivos específicos.....	4
1.2 Hipótesis.....	4
<b>2 MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
2.1 Estado del Arte .....	<b>5</b>
2.2 Bioetanol.....	6
2.2.1 Proceso industrial para producir bioetanol de 1G .....	7
2.2.2 Producción mundial de biocombustibles.....	11
2.2.3 Producción de bioetanol en Ecuador .....	12
2.2.4 Bioetanol de Segunda generación.....	13
2.2.5 Proceso industrial para la producción de bioetanol de 2G .....	13
2.3 Biomasa .....	<b>16</b>
2.3.2 Material lignocelulósico .....	16
2.4 Caña de azúcar .....	<b>17</b>
2.4.1 Producción Mundial de caña de azúcar .....	18
2.4.2 Consumo mundial .....	18
2.4.3 Producción en el Ecuador .....	18
2.5 Bagazo de caña de azúcar .....	<b>21</b>
2.5.1 Composición química del bagazo de caña .....	21
2.5.2 Composición física del bagazo de caña .....	24
2.5.3 Características fisicoquímicas de la caña de azúcar .....	25
2.5.4 Propiedades fisicoquímicas del jugo de caña .....	26
2.5.5 Fermentación alcohólica.....	27
2.5.6 Levadura .....	27
2.5.7 <i>Saccharomyces Cerevisiae</i> .....	28
<b>3 MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>29</b>
3.1 Metodología de la Investigación .....	29

3.2 Ubicación del ensayo.....	30
3.3 Materiales utilizados .....	31
3.3.1 Materia prima .....	31
3.3.2 Reactivos .....	31
3.3.3 Materiales y equipos.....	31
3.4 Diseño experimental .....	32
3.4.1 Factores .....	32
3.4.2 Tratamientos en estudio .....	32
3.4.3 Análisis de varianza .....	32
3.5 Determinación del rendimiento de bioetanol .....	33
3.6 Análisis fisicoquímico de la materia prima. ....	34
3.6.1 Análisis del producto final .....	35
3.6.2 Características fisicoquímicas de la muestra .....	35
3.7 Revisión de los pasos para la obtención de bioetanol de primera generación .....	36
3.7.1 Descripción del procedimiento de la extracción de bioetanol de primera generación .....	37
3.8 Revisión de los pasos para la obtención de bioetanol de segunda generación. ....	38
3.8.1 Descripción del procedimiento de la extracción de bioetanol de primera generación .....	38
3.9 Comparación del Rendimiento obtenido y los costos de producción ..	39
3.10 Análisis estadístico .....	40
<b>4 DISCUSIÓN.....</b>	<b>41</b>
<b>5 RESULTADOS ESPERADOS.....</b>	<b>45</b>
<b>6 RECOMENDACIONES.....</b>	<b>47</b>
<b>7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Producción mundial de etanol por país o región .....	12
<b>Tabla 2.</b>	Composición de las materias primas .....	22
<b>Tabla 3.</b>	Composición química de bagazo de caña. ....	23
<b>Tabla 4.</b>	Propiedades físicas del bagazo de caña. ....	25
<b>Tabla 5.</b>	Propiedades químicas del jugo de caña .....	26
<b>Tabla 6.</b>	Número de tratamientos.....	32
<b>Tabla 7.</b>	Esquema Análisis de Varianza .....	33
<b>Tabla 8.</b>	Características físico químicas del jugo de caña. ....	35
<b>Tabla 9.</b>	Características físico químicas del bagazo de caña. ....	39
<b>Tabla 10.</b>	Variación de rendimientos y costos .....	40

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1.</b>	Producción de bioetanol a partir de caña de azúcar. ....	7
<b>Gráfico 2.</b>	Producción de bioetanol y coproductos.. ....	9
<b>Gráfico 3.</b>	Proceso de obtención de etanol a partir de la caña de azúcar..	11
<b>Gráfico 4.</b>	Diagrama producción de bioetanol de segunda generación. ...	14
<b>Gráfico 5.</b>	SHF. Separed Hydrolisys Fermentation.....	15
<b>Gráfico 6.</b>	Porcentaje y total de área cosechada.....	19
<b>Gráfico 7.</b>	Producción de caña y azúcar de las principales variedades.. ..	20
<b>Gráfico 8.</b>	Producción Caña de Azúcar. ....	20
<b>Gráfico 9.</b>	Diagrama de flujo de proceso de bioetanol 1G .....	30
<b>Gráfico 10.</b>	Diagrama de flujo de proceso de bioetanol 2G .....	38

## RESUMEN

La presente investigación bajo el formato de anteproyecto desarrolló los procesos científicos necesarios para estructurar un estudio comparativo entre los rendimientos de etanol de primera y segunda generación empleando como materia prima la caña de azúcar (*Saccharum Officinarum*). El anteproyecto se encuentra mal estructurado. Se presenta como una revisión bibliográfica. metodología propuesta es del tipo cuantitativo, con diseño experimental y ubicado en el nivel descriptivo y exploratorio, la propuesta tiene la finalidad de cumplir los objetivos y la hipótesis general planteada. Una vez descritos los procesos de producción de bioetanol de primera y segunda generación se presentan los procesos y pruebas de laboratorio necesarios para la producción y evaluación de los rendimientos. Los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio permitieron demostrar que el etanol de primera generación empleando el jugo de caña de azúcar obtuvo un mayor rendimiento alrededor del 45 % respecto al rendimiento arrojado por el bagazo de caña como biomasa para la elaboración de bioetanol de segunda generación, y se puede mencionar que respecto a los costos de producción del biocombustible de segunda generación (bagazo de caña) es 4 veces más costoso que el de primera generación (jugo de caña). Dentro de las recomendaciones se considera proponer al estado la aplicación de incentivos para la investigación y desarrollo de biocombustibles de segunda generación por los beneficios obtenidos en la protección al medio ambiente y no representan una competencia para los insumos alimenticios.

**Palabras Clave:** bioetanol, biocombustible, producción, primera generación, segunda generación.

## ABSTRACT

The present investigation, under the preliminary project format, developed the scientific processes necessary to structure a comparative study between the yields of first and second generation ethanol using sugar cane (*Saccharum Officinarum*) as raw material. The proposed methodology is of the quantitative type, with experimental design and located at the descriptive and exploratory level, the proposal has the purpose of fulfilling the objectives and the general hypothesis raised. Once the first and second generation bioethanol production processes have been described, the processes and laboratory tests necessary for the production and evaluation of the yields are presented. The results obtained in the laboratory tests allowed to demonstrate that the first generation ethanol using sugar cane juice obtained a higher yield of around 45% compared to the yield obtained by the cane bagasse as biomass for the production of second generation bioethanol , and it can be mentioned that regarding the production costs of the second generation biofuel (sugarcane bagasse) it is 4 more expensive than the first generation one (sugarcane juice). Among the recommendations it is considered to propose to the state the application of incentives for the research and development of second generation biofuels due to the benefits obtained in the protection of the environment and they do not represent a competition for food supplies.

**Key Words:** bioethanol, biofuel, production, first generation, second generation.

## 1 INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas a los que se enfrenta el mundo actualmente es el crecimiento exponencial de la población y al mismo ritmo su vez la industrialización para cubrir las necesidades de todos, lo que tiene influencia directa en el ambiente generado por el consumo de recursos no renovables como el petróleo y sus derivados. Con el fin de desvincular estos dos grandes problemas se han venido desarrollando en los últimos años métodos para obtener energía por medio de recursos renovables o lo que se conoce como energías alternativas (Gómez y Bello, 2018).

Brasil es el primer país de Sudamérica que aprovecha la caña de azúcar para obtener etanol, obteniendo en el 2014 la cantidad de 448 unidades de producción de bioetanol de primera generación que satisfacía al 80 % de los vehículos livianos con una mezcla de 25 % v/v con 75 % v/v de gasolina, lo que causó una disminución importante en la importación de barriles de petróleo (Gómez y Bello, 2018).

Por medio de la fermentación de diferentes sustratos de la industria agro-azucarera se obtiene el bioetanol de primera generación, siendo este tipo de biocombustible el más desarrollado a nivel mundial. Sin embargo para producir bioetanol se pueden emplear diferentes materiales orgánicos que contengan azúcar, hidratos de carbono fermentable, celulosa o hemicelulosa. En cambio, el etanol de segunda generación se produce a partir de los residuos agrícolas como rastrojo de cereales, hojas o ramas secas, bagazo de caña, entre otros compuestos principalmente por celulosa, hemicelulosa, y lignina (Ortega y Jiménez, 2014).

En Ecuador, el Comité Técnico del Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) está llevando a cabo una propuesta para optimizar la calidad de la gasolina. Este documento expone adicionar un porcentaje mayor



de bioetanol, derivado de la caña de azúcar; y disponer de un nuevo producto económico (NTE INEN 2482, 2009).

El origen de los biocombustibles de segunda generación parte de la biomasa lignocelulósica que propone una alternativa al monopólico consumo de los combustibles fósiles ya que no representa una competencia con los cultivos destinados a consumo humano. También, las materias primas lignocelulósicas tienen un precio más regular que las materias primas agrícolas convencionales (EFEVERDE, 2018).

Por consiguiente, el presente trabajo de investigación tiene como propósito realizar un estudio comparativo del rendimiento de bioetanol de primera y segunda generación por medio de la fermentación del jugo de caña de azúcar y el bagazo de la caña de azúcar.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo general**

Elaborar un estudio comparativo del rendimiento de etanol de primera y segunda generación a partir de la caña de azúcar (*Saccharum Officinarum*).

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar química y físicamente las materias primas involucradas en la producción de biocombustibles a partir de la caña de azúcar.
- Establecer el proceso tecnológico para la producción de bioetanol de primera y segunda generación a partir de la caña de azúcar.
- Caracterizar el bioetanol obtenido con base a las normativas existentes.
- Determinar el rendimiento del bioetanol de primera y segunda generación a partir de la caña de azúcar.

## **1.2 Hipótesis**

Existen diferencias en el rendimiento de producción de etanol bajo un método de extracción de primera generación versus los métodos de extracción de segunda generación considerando como materia prima la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

## **2 MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Estado del Arte**

Investigaciones recientes sobre el análisis para evaluar la producción de etanol a partir de bagazo de caña de azúcar como carburante han comparado dos categorías de impacto, potencial de calentamiento global (GWP) y demanda de energía acumulada (fósil no renovable). Los resultados mostraron que en el caso del cambio climático, el etanol a partir de bagazo de caña presenta ahorro cercano al 46 % con respecto a los combustibles fósiles. Los ahorros concernientes a la demanda acumulada de energía fósil son alrededor del 55 %. Según estos resultados, el etanol lignocelulósico presentó un mejor comportamiento ambiental que la gasolina (Herrera, Pérez, y Gamarra, 2016).

En otros estudios, se detallan las ventajas y desventajas del procesamiento de biocombustibles de primera y segunda generación. Las ventajas biocombustibles 1G son su facilidad de procesamiento y sus mínimas emisiones de gases de efecto invernadero, pero tiene como desventaja es la utilización de recursos que pueden ser destinados para alimentación, como materia prima para la producción de energía. Los procesos de producción de bioetanol 2G requieren un grado mucho más complejo respecto los de primera generación, y como ejemplos destacan la pretratamiento y sacarificación.

La ventaja principal en la producción de estos biocombustibles es la inexistencia de desviaciones de alimentos provenientes de la agricultura hacia el sector energético, pero su desventaja es la poca ganancia en disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero durante el procesamiento de los insumos, respecto a los biocombustibles de primera generación (Alvarez, 2015).

En el Valle del Cauca, en Colombia grupo de investigación en biocombustibles y de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad del Valle junto con el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad Autónoma de Occidente proponen el diseño de una planta de obtención de etanol a partir de las hojas y cogollos que son dejados en el suelo tras realizar la cosecha de la caña de azúcar para aprovechar las 5 millones de toneladas anuales de desechos lignocelulósicos que se generan de la caña de azúcar, constituidos principalmente por hojas y cogollos.

Para este estudio se hizo uso de los estudios experimentales previos ejecutados por los investigadores del grupo en biocombustibles y realizando el proceso a partir de 1 000 toneladas de hojas y cogollos usando los datos de pruebas realizadas en el laboratorio y mediante cálculos de balances, que fueron incluidos en un simulador comercial Aspen Plus versión 10.8.1. Se logró obtener 121 000 litros/día de etanol anhidro con un rendimiento del 78.57 % y 202 ton/día en base seca de lignina con 94.5 % y 6.4 ton/día de proteína con 40 % de recuperación como subproductos principales. El análisis económico muestra que la capacidad mínima de la planta de producción es de 285 000 litros/día, presentada a una tasa interna de retorno de 34 % y VPN de USD 36 839 602 (Riascos y López, 2016).

## **2.2 Bioetanol**

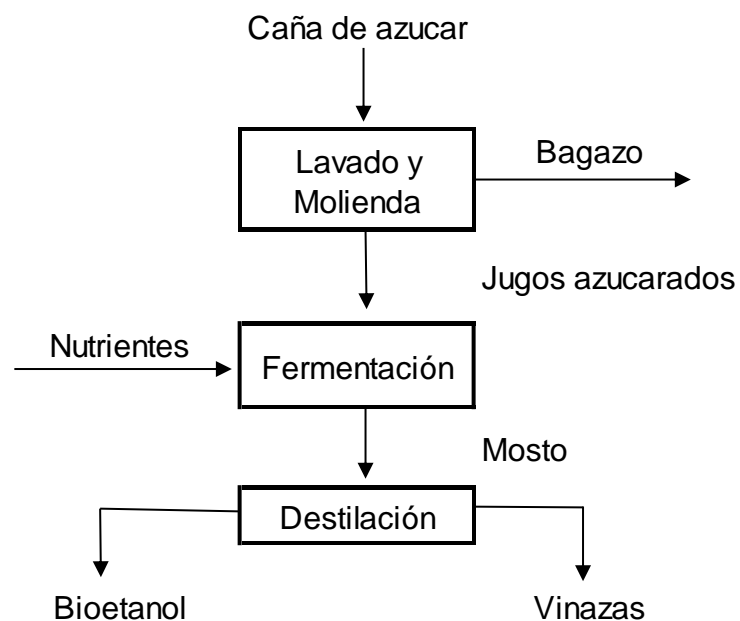
El bioetanol es un combustible que se emplea principalmente para potenciar la gasolina, cuya ventaja más clara es que es completamente renovable en la naturaleza debido a que el bióxido de carbono que se libera al quemarse retorna a las plantas y estas lo aprovechan durante la fotosíntesis, lo que además contribuye con la formación de la biomasa utilizada para producir bioetanol y reducir el impacto por el uso de combustibles fósiles que causan el efecto invernadero (Castro, 2012).

La producción y usos del etanol como combustible en diversos países inicio en la década de 1980's y en la actualidad países como Brasil y Estados Unidos poseen tecnologías beneficiosas y comprobadas comercialmente, a nivel de la producción a gran escala o industrial y también en el aprovechamiento de este biocombustible. Sin embargo, estos países producen bioetanol de primera generación, es decir, empleando materia prima que puede ser utilizada para consumo humano como alimentación, por ejemplo la caña de azúcar y granos de maíz (Castro, 2012).

### 2.2.1 Proceso industrial para producir bioetanol de 1G

Para la producción de bioetanol de primera generación es necesario someter, en este caso la caña de azúcar, a dos procesos fundamentales; la fermentación y la destilación (Vargas y García, 2015). Los autores antes mencionados grafican mediante un esquema simplificado el proceso de producción de bioetanol a partir de la caña de azúcar de la siguiente manera:

**Gráfico 1:** Producción de bioetanol a partir de caña de azúcar. Método de primera generación.



**Fuente:** Vargas y García, (2015)

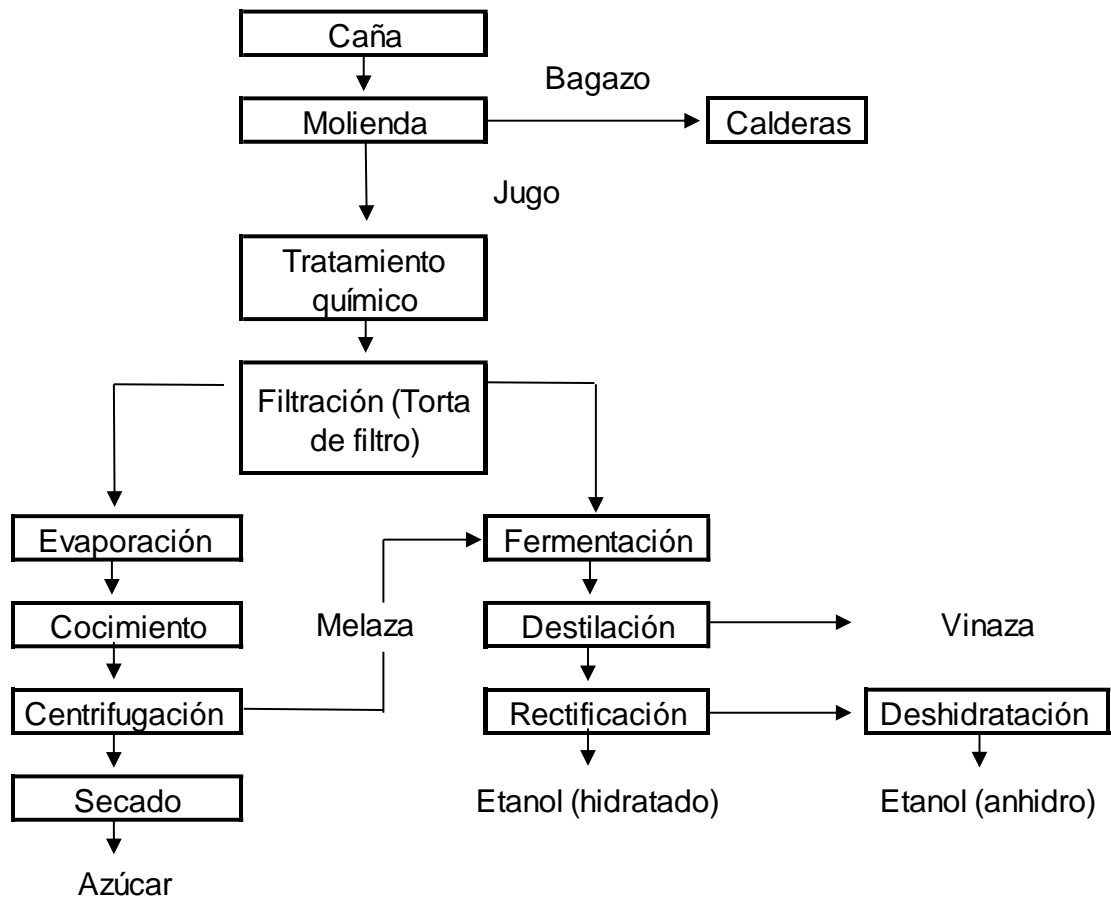
**Elaborado por:** El autor

De acuerdo con Nogues y García (2010), el bioetanol que se produce empleando la caña de azúcar como materia prima, pasa por un proceso de fermentación utilizando levadura de los azúcares (glucosa) contenidos en la materia prima o mediante un proceso de hidrólisis, a continuación se describe el proceso:

- Se inicia con el lavado de la caña, para luego ser triturada hasta llegar a los molinos donde, aplicando presión se extrae el jugo y se almacena en tanques, mientras que el bagazo se desecha, en esta etapa se le agrega agua para potenciar la extracción de sacarosa e insaturar los jugos.
- El jugo azucarado se calienta a baja temperatura para para que la densidad sea apropiada para pasar por el regulador y también prevenir el crecimiento de microorganismos. Se le añade un ingrediente químico para promover la formación de flóculos para eliminar mediante la precipitación los cúmulos solidificados (también conocido como torta de filtro) de sales de cal y material proteico que resultan tóxicos para la fermentación.
- Luego, por efecto biológico de la levadura se realiza la fermentación, donde los azúcares que están en el jugo se transforman en alcohol etílico y gas carbónico, obteniendo un vino con un 8% de etanol en peso aproximadamente, que es enviado por medio de una bomba hacia las columnas de destilación, el etanol y vapor de agua entran a la rectificadora, donde los líquidos residuales (vinazas) salen por el fondo de la columna.
- En la rectificadora el alcohol es transformado hasta el punto azeotrópico con un 96 % de etanol y 4 % de agua en volumen) y se traslada la torre en forma de vapor saturado para ingresar a la fase de deshidratación hasta obtener un grado de 99.6 % de alcohol que se considera de alta pureza.

A continuación se muestra un diagrama del proceso descrito:

**Gráfico 2.:** Etapas del proceso de producción de bioetanol a partir de la caña de azúcar y coproductos obtenidos.



**Fuente:** Nogues y Garcia (2010)

**Elaborado por:** El autor

De acuerdo con Montoya y Quintero (2005), el proceso de obtención de etanol empleando la caña como materia prima requiere el siguiente tratamiento:

- **Almacenamiento y Pretratamiento:** La caña de azúcar no puede ser almacenada debido a que pierde su contenido de azúcares por la

fermentación, es por ello por lo que debe ser procesada inmediatamente al llegar de los campos de cultivo. El pretratamiento se inicia con el lavado, el cual se realiza con agua a una temperatura de 40 °C. Posteriormente se lleva hacia los molinos en el cual se le adiciona agua nuevamente con el objetivo de maximizar la extracción de azúcares.

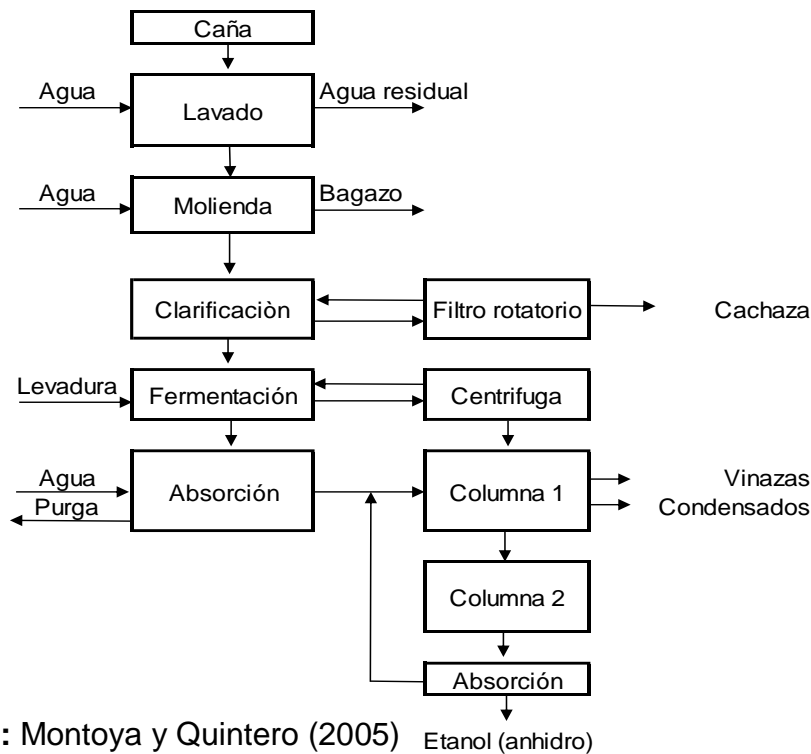
El extracto obtenido es llevado a un proceso de clarificación en el que se añade oxido de calcio y ácido sulfúrico para disminuir el pH y efectuar la hidrolisis de la sacarosa a hexosas. En esta etapa se genera un lodo conocido como cachaza, que debe ser removido mediante un filtro. El jugo es esterilizado para ser llevado a la fermentación.

- **Fermentación:** Se lleva a cabo empleando levadura, la cual es añadida desde una centrífuga, se forman los gases los cuales son retirados de la torre en el cual se debe recuperar el 98 % del etanol en masa.
- **Separación y deshidratación:** Mediante la destilación y la absorción con tamices moleculares se recupera en etanol del caldo de fermentación obteniendo etanol al 99.5 % de pureza.

A continuación el diagrama de flujo del esquema integral de la producción de bioetanol carburante:



**Gráfico 3.:** Esquema del proceso de obtención de etanol a partir de la caña.



**Fuente:** Montoya y Quintero (2005)

**Elaborado por:** El Autor

## 2.2.2 Producción mundial de biocombustibles

La demanda energética producto del aumento del consumo de la población mundial ha ido en crecimiento vertiginoso, y los países desarrollados han buscado alternativas para sustituir los combustibles fósiles por biocombustibles y de esta manera garantizar esta demanda, pero al mismo tiempo disminuir los efectos perjudiciales producidos por el efecto invernadero (Gómez J. , 2016).

Se estima que la demanda de biocombustibles se incrementará de acuerdo con proyecciones recientes para el año 2030 en un 55 % en relación con el año 2014 y según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) las previsiones entre los años 2012-2021 le

espera que se duplique particularmente en los países como Brasil, Estados Unidos y la Unión Europea (Gómez J. , 2016).

**Tabla 1.:** Producción mundial de etanol por país o región (millones de galones.)

<b>Producción mundial de etanol</b>			
<b>PAIS</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
<b>EEUU</b>	14 807	15 329	15 800
<b>Brasil</b>	7,093	7 295	7 060
<b>Europa</b>	1,387	1 377	1 415
<b>China</b>	813	845	875
<b>Canadá</b>	436	436	450
<b>Resto del mundo</b>	1 147	1 301	1 450
<b>Mundo</b>	<b>25 683</b>	<b>26 583</b>	<b>27 050</b>

**Fuente:** AFDC (2018)

**Elaborado por:** EL Autor

### **2.2.3 Producción de bioetanol en Ecuador**

Actualmente en Ecuador la producción de bioetanol se encuentra alrededor de los 100 mil L/día, y se proyecta lograr para este año 2020 una producción de 800 millones L/año, utilizando como materia prima la caña de azúcar (Albarracín, Jaramillo, y Albuja, 2015).

El aumento del efecto invernadero se debe principalmente a la emisión de gases producto del uso de combustibles fósiles y esto ha generado un interés por desarrollar tecnologías para la producción y uso de combustibles amigables con el medio ambiente, por lo que en el país se estableció el Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas, en cuyo artículo 67, que cita: “Se preferirá y fomentará la producción y uso de aditivos oxigenados, tal como el etanol carburante, a partir de materia prima renovable”. Además en el Decreto Ejecutivo No. 2332, artículo 1, se

cita: “Se declara de interés nacional la producción, comercialización y uso de los biocombustibles” (Albarracín, Jaramillo, y Albuja, 2015).

#### **2.2.4 Bioetanol de Segunda generación**

El bioetanol es un combustible en estado líquido que se utiliza para mezclarlo con la gasolina en diferentes proporciones (E5 - 5 % y E10 -10 %), este se obtiene de residuos agrícolas y forestales por lo que no emplea como materia prima alimentos, por lo que se llama también como biocombustible de segunda generación (Capdevila et al., 2015).

El primer biocombustible empleado para el transporte en todo el mundo es el bioetanol. Este se obtiene mediante la fermentación de materia orgánica con alto contenido en azúcares y almidón a lo que se le conoce como bioetanol de primera generación, pero también se obtiene empleando tecnologías sustentables que utilizan como materia prima los residuos lignocelulósicos (cáscara de arroz, bagazo de caña, ramas y hojas secas, entre otro) denominándose este como bioetanol de segunda generación, lo que acaba con la polémica de emplear alimentos para la generación de energía (Capdevila y Otros, 2015).

#### **2.2.5 Proceso industrial para la producción de bioetanol de 2G**

Muchas configuraciones han sido propuestas para el proceso de producción de etanol a partir de material lignocelulósico, las cuales incluyen las etapas de pretratamiento, hidrólisis y fermentación (Ojeda, Rondón, y Kafarov, 2009).

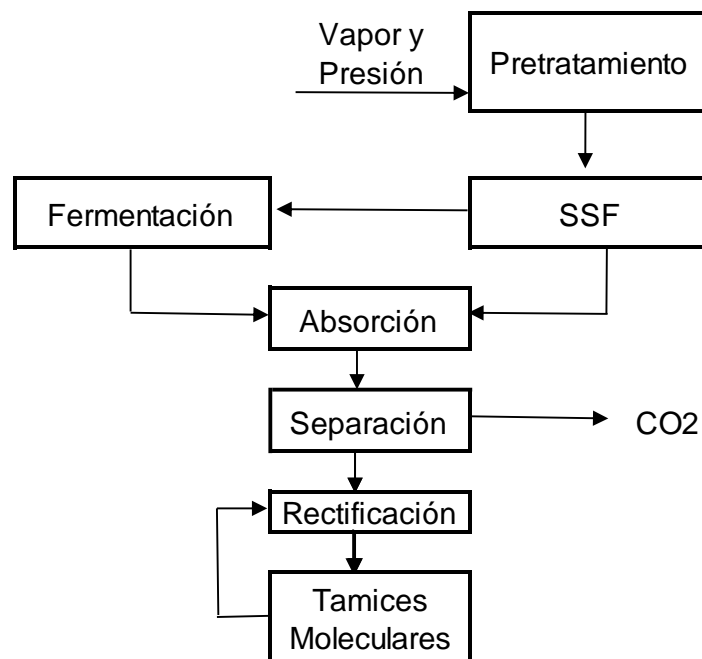
- En la fase inicial el bagazo es pretratado con explosión de vapor; en este método, el bagazo es tratado con vapor saturado a alta presión y luego la presión fue rápidamente reducida. El proceso causa una degradación de hemicelulosa del 60 % y una transformación de lignina del 80 % debido a

su alta temperatura, así se incrementa el potencial de hidrólisis de celulosa.

- La biomasa pretratada se somete a un proceso (SSF) para optimizar su rendimiento al 85 %. El CO<sub>2</sub> obtenido en la etapa de fermentación se envía a una torre de absorción. El etanol obtenido en la etapa de fermentación es concentrado a 94 %. Con el objetivo de remover el agua restante y obtener etanol anhidro, se emplean tamices moleculares en la etapa de deshidratación.

A continuación se muestra el diagrama del proceso de producción de bioetanol de segunda generación según Ojeda, Rondón y Kafarov (2009):

**Gráfico 4.:** Diagrama general del proceso de producción de bioetanol de segunda generación



**Fuente:** Ojeda, Rondón, y Kafarov (2009)

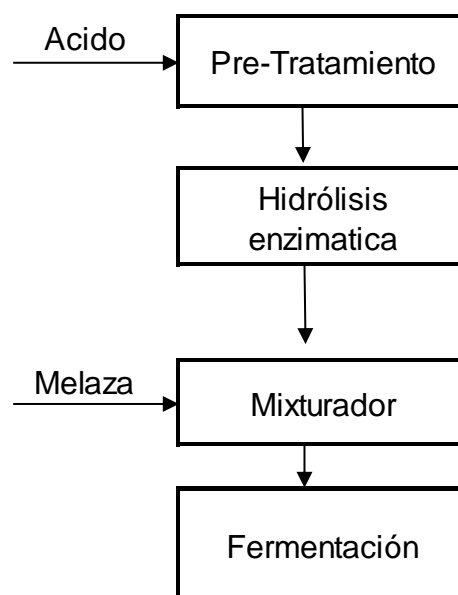
**Elaborado por:** El Autor

De acuerdo con Zamora et al., (2014), la biomasa lignocelulósica es la materia prima reconocida desde hace años, ideal para la producción de biocombustibles y productos bioquímicos. Dicho autor describe el proceso de producción de la siguiente manera:

- La primera fase de pretratamiento tiene la finalidad de modificar la estructura lignocelulósica (removiendo la lignina) para hacerla más apropiada para la hidrólisis enzimática, en la cual se transforman los polisacáridos de la biomasa en azúcares fermentables.
- Luego pasa a una fase de fermentación en la cual se produce la ruptura mecánica en el material lignocelulósico empleando un agitador.

A continuación se presenta el diagrama del proceso de producción de bioetanol de segunda generación, descrita por los Zamora et al.,(2014):

**Gráfico 5.:** SHF. *Separated Hydrolisys Fermentation.*



**Fuente:** Zamora, et ál., (2014)

**Elaborado por:** El Autor

## **2.3 Biomasa**

Los recursos renovables cada día tienen una mayor atención, por lo que el potencial de cultivos energéticos (la biomasa moderna, biomasa cosechada con el objetivo de producir energía) ha ganado importancia. El término biomasa es utilizado para describir todo material orgánico renovable tanto de origen animal o vegetal; entre ellos se encuentran plantas, árboles, cosechas, residuos agrícolas y forestales (Villalobos, 2010).

La biomasa está constituida por residuos que están compuestos por mezclas de carbohidratos denominados celulosa, hemicelulosa y lignina, la cual se trata con ácidos o enzimas que hacen posible su extracción. La celulosa y hemicelulosa pasa por un proceso llamado hidrólisis enzimática o diluidas por ácidos para obtener sacarosa, que es lo que produce la fermentación (Palacios, 2014).

### **2.3.2 Material lignocelulósico**

Este es el nombre que se le otorga a la biomasa en la industria de producción de bioetanol cuando la celulosa es la materia prima que se emplea para fermentar la glucosa. La biomasa lignocelulósica es la más abundante en el mundo, por lo que representan la fuente de azúcares con mayor potencial como materia prima compuestas para la producción de bioetanol de segunda generación (Sordo y Luz, 2013).

La pared celular de la biomasa está formada por lignocelulosa en composición y porcentajes variables. La matriz tridimensional de lignina y hemicelulosa está contenida por las fibras de celulosa lo que crea una barrera de células vegetales, por medio de los cuales pueden observarse

macrofibrillas compuestas por cadenas de hemicelulosa y lignina (Sordo y Luz, 2013).

## **2.4 Caña de azúcar**

La caña de azúcar corresponde a la familia de las gramíneas y el género *Saccharum*, dentro de las cuales existen seis especies: *S. spontaneun*, *S. robustum*, *S. barberi*, *S. sinensi*, *S. edule* y *S. officinarum*; las imitaciones comerciales de caña de azúcar son procedentes de las mixturas entre las seis especies anteriores, prevaleciendo las peculiaridades de *S. officinarum* como productora de azúcar (MAG, 2015).

La caña de azúcar (*Saccharum* Spp.) debido a su versatilidad y capacidad de adaptación a distintas circunstancias del ambiente tiene gran relevancia en la economía de muchos países del mundo. Los países productores de caña de azúcar están ubicados entre los 36.7° LN y 31.0° LS, extendiéndose desde zonas tropicales a subtropicales y templadas, concentrando la mayor producción en América y Asia (Lagos y Castro, 2019).

Según Aguirre (2010), la caña de azúcar es un vegetal de clima tropical y es empleado en la industria de alimentos como materia prima para una gran diversidad de productos como el azúcar común, pero también es utilizada para la elaboración de alcohol, abono, combustible, balanceado para cerdos, entre otros.

Esta planta tiene una vida útil entre 8 y 12 años y sus flores son en panícula, con inflorescencia y son hermafroditas, presenta una raíz fasciculada con una profundidad de 80 cm aproximadamente, sus tallos se caracterizan por ser rectos y presentar nudos y entrenudos, la altura de la planta depende de la longitud de los entrenudos, funcionando como protección a las yemas (Godoy y Garzon, 2015).

### **2.4.1 Producción Mundial de caña de azúcar**

Para la obtención de 1 900 millones de toneladas de caña de azúcar se requiere en un área de 27 millones de hectáreas. Esta magnitud se encuentra en la mayor parte en el continente americano representando el 50.7 %, Asia con el 40.9 %, el continente Africano con 5.9 % y Oceanía con el 2.5 %. Ordenados de mayor a menor, los diez principales países productores de caña de azúcar son: Brasil, India, China, Tailandia, Pakistán, México, Colombia, Australia, Indonesia y Estados Unidos (Lagos y Castro, 2019).

### **2.4.2 Consumo mundial**

La mayoría de la caña de azúcar producida en el mundo es consumida por el mismo país productor transformándola en azúcar y alcohol principalmente. Esto se manifiesta porque los mismos países que lideran las listas de producción mundial, son también los mayores consumidores de caña de azúcar en el mundo. De acuerdo con los datos de FAO, para el período 2006/2008, el mayor consumidor de caña de azúcar a nivel mundial es Brasil, cuyo nivel de consumo es de 557 472 722 toneladas en promedio anual del período (Fretes y Martínez, 2011).

### **2.4.3 Producción en el Ecuador**

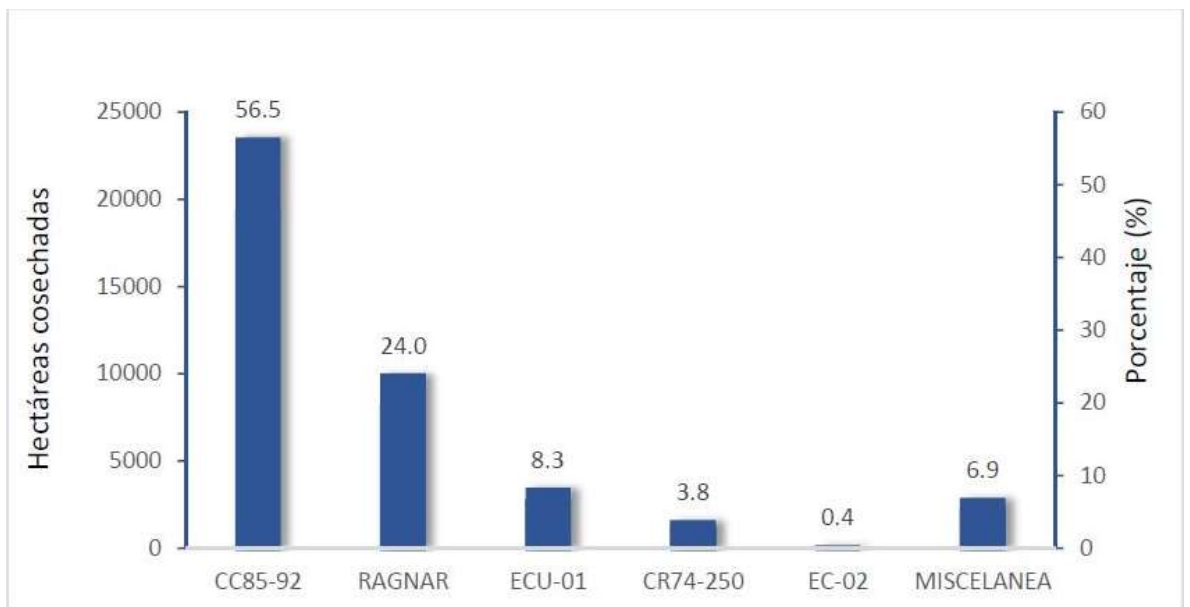
Según datos recolectados en el 2018, entre la primera semana junio (Ingenio Valdez) y primera semana de julio (Ingenios San Carlos y La Troncal) se cosecharon 76 158.1 ha, alcanzando una producción de 5 527 598.7 toneladas de caña molida, lo que alcanzó una producción de 490 016 TM de azúcar.

De acuerdo con FENAZÚCAR, los ingenios pequeños de Ecuador produjeron: Miguel Ángel 11 442; IANCEM, 32 752; Monterrey, 26 578 y San Juan, 11 800 TM de azúcar. El total de producción de azúcar en la zafra 2018 llegó a 572 411 TM de azúcar. La cosecha mecanizada en los tres ingenios



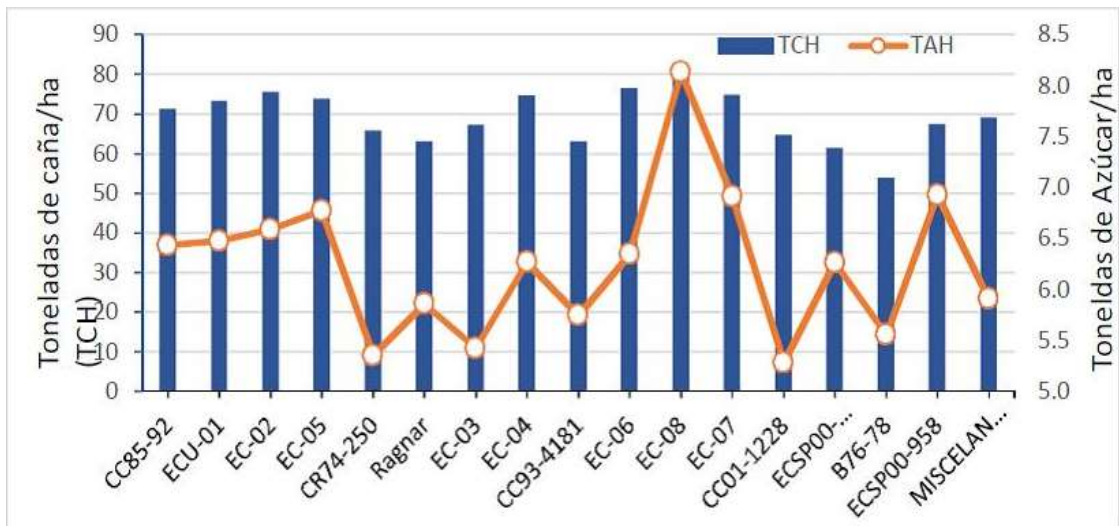
sigue en aumento, cubriendo el 88.1% en COAZÚCAR, 98.0% en San Carlos y 100% en Valdez. A nivel de los cañicultores los porcentajes llegaron a: 56.9, 58.9, 76.2%, en su orden (CINCAE, 2018).

**Gráfico 6.:** Porcentaje y total de área cosechada(ha) de las principales variedades de caña de azúcar en cañicultores de los ingenios: San Carlos, Valdez Y COAZUCAR.



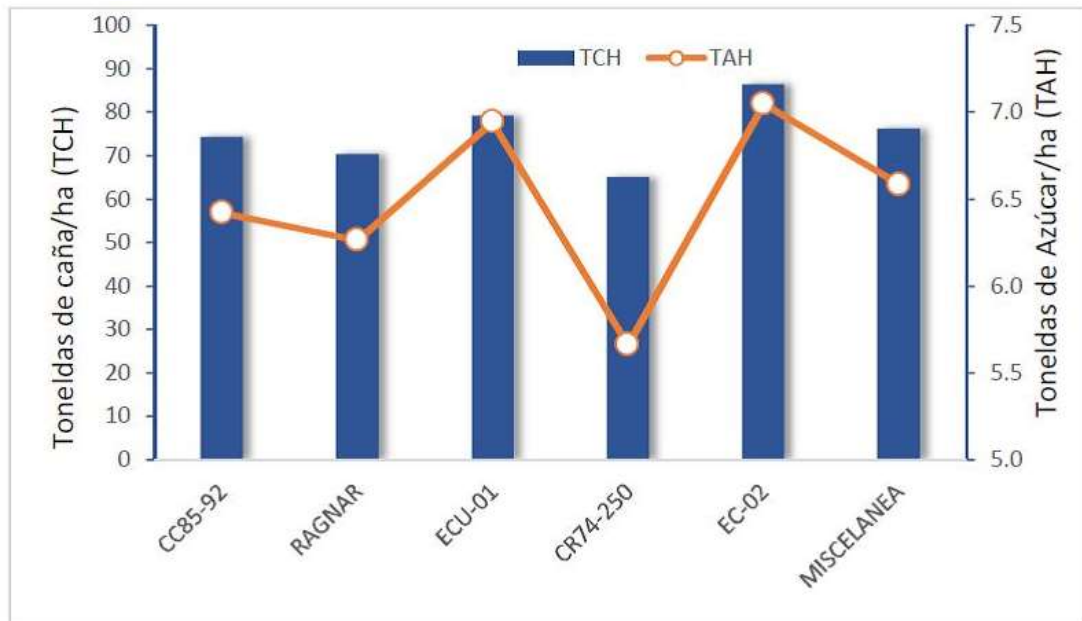
**Fuente:** CINCAE (2018)

**Gráfico 7.:** Producción de caña y azúcar de las principales variedades de caña de azúcar cosechadas en los ingenios: San Carlos, Valdez y COAZUCAR



Fuente: CINCAE (2018).

**Gráfico 8.:** Producción de caña y azúcar de las principales variedades de caña de azúcar cosechadas en cañicultores de los ingenios: San Carlos, Valdez y COAZUCAR.



Fuente: CINCAE (2018)

## **2.5 Bagazo de caña de azúcar**

El bagazo de caña es un desecho industrial producto de la caña procesada, normalmente una tonelada de caña produce 250 kg de bagazo y considerando que anualmente se procesan en todo el mundo alrededor de 540 millones de toneladas, casi el 50 % es quemado para obtener energía y el restante es almacenado. Es por lo que existe un creciente interés por desarrollar tecnologías y métodos para producir combustible a partir de este, que brinden ingresos económicos y beneficios ambientales (Rivas, 2017).

### **2.5.1 Composición química del bagazo de caña**

Las propiedades químicas de los subproductos en mención dependen de las condiciones climáticas y del terreno donde se hayan generado (Riaño et al., 2010).

Entre las características químicas de las partículas del bagazo de la caña de azúcar, se encuentran la densidad aparente, la densidad real, la superficie específica y el factor de forma o esfericidad de las partículas del lecho (Roca, 2020).

#### **- Esfericidad o factor de forma**

La esfericidad ( $\phi_s$ ) de una partícula irregular se define como la relación entre la superficie de la esfera (SE) que tiene igual volumen que la partícula, y la superficie de la partícula (SP).

#### **-Superficie específica**

Este término se define como la relación entre su superficie y su volumen ( $V_{0p}$ ). También se define la superficie específica para un lecho de partículas (SL), como la relación entre la superficie de todas las partículas ( $Stp$ ), y el volumen total del lecho ( $V_{0L}$ ).

## -Porosidad

Cuando las partículas están agrupadas formando un lecho de un volumen total dado ( $VOL$ ), es necesario conocer el volumen de ese lecho que es ocupado realmente por todas las partículas ( $VOp$ ). Esto se puede determinar por medio de la propiedad conocida como porosidad ( $\epsilon$ ), la cual se define como la relación entre el volumen de los espacios libres o vacíos ( $V0v$ ) y el volumen total del lecho.

## -Densidad

En el caso de los materiales porosos como el bagazo, la determinación experimental de la densidad por el método tradicional de inmersión en agua es un poco más complicada que en los materiales homogéneos por la penetración del líquido en el interior de la partícula; En este caso el problema consiste, esencialmente, en hallar el volumen que define el contorno de las partículas sólidas, ya que la determinación del peso del material no ofrece dificultad alguna.

**Tabla 2.:** Composición promedio en polímeros de interés de cada una de las materias primas

Material	% (w/w) BS	%(w/w) BS	%(w/w) BS
lignocelulósico	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina
Cascara de Arroz	39.05 25.89 – 35.5	18.1 - 21.35	22.08 18.20 - 24.6
Bagazo de Caña	<b>48.81</b>	<b>24.42</b>	<b>25.82</b>
Desechos cítricos	20.63 16.2 +/- 0.5	10.86 13.8 +/- 0.3	2.62 1.0+/- 0.3
Subproductos de plátano	13.2	14.8	14.00

**Fuente:** Riaño (2010)

**Elaborado por:** El Autor

El bagazo de caña tiene una composición porcentual de lignina (20-30 %), celulosa (40-45 %) y hemicelulosa (30-35 %). Frecuentemente la producción de etanol carburante empleando bagazo de caña comprende 5 fases principales: pretratamiento de la biomasa, hidrólisis de celulosa, fermentación de hexosas, separación y tratamiento de efluentes (Montiel, 2017).

**Tabla 3.:** Composición química de bagazo de caña.

<b>Componente</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Composición (% w/w)</b>
<b>Celulosa</b>	<b>C<sub>6</sub> H<sub>10</sub> O<sub>5</sub></b>	<b>43.38</b>
<b>Hemicelulosa</b>	<b>C<sub>5</sub> H<sub>8</sub> O<sub>4</sub></b>	<b>25.63</b>
<b>Lignina</b>	<b>C<sub>7</sub> 3H<sub>13</sub> 9O<sub>1</sub> 3</b>	<b>23.24</b>
<b>Cenizas</b>		<b>2.94</b>

**Fuente:** Rivas y Luis (2017)

**Elaborado por:** El Autor

El contenido en cenizas del bagazo natural puede considerarse moderado, situándose entre un 2 y un 5 % (base seca). Sin embargo, como consecuencia directa de la mecanización de la cosecha, y sobre todo en época de lluvia, este parámetro puede elevarse considerablemente, llegando a valores extremos del 12-15 % (ECURED, 2020).

Cuando el bagazo sale del molino posee aproximadamente la siguiente composición:

- Humedad (50 %)
- Sólidos solubles (5 %)
- Sólidos insolubles o fibra cruda (45 %)

Además su composición química es la siguiente:

- Carbono: 47 %
- Hidrógeno: 6,5 %
- Oxígeno: 44 %
- Cenizas: 2,5 %

**ESTRUCTURA:** El bagazo consta de dos partes fundamentales:

- La fibra: Fibras relativamente largas, derivadas principalmente de la corteza y otros haces de fibra del interior del tallo.
- El meollo: Se deriva del *parénquima*, parte de la planta donde se almacena el jugo que contiene el azúcar.

La longitud media de las fibras del bagazo es de 1 a 4 milímetros y su ancho varía entre 0.01 y 0.04 milímetros (ECURED, 2020).

### **2.5.2 Composición física del bagazo de caña**

Desde el punto de vista físico se distinguen dos características muy importantes en el bagazo: el alto contenido de humedad y la gran variedad de tamaños de partículas de diferente naturaleza física (Gutiérrez y Segil, 2016).

Por lo tanto se requiere de una adecuada preparación y manipulación de este si se quiere hacer un uso adecuado y eficiente en las múltiples aplicaciones que tiene, tanto para su uso industrial como materia prima, así como también para su empleo como recurso energético en general.

Según estudios realizados por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación por sus siglas en Ingles (FAO, 2013), se

consideró dentro de las características físico químicas para el jugo de caña de azúcar, un nivel mínimo de 75.0 % de azúcares totales, (Sacarosa) de igual manera un máximo de 10.0 % de azúcares reductores debido a que favorecer la granulometría y reduce los cambios reológicos, por lo que es preciso contar con un nivel máximo de azúcares reductores (formados por la inversión de la sacarosa).

**Tabla 4.:** Propiedades físicas del bagazo de caña como biomasa.

<b>Humedad (%)</b>	<b>4.0</b>
<b>Tamaño de partícula (mm)</b>	<b>0.5 – 1.0</b>
<b>Densidad (g/cc)</b>	<b>0.12</b>
<b>Volátil (%)</b>	<b>68 – 70</b>
<b>Cenizas (%)</b>	<b>1.26</b>
<b>Carbón fijo (%)</b>	<b>28.7 – 30.7</b>
<b>C (%)</b>	<b>48.58</b>
<b>H (%)</b>	<b>5.97</b>
<b>O (%)</b>	<b>38.94</b>
<b>N (%)</b>	<b>0.2</b>

**Fuente:** (Manals et al., 2015)

**Elaborado por:** El Autor

### **2.5.3 Características fisicoquímicas de la caña de azúcar**

Está constituida, en general, por agua aproximadamente en un 70% y materia seca en un 30%. La materia seca comprende a su vez la fibra (parte insoluble) y los sólidos totales solubles en el agua, denominados brix. La fibra está formada fundamentalmente por celulosa, la cual está constituida por azúcares sencillos como glucosa (dextrosa) (Gutiérrez y Segil, 2016).

Los sólidos solubles en agua (brix expresado en porcentaje de la caña) y el agua constituyen lo que se denomina jugo absoluto de la caña. Los sólidos solubles a su vez comprenden sacarosa y las no-sacarosas. La razón

porcentual entre la sacarosa y el brix de la caña o jugo se conoce como pureza de la caña o del jugo, respectivamente.

El contenido aparente de sacarosa, expresado como un porcentaje en peso y determinado mediante métodos polarimétricos se denomina “pol”. Los sólidos solubles diferentes de la sacarosa incluyen los azúcares reductores como: la glucosa, la fructosa y otros compuestos orgánicos e inorgánicos solubles en el agua (Gutiérrez y Segil, 2016).

#### 2.5.4 Propiedades fisicoquímicas del jugo de caña

El porcentaje de sacarosa del jugo es el contenido real de azúcar de caña presente en el jugo. Se determina con equipos especiales para tal fin. De igual manera el coeficiente de pureza se refiere al porcentaje de sacarosa respecto del contenido total de sólidos solubles del jugo. Una mayor pureza indica que existe un contenido mayor de sacarosa que de

<b>Humedad</b>	<b>73-76%</b>
<b>Sacarosa</b>	8-15%
<b>Glucosa</b>	0.2-0.6%
<b>Fructosa</b>	0.2-0.6%
<b>Sales</b>	0.3-0.8%
<b>Ácidos orgánicos</b>	0.1-0.8%

sólidos solubles en el jugo (Gutiérrez y Segil, 2016).

El porcentaje de pureza junto con el porcentaje de sacarosa ayuda a determinar la época de madurez correcta. Un cultivo de caña de azúcar está apto para la cosecha cuando ha alcanzado un mínimo de 16% de sacarosa y 85% de pureza.

#### Tabla 7.: Propiedades Químicas del jugo de caña

Contenido – Pulpa fresca g/(100g)

**Fuente:** Gutiérrez y Segil (2016)

**Elaborado por:** El Autor



### **2.5.5 Fermentación alcohólica**

La fermentación alcohólica es una biorreacción que permite degradar azúcares en alcohol y dióxido de carbono (Vázquez y Da Costa, 2007). También llamada fermentación etílica, es un proceso anaeróbico (separación de oxígeno) formado por las levaduras y algunas clases de bacterias de la misma fruta, en este caso, la caña de azúcar, ésta produce alteraciones químicas en las sustancias orgánicas.

El objetivo de la fermentación alcohólica biológica es proporcionar energía a los microorganismos unicelulares (levaduras) en ausencia de oxígeno para ello descomponer las moléculas de glucosa y obtener la energía necesaria para sobrevivir, produciendo el alcohol y CO<sub>2</sub> como desechos resultado de la fermentación (Vázquez, 2007).

Los microorganismos unicelulares (levaduras) de las frutas, tiene el nombre científico de *Saccharomyces*. De manera simplificada el proceso de la fermentación alcohólica es: Azúcares + levaduras propias del fruto => Alcohol Etílico, Alcohol Metílico, Isopropílico, Isobutílico, Isopentílico entre otros alcoholes.

En vista de lo anterior, el empleo de cantidades equivalentes de jugo de caña, especialmente jugos secundarios, directamente para la fermentación y producción de etanol, parece ser la más económica y revalorizadora de las alternativas para las fábricas de azúcar (Otero et al., 2005).

### **2.5.6 Levadura**

La levadura juega un papel importante en la transformación de la materia prima en etanol, ya que es la responsable de acelerar el proceso de fermentación. La *Saccharomyces cerevisiae*, es la especie de levadura mayormente usada (Vázquez y Dacosta, 2007).

Algunas tecnologías de fermentación se desarrollaron para mejorar la producción de etanol y la concentración en el medio de cultivo (Ruiz, et al., 2016).

### **2.5.7 *Saccharomyces Cerevisiae***

De acuerdo con Suárez, Garrido, y Guevara (2016), es la especie de levadura que compone un conjunto de microorganismos más profundamente vinculado al desarrollo y bienestar de la humanidad; su nombre deriva del vocablo *Saccharo* (azúcar), *myces* (hongo) y *cerevisiae* (cerveza), es una levadura heterótrofa, que obtiene la energía a partir de la glucosa y tiene una alta potencia de fermentación.

### **3 MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Metodología de la Investigación**

El desarrollo de la metodología del proyecto a realizar tendrá un enfoque de investigación cuantitativo, con un diseño experimental de nivel descriptivo y exploratorio, debido a que se presentaran varios procesos y pruebas que se realizaran bajo los términos del investigador, con la finalidad de cumplir el objetivo principal del proyecto.

Según Sampieri, Fernández y Baptista (2014), las investigaciones cuantitativas son aquellas en las que se representa un conjunto de procesos, de manera secuencial y probatoria. Cada fase antecede a otra consecutiva y se debe mantener el orden riguroso, se traza un plan para probarlas y se evalúan las variables en una determinada situación y se presentan las conclusiones.

En este caso se pretende observar los procesos de producción de bioetanol de primera y segunda generación y realizar un análisis comparativo describiendo las características fisicoquímicas de cada proceso y mediante una prueba de laboratorio determinar el rendimiento y los costos de cada uno.

De igual manera, el diseño experimental está dado debido a que la manipulación de la variable se da en un ambiente controlado de laboratorio, en el cual se analizaran las muestras aplicando un tratamiento para comprobar la hipótesis planteada (Ñaupas et al., 2014).

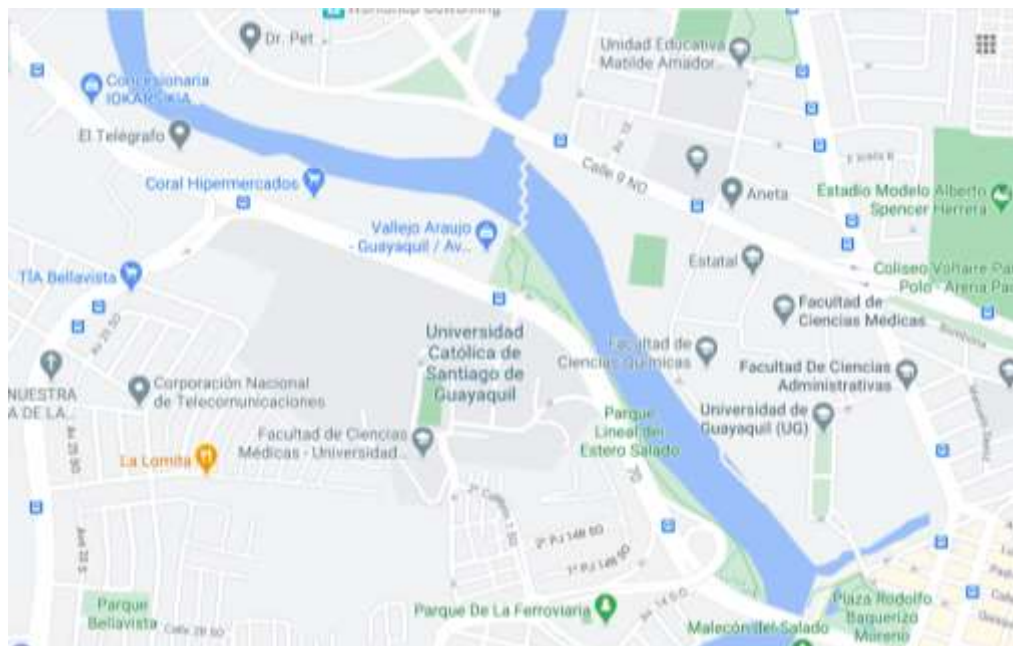
En este proyecto las muestras de caña de azúcar y bagazo de caña de azúcar se someterán a una serie de pruebas para determinar la eficiencia de ambos procesos en la elaboración de etanol de primera y segunda generación.

También es importante señalar que cuando referimos al nivel de investigación descriptivo-exploratorio cuando pretende indagar sobre un tema desconocido o poco estudiado, buscando una aproximación de dicho objeto, y contribuir a la evaluación de nuevos conceptos asociados a las variables estudiadas (Morales, et al., 2016). Es por lo que este proyecto busca examinar las características del problema escogido, definir y enuncian los supuestos en que se basan las hipótesis y los procesos adoptados a fin de describir, analizar e interpretar los datos obtenidos, de manera clara y precisa.

### 3.2 Ubicación del ensayo.

El presente Trabajo de Titulación, se llevará a cabo en el laboratorio de Química de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil ubicada en la Av. Carlos Julio Arosemena Km 1, Provincia del Guayas.

**Gráfico 9.:** Ubicación del ensayo



**Elaborado por:** El Autor

### **3.3 Materiales utilizados**

#### **3.3.1 Materia prima**

- Caña de azúcar (*saccharum officinarum*)
- Bagazo de caña de azúcar
- Levadura (*Saccharomyces Cerevisiae*)

#### **3.3.2 Reactivos**

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

#### **3.3.3 Materiales y equipos**

- Recipientes de vidrio
- Botellón de agua
- Manguera
- Papel aluminio
- Algodón
- Cinta adhesiva
- Bloqueador de entrada de oxígeno
- Matraz Erlen Meyer
- Pipeta
- Mechero de Bunsen
- Destilador

### 3.4 Diseño experimental

Para el diseño experimental de este trabajo de investigación se realizará el análisis empleando ANOVA Multifactorial, porque permite medir diferentes números de repeticiones por tratamiento (2), además de que las unidades experimentales son totalmente homogéneas. Las unidades experimentales están conformadas por 100 ml jugo de caña y 100 g de bagazo de caña, con una concentración de estabilizante variable propuesta (0.15 - 0.50).

#### 3.4.1 Factores

Cantidad de repeticiones: 2

Factor A: Proceso de bioetanol de primera generación 1G

Factor B: Proceso de bioetanol de segunda generación 2G

Concentración de levadura: 0.15 %

Concentración de levadura: 0.50 %

#### 3.4.2 Tratamientos en estudio

**Tabla 6.:Número de tratamientos y concentración de levaduras**

Tratamiento	Cantidad
T1	0.15 %
T2	0.50 %

**Elaborado por:** El Autor

#### 3.4.3 Análisis de varianza

El análisis estadístico de los datos se realizará empleando la prueba ANOVA, para determinar si existe diferencias significativas en el producto resultante de los procesos de producción de bioetanol de primera y segunda generación considerando la concentración de levadura.

#### **Modelo Matemático.**

$$t_i = \alpha_k + \gamma_l + \Sigma k_l$$

**Donde:**

$t_i$  = tratamientos

$\alpha_k$  = factor A

$\gamma_l$  = factor B

$\Sigma k_l$  = interacción AB

**Tabla 7.** Esquema del análisis de varianza.

Fuente de Variación		Grados de Libertad
Tratamientos	(a*b -1)	
Factor A	(a-1)	
Factor B	(b-1)	
Interacción A*B	(a-1) (b-1)	
Error Experimental	(a*b) (r-1)	
Total	A*b*r-1	

Elaborado por: El Autor.

### 3.5 Determinación del rendimiento de bioetanol

El rendimiento se determinará mediante la relación entre el bioetanol producido y el azúcar puesto a disposición de la levadura. Teóricamente por 100 kg de glucosa se obtienen 51,1 kg de etanol (Ribeiro y Seravalle, 2004).

#### Cálculo

$$\rho = m/v$$

$$m = \rho * v$$

$\rho$  = Densidad del bioetanol puro (g/L)

m = Masa del soluto (g)

v = Volumen de bioetanol obtenido (L)

$$Y_{p/s} = p - p_0 / -(s - s_0)$$

$Y_{p/s}$  = Rendimiento producto- sustrato

$p$  = Concentración de bioetanol final (g/L)

$p_0$  = Concentración de bioetanol inicial (g/L)

$s$  = Concentración de glucosa final (g/L)

$s_0$  = Concentración de glucosa inicial (g/L)

### **3.6 Análisis fisicoquímico de la materia prima.**

- Los sólidos solubles totales se determinarán empleando el método del refractómetro digital de marca EXTCH, modelo RF80 y rango 0-45° Brix.
- La determinación de acidez total se llevará a cabo por medio de una titulación ácido- base, con la ayuda de una bureta, fenolftaleína como sustancia indicadora y como marcante hidróxido de sodio (0, 1 N), marcando el ácido predominante.
- EL pH se determinará empleando el método del potenciómetro empleando un pH- metro marca QUIMIS, modelo Q 400MT, que mide el potencial de hidrógeno.
- La determinación del Índice de madurez se realizará mediante la determinación del contenido de azúcares, la cual se expresa en °Brix, que al corresponder con la acidez del fruto permite identificar el índice de madurez, debido a que, al madurar una fruta, la acidez disminuye y los 0 Brix aumentan.

La caracterización fisicoquímica de las materias primas se realizará en un laboratorio, siguiendo las normas AOAC, manuales de instrumentos de laboratorio y otros procedimientos definidos en bibliografía científica.



### 3.6.1 Análisis del producto final

- La determinación de los sólidos solubles totales se realizará mediante el método del refractómetro digital de marca EXTCH, modelo RF80 y rango 0-45° Brix.

- La determinación de pH se realizará empleando el método del potenciómetro empleando un pH- metro marca QUIMIS, modelo Q 400MT, que mide el potencial de hidrogeno.

### 3.6.2 Características fisicoquímicas de la muestra

A continuación se muestran los análisis que se realizó a la caña de azúcar, cuyos resultados son promedios de dos repeticiones por análisis.

**Tabla 8.:** Características fisicoquímicas de la caña de azúcar de muestra.

Descripción	Promedio
° Brix	14
pH	5.5
Acidez	0.8
Índice de madurez	16.3

**Elaborado por:** El Autor

A continuación se muestran los análisis que se realizó al bagazo de caña de azúcar, cuyos resultados son promedios de dos repeticiones por análisis.

**Tabla 8.:** Características fisicoquímicas del bagazo de caña de azúcar de muestra.

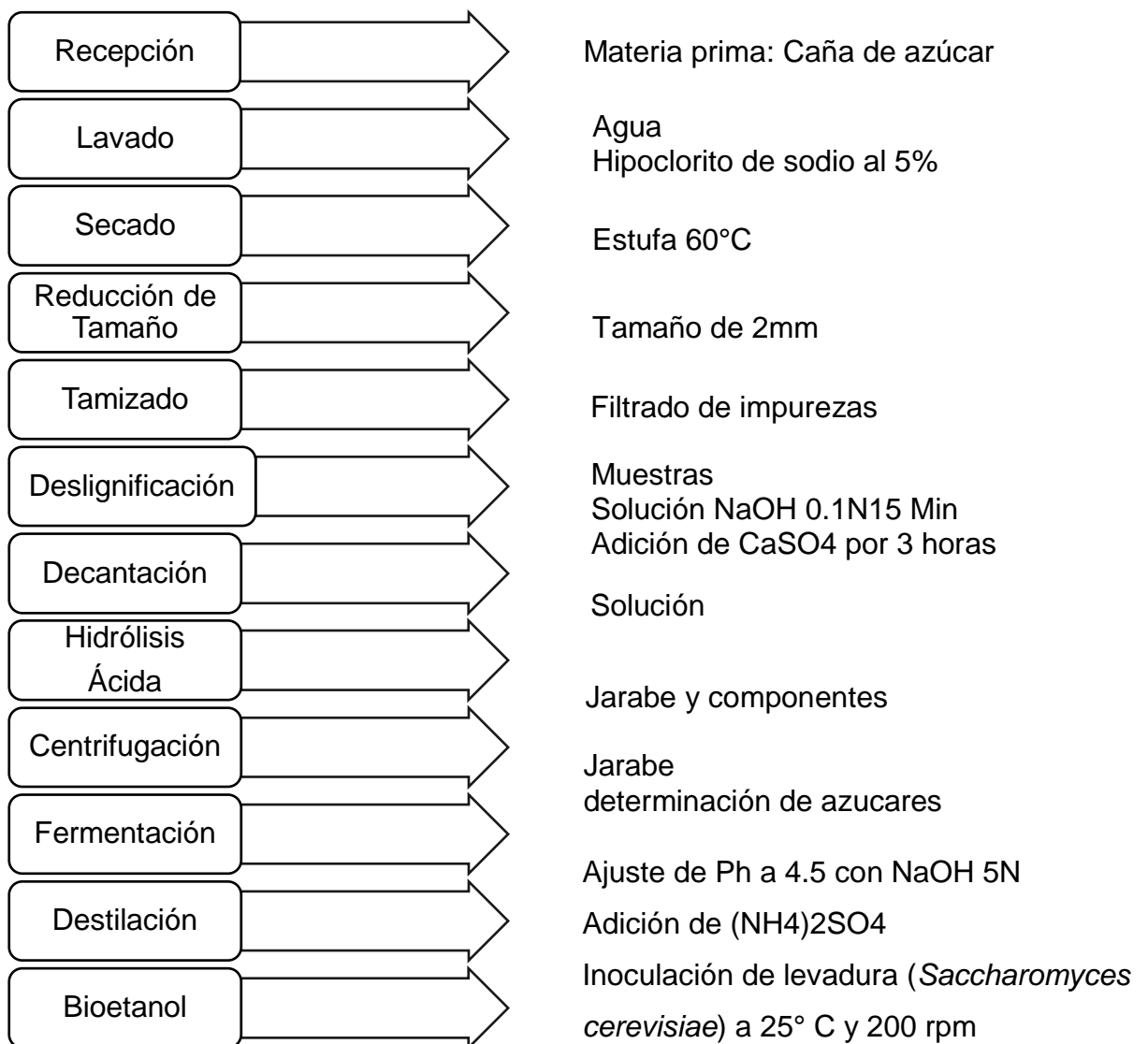
Descripción	Promedio
Lignina	26.4 %
Celulosa	43.3 %
Acidez	32.1 %

**Elaborado por:** El Autor

### 3.7 Revisión de los pasos para la obtención de bioetanol de primera generación

A continuación el diagrama de flujo elaborada por el autor:

**Gráfico 10: Diagrama de flujo de proceso de bioetanol de primera generación**



**Elaborado por:** El Autor

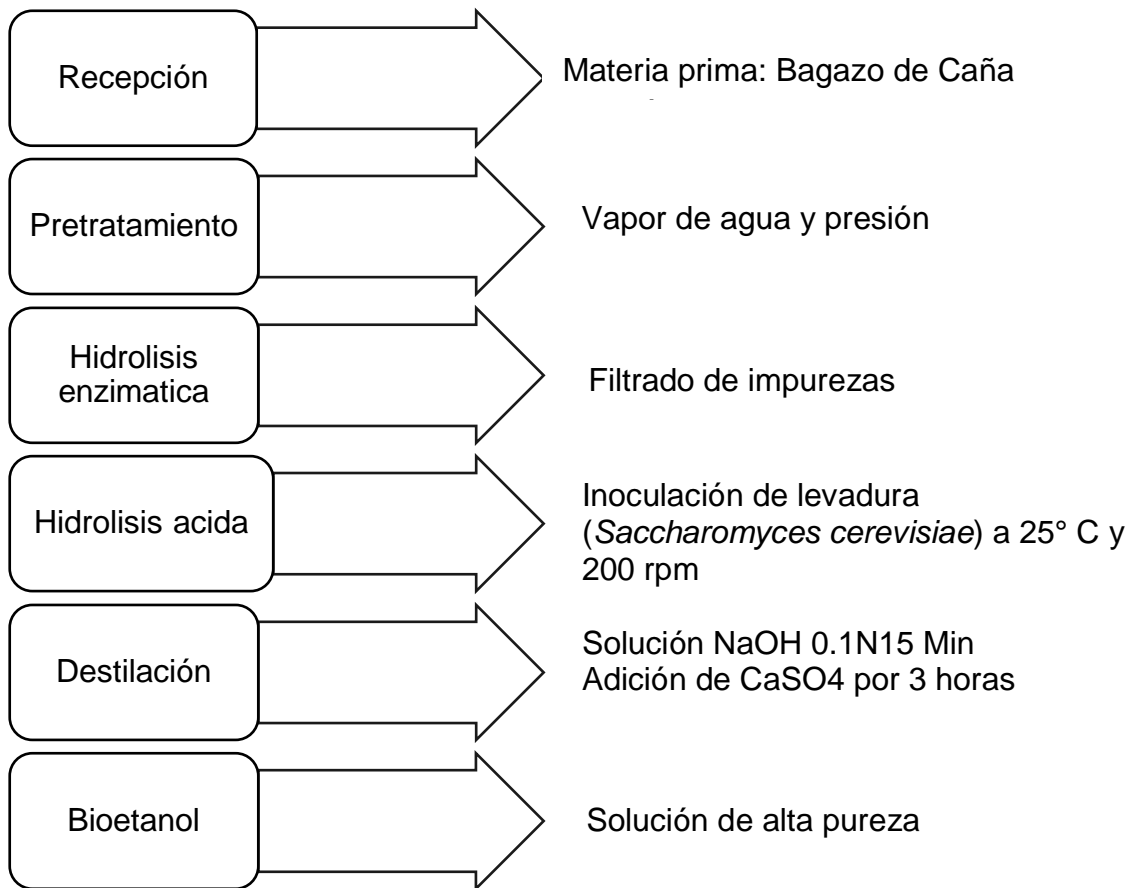
### **3.7.1 Descripción del procedimiento de la extracción de bioetanol de primera generación**

- De acuerdo con Peña y Arango, (2008), en la primera fase se realiza el lavado de la caña de azúcar con hipoclorito de sodio, se seca mediante un horno a 60°C. Luego se reduce de tamaño por medio de un molino y se realiza el tamizado, se le adicionan los jarabes para la fermentación, en agitador orbital a 30°C, 150rpm y pH inicial 5. Se prepara un preinóculo tomando una colonia de la caja Petri, se cultiva en 50mL, 10% glucosa anhidra y se deja incubando por 24h a 30°C, 150rpm y pH 5. Posteriormente, se mide hasta alcanzar fermentación con 2% v/v.
- Se realiza una evaluación del crecimiento celular y se llevar a cabo el seguimiento al por el método de peso seco, el cual se desarrolla en la siguiente forma; Se toma 1mL de suspensión celular de cada erlenmeyer, en un tubo eppendorff de 1,5mL, subsiguientemente se centrifuga a 12000rpm a 4°C durante 10min, luego se separa el residuo y el pellet en agua destilada para hacer de nuevo el proceso de centrifugación bajo las mismas condiciones. La resuspensión del pellet se repite dos veces. Posteriormente, se elimina el sobrenadante y se somete el pellet húmedo a secado en horno a 80°C hasta que el peso fuera constante.
- Por último, se lleva a cabo la inoculación de la levadura y se somete al proceso de destilación para aumentar la concentración hasta los niveles óptimos de 97% de pureza.
- Las condiciones del equipo se establecen así: volumen de inyección de 1µL, temperatura del inyector: 150°C y split 50:1, flujo de columna: 1,1mL/min, temperatura de columna: 70°C/5min, columna DBwax 30m x 0,25mm x 0,25µm, temperatura del detector: 200°C y gas de arrastre.

### 3.8 Revisión de los pasos para la obtención de bioetanol de segunda generación.

A continuación el flujograma elaborado por el autor:

**Gráfico 9.:** Diagrama de flujo de proceso de bioetanol de segunda



**Elaborado por:** El Autor

#### 3.8.1 Descripción del procedimiento de la extracción de bioetanol de segunda generación

- De acuerdo con Aguilar (2011), en la primera fase se pretratamiento se somete el bagazo de caña a presión y vapor empleando un matraz Kitasato sellado con un tapón de hule, una parrilla eléctrica y un termómetro, con una manguera de látex adaptado a un manómetro. Se causa la degradación de hemicelulosa del 57% y una transformación de lignina del 79.8% debido a su

alta temperatura, así se incrementará el potencial de hidrólisis de celulosa.

- Luego la biomasa se someterá a un proceso de fermentación, adicionando levadura, y mantenido una temperatura de 25° para optimizar su rendimiento. El CO<sub>2</sub> obtenido en la etapa de fermentación se envía a una columna de absorción. El etanol obtenido en la etapa de fermentación es concentrado a 94%. Mediante un alambique se buscará eliminar el agua restante y obtener etanol anhidro, se emplean tamices moleculares en la etapa de deshidratación.

### **3.9 Comparación del Rendimiento obtenido y los costos de producción**

Los rendimientos descritos en la literatura consultada muestran que en la producción de etanol de primera generación versus de segunda generación se calcularán empleando como biomasa el bagazo de la caña de azúcar y el sustrato del jugo de caña de azúcar.

Para el proceso de producción de etanol de segunda generación (bagazo de caña) se aplicará el mismo procedimiento con las variantes, en la primera fase de pretratamiento con calor y presión y como aditivos para causar una degradación de hemicelulosa y una transformación de lignina debido a su alta temperatura, así se incrementa el potencial.

Estos resultados de las investigaciones realizadas por Serna, Barrera y Montiel (2015), demuestran que el etanol de primera generación empleando el jugo de caña de azúcar obtuvo un mayor rendimiento alrededor del 45 % respecto al rendimiento arrojado por el bagazo de caña como biomasa para la elaboración de bioetanol de segunda generación, y se puede mencionar que respecto a los costos de producción del biocombustible de segunda generación (bagazo de caña) es 4 veces más costoso que el de primera generación (jugo de caña).

El siguiente cuadro se compara el rendimiento de bioetanol de primera y segunda generación en litros por toneladas de cultivo, litros por hectareas de cultivo y costos de producción en dólares, elaborada por los autores (Serna, Barrera, y Montiel, 2015).

**Tabla 10.:** Variación de costos de producción entre bioetanol de primera generación y segunda generación empleando jugo de caña y bagazo de caña respectivamente.

<b>Fuente de Carbono</b>	<b>Materia Prima</b>	<b>Rendimiento (Its/ton de material)</b>	<b>Rendimiento (Its/ha de cultivo)</b>	<b>Costo de producción (USD/litro)</b>
Sacarosa	Jugo de caña	70-85	6000	0,21
Celulosa	Bagazo de caña	55	3850	0,8

**Fuente:** Serna, Barrera y Montiel (2015)

**Elaborado por:** El Autor

### 3.10 Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizará mediante el análisis de varianza ANOVA que corresponda utilizando el paquete estadístico INFOSTAT y las medidas serán comparados mediante la prueba de rangos múltiples Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

En las comparaciones entre los procesos de 1G y 2G se encontraron 2 subconjuntos homogéneos según Tukey al 95% de confianza, esto quiere decir que no hubo mucha diferencia en la variabilidad de los porcentajes de concentración que distinga una muestra de la otra. Lo que significa que el rendimiento del producto resultante de ambos procesos no es significativo.

## 4 DISCUSIÓN

El actual interés por disminuir el impacto ambiental de los combustibles fósiles hace plantear diferentes propuestas que permitan sustituir estos productos por cultivos energéticos más sostenibles, entre ellos en Bioetanol extraído del procesamiento de la caña de azúcar los autores Castro (2012), Albarracín et. al., (2015) y Gómez (2016) coinciden en estas ideas, incluso afirman que en diversos países como Brasil, Estados Unidos y Ecuador ya existen proyectos y tecnologías comercialmente efectivas.

Sin embargo, cuestionando estas prácticas se destaca Capdevila et al., (2015) quien señala que el desarrollo de este tipo de biocombustibles se enfrenta con un dilema: la utilización de materia prima que puede ser empleada para la alimentación de la población mundial, lo que resulta un verdadero conflicto.

Debido a lo antes expuesto, se están llevando a cabo esfuerzos por desarrollar nuevas tecnologías y emplear otro tipo de materia prima, entre las cuales surge los biocombustibles de segunda generación, para los cuales se emplean los residuos lignocelulósicos lo cual representa una opción más atractiva y sostenible ya que no es utilizado como alimento.

El componente lignocelulósico presente en las paredes celulares de las plantas es el recurso renovable de mayor abundancia en el planeta. 150-170 mil millones de toneladas por año. De acuerdo con Sordo y Luz (2013) esta biomasa lignocelulósica ha obtenido reconocimiento desde hace algunos años como materia prima viable para la obtención de biocombustibles lo cual concuerda con lo expuesto por Rivas y Luis (2017) quienes afirman que su composición fisicoquímica es ideal para la elaboración de estos biocombustibles.

En relación con los procesos de producción, el bioetanol de primera generación resulta un proceso más sencillo y con menor costo, según lo expone Vargas y García (2015) mediante la fermentación y la destilación, comparado al proceso de producción de bioetanol de segunda generación, sin embargo Nogues y García (2010) señalan la aplicación de presión y detalla un proceso químico adicional para solidificar y filtrar los flóculos y eliminar estas impurezas.

Por su parte Montoya y Quintero (2005) coincide con Nogues y García (2010) en el proceso de extracción de lo flóculos y aunque muestran un proceso bastante similar, describe un proceso de centrifugación y destilación mediante 2 columnas para obtener un producto con mayor grado de pureza.

Aunque la principal razón a simple vista resalta el costo de la materia prima, la elaboración de biocombustibles a partir de la lignocelulósica representa un procedimiento más complejo y que exige un grado mayor de tecnificación según Ojeda et al., (2009) lo cual está alineado a lo expuesto por Zamora et al., (2014). Ambos autores señalan el pretratamiento como una fase importante seguido por la hidrólisis enzimática.

Los autores antes mencionados especifican que los factores como mayor o menor cantidad de azúcares en la caña o contaminación, a diferencia de los biocombustibles de segunda generación la calidad de la materia prima depende de diferentes procesos de deconstrucción.

Estudios recientes señalan que el rendimiento del bioetanol de segunda generación podría aumentar considerablemente en las últimas fases de la investigación, alcanzando un 50 % de productividad según las proyecciones, lo que representa un gran avance en cuanto a la optimización del proceso de producción.



A pesar de la complejidad del proceso de segunda generación, Ojeda et al., (2009) y Zamora et al., (2014) demuestran que el desarrollo de nuevas tecnologías en todo el sistema (pretratamiento, hidrólisis, fermentación y controles) el aumento en el rendimiento y la productividad brindan la posibilidad de emplear el material lignocelulósico como una alternativa sustentable.

Se puede observar que cuando hay mayor concentración de sacarosa hay incremento en la producción de etanol. Cuando *S. cerevisiae* estuvo cultivada, la mayor producción fue de 25 g etanol/L a 170 g/L de sacarosa con en el proceso 2G. En el mismo sustrato a 250 g/L de sacarosa dicho proceso produjo 31 g/L de etanol de 1G. El análisis realizado mostró que todos los factores evaluados y sus respectivas interacciones de la concentración de levadura tienen efecto estadísticamente significativo sobre la producción de etanol. Se encontró que en cualquiera de los dos medios de cultivo utilizados, los rendimientos de etanol fueron superiores a 0.41g etanol/g sacarosa cuando la concentración de azúcar fue mayor.

También se puede ver que los rendimientos de etanol son mayores cuando se emplea medio YPS independientemente de la concentración inicial de sacarosa. Sin embargo, el proceso de 1G presentó mayor rendimiento con un valor de 0.5316 g/g. Se encontró que una concentración de sacarosa mayor hace mucho más eficiente la producción de etanol a partir de la caña de azúcar con eficiencias superiores a 76 % para cualquiera de los sustratos evaluados.

El pretratamiento básico para ambos procedimientos produce mayor cantidad de energía a partir del etanol que el pretratamiento ácido, debido a la mayor liberación de azúcares durante la hidrólisis enzimática y por tanto mayor producción de etanol en la fermentación.

Los procesos de bioetanol de primera y segunda generación no mostraron una diferencia notable en cuanto a la concentración del bioetanol resultante, considerando las variantes de la levadura, se pudo determinar que no es un indicador diferenciador entre los procesos de producción de bioetanol 1G y 2G, dado que el análisis estadístico señala que no es una diferencia significativa.

## **5 RESULTADOS ESPERADOS**

### **Académico**

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

### **Técnico**

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

### **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.

### **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.

### **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.

## **Tecnológico**

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

## **Social**

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

## **Ambiental**

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

## **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.

## **Contemporáneo**

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

## **6 RECOMENDACIONES**

El éxito en el desarrollo de tecnologías para la producción de biocombustibles depende de los subsidios e incentivos del estado. Esto se debe gracias a que la producción de biocombustibles en el mundo es rentable gracias a las políticas de los estados que tienen dentro de sus objetivos el fomento de las energías renovables.

El problema que representa el uso del suelo para la producción de energía representa a mediano y largo plazo un pasivo ambiental que difícilmente está equilibrado con los activos derivados de la producción de biocombustibles, por ello se recomienda realizar esfuerzos por desarrollar métodos y tecnologías para emplear los desechos agrícolas para la producción de bioetanol de segunda generación.

Aunque representa un mayor costo y tiene menor rendimiento, se debe enfocar la visión hacia los biocombustibles de segunda generación, las ventajas que ofrecen es que pueden ser obtenidos de biomasa que no se apropie de insumos para los alimentos y produce menor impacto ambiental.

## 7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar D. (2011) Producción de etanol a partir de bagazo de caña panelera mediante un sistema híbrido de fermentación y pervaporación. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Tesis de Grado.
- Aguirre, R. (14 de mayo de 2010). Jugo de caña de azúcar envasado en vidrio. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Tesis de Posgrado. Obtenido de:  
[https://www.researchgate.net/publication/47664557\\_Jugo\\_de\\_cana\\_de\\_azucar\\_envasado\\_en\\_vidrio](https://www.researchgate.net/publication/47664557_Jugo_de_cana_de_azucar_envasado_en_vidrio)
- Albarracín, Jaramillo, y Albuja. (2015). Bioetanol Anhidro a partir de paja (*Stipa ichu*). *Revista Politécnica*, 109-109.
- Alvarez, C. (2015). Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico,. Universidad Autónoma Nacional de México, 63-89. obtenido de:  
<http://www.economia.unam.mx/publicaciones/econinforma/pdfs/359/04carlosalvarez.pdf>
- Capdevila, V., Kafarov, V., Gely, C., y Pagano, A. (2015). Simulación del proceso fermentativo para la obtención de bioetanol a partir de residuos de arroz. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 11-21.
- Castro, M. (2012). Producción de biodiesel y bioetanol: ¿una alternativa sustentable a la crisis energética?. *Revista Ra Ximhai*, vol. 8, Obtenido de: <https://www.redalyc.org/pdf/461/46125177010.pdf>
- Cervantes, J. (12 de 1 de 2016). Ingeniería del proceso, enfocada a molienda y peletizado. *Engormix*. Obtenido de:  
<https://www.engormix.com/balanceados/articulos/ingenieria-proceso-enfocada-molienda-t33071.htm>
- ECURED. (28 de agosto de 2020). Bagazo de Caña. Obtenido de [https://www.ecured.cu/index.php?title=Bagazo\\_de\\_ca%C3%B1a&oldid=1117492](https://www.ecured.cu/index.php?title=Bagazo_de_ca%C3%B1a&oldid=1117492)

- EducarChile. (2005). Recepción de materias primas. Técnico profesional. Obtenido de: [http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0029/File/Objetos\\_Didacticos/EIA\\_05/Recursos\\_para\\_la\\_Actividad/sesion\\_2\\_%20power\\_%20recepcion\\_%20de\\_%20materias\\_%20primas.ppt](http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0029/File/Objetos_Didacticos/EIA_05/Recursos_para_la_Actividad/sesion_2_%20power_%20recepcion_%20de_%20materias_%20primas.ppt)
- EFEVERDE. (5 de Enero de 2018). *Efeverde*. Fabrican en México biocombustibles de segunda generación con restos de piña. Obtenido de: <https://www.efeverde.com/noticias/restos-pina-aptos-fabricar-biocombustibles-segunda-generacion/>
- Erazo, R. (2001). Producción de vinagre de manzana por fermentación a escala piloto. *Revista investigación*. Obtenido de: [http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/viewFile/4225/3377](http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/File/4225/3377)
- FAO. (2013). *Organizacion de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion*. Obtenido de: <http://www.fao.org/news/archive/news-by-date/2013/es/>
- Frete, F., & Martínez, M. (2011). Caña de azúcar: Análisis de la cadena de valor en Concepción y Canindeyú. Paraguay: : ACIDI/VOCA. Obtenido de: <https://issuu.com/iniciativazonanorte/docs/canadeazucar>
- García, J. (2011). Aplicación de ácidos orgánicos. *Inofood*. Obtenido de: [http://www.inofood.cl/neo\\_2011/pdf/PRE\\_PDF/LUNES\\_TARDE\\_2/Microsoft%20PowerPoint%20-%204%20JAVIER%20GARCIA%20PINA%20-%20CHEMITAL%20\[Modo%20de%20compatibilidad\].pdf](http://www.inofood.cl/neo_2011/pdf/PRE_PDF/LUNES_TARDE_2/Microsoft%20PowerPoint%20-%204%20JAVIER%20GARCIA%20PINA%20-%20CHEMITAL%20[Modo%20de%20compatibilidad].pdf)
- Godoy, F., y Garzon, A. (2015). Diagnóstico del estado de la parcela de conservación de Zamorano: Estudio de suelos, producción de cultivos y prácticas de caña de azúcar. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Tesis de Grado.
- Gómez, A., y Bello, P. (2018). Materias primas usadas para la producción de etanol de cuatro generaciones: retos y oportunidades. *Agrociencia*, 967-990.

- Gómez, J. (2016). Análisis de la variación de la eficiencia en la producción de biocombustibles en América Latina. *Estudios gerenciales*, 120-126.
- Gutiérrez, N., y Segil, E. (2016). Efecto de la dilución y concentración de carboximetilcelulosa sódica en la estabilidad y aceptación general de néctar mixto del jugo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum L*) y aguaymanto (*Physalis peruviana*). Lima: Tesis de Grado. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- Herrera, I., Pérez, J., y Gamarra, A. (2016). Análisis de ciclo de vida de la producción de etanol combustible proveniente del bagazo de caña de azúcar. *Simposio de la Red Española de ACV (esLCA)*. Valencia (España).
- Irbaz, A., y Barbosa-Cánovas. (2005). Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos 767-814. Mexico: Mundi Prensa México.
- Lagos, B., y Castro, R. (2019). Caña de azúcar y subproductos de la agroindustria azucarera en la alimentación de rumiantes. *Agronomía Mesoamericana*, 917-934.
- Montiel, R. L. (2017). Diseño y simulación del proceso de obtención de etanol a partir de bagazo de caña. Universidad Autónoma Metropolitana. Tesis de Posgrado. Obtenido de: <https://core.ac.uk/download/pdf/269023066.pdf>
- Montoya, M., & Quintero, J. (2005). Esquema Tecnológico Integral de la producción de bioetanol carburante. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. Tesis de Grado.
- Morales, G., Arteaga, Gallegos, S., Yanchapaxy, S., y Stay, Z. (2016). Tendencias metodológicas universitarias en los siglos XX y XXI. Estudio comparativo. Universidad Estatal de Milagro. Tesis de Grado.
- Nogues, F., y Garcia, D. (2010). Energías Renovables. *Energía de la biomasa Vol.2*. Zaragoza: Prensas de la Universidad de Zaragoza.
- NTE INEN 2482. (2009). Sobre requisitos del biodiesel. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2482.pdf>



- Ñaupas, P., Mejía, M., Novoa, R., y Villagómez, P. (2014). Metodología de la investigación cuantitativa - cualitativa y redacción de la tesis. Bogotá: *Ediciones de la U-* 538 páginas.
- Ojeda, Q., Rondón, y Kafarov. (2009). Evaluación de sostenibilidad de la producción de biocombustibles de segunda generación mediante la aplicación de análisis exergético. . *Prospectiva*, 19-26.
- Ortega, J., y Jiménez, G. (2014). Elementos de sostenibilidad para la producción y uso del etanol como combustibles. Universidad Tecnológica de Bolívar. Tesis de Grado.
- Palacios, P. (2014). Análisis de la producción de bioetanol de segunda generación, a partir del aprovechamiento de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos en Bogotá. Colombia.: *Reponame*: Repositorio Institucional MINERVA. Universidad EAN. Tesis de Grado.
- Peña C, Arango R. (2009) Evaluación de la producción de etanol utilizando cepas recombinantes de *saccharomyces cerevisiae* a partir de melaza de caña de azúcar. *Revista Scielo*. Obtenido de: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v76n159/a16v76n159.pdf>
- Ramírez, N. (2011). Proindustriales. Obtenido de Molienda: <http://proindustriales.blogspot.com/2013/05/molienda.html>
- Riascos, Y., y López, J. (2016). Estudio de prefactibilidad para el diseño de una planta de etanol a partir de residuos de cosecha de caña de azúcar. *Revista Mutis*, 6(2),, 74-81.
- Roca, G. (28 de Agosto de 2020). Caracterización del bagazo de caña de azúcar. Parte I: Características físicas. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba. Tesis de Grado. Obtenido de [www.proceedings.scielo.br](http://www.proceedings.scielo.br)
- Ruiz, M., Canedo, L., Narváez, G., y Robles, H. (2016). Producción de etanol por *Saccharomyces cerevisiae* y *Zymomonas mobilis* Coinmovilizadas: Propuesta para el uso de desechos orgánicos. *Agrociencia*, 551-563.

- Sampieri, R., Fernández, C., y Baptista, L. (2014). Metodología de la Investigación. Definiciones de los enfoques cuantitativo y cualitativo, sus similitudes y diferencias. Editorial Mc Grw Hill 6ta Edición. México.
- Serna, F., Barrera, L., y Montiel, H. (2015). Impacto Social y Económico en el uso de Biocombustibles. *Journal of Technology Management & Innovation vol.6 no.1*, 100-114.
- Sordo, C., y Luz, T. (2013). Evaluación de pretratamiento con líquidos iónicos próticos para la producción de bioetanol de segunda generación. Universidad de Chile. Tesis de Grado.
- Suárez, M., Garrido, C., y Guevara, R. (2016). Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. Revisión bibliográfica. ICIDCA. . *Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 20-28.
- Vargas, B., y García. (2015). Modelo de entrenamiento en toma de decisiones relacionadas con gestión de producción y operaciones de un sistema de fabricación de bioetanol. ITECKNE . *Innovación e Investigación en Ingeniería*, 7-16.
- Vázquez, H. (2007). Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas. *Ingeniería, Investigación y Tecnología VIII. 4.* , 249-259.
- Vázquez, H., & Dacosta, O. (2007). Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas. . *Ingeniería, investigación y tecnología*, 249-259.
- Villalobos, C. (2010). Comparación de Pretratamientos en Residuos Forestales para la Producción de Bioetanol de Segunda Generación: Hidrólisis Ácida y Líquidos Iónicos. Universidad de Chile.Tesis Posgrado.
- Zamora, H., Prado, F., Capataz, T., Barrera, F., y Peña, C. (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*, 122-127.



**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, **Narváez Guerrero Bryan Andrés** con C.C: # **0921157616** autor/a del trabajo de titulación: “**Estudio comparativo del rendimiento de la producción de bioetanol a partir de métodos de extracción de primera generación y métodos de extracción de segunda generación a partir de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).**” 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: **Narváez Guerrero Bryan Andrés**

C.C: **0921157616**



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	Estudio comparativo del rendimiento de la producción de bioetanol mediante métodos de extracción de primera y segunda generación a partir de la caña de azúcar ( <i>Saccharum officinarum</i> ).		
<b>AUTOR(ES)</b>	Bryan Andrés Narváez Guerrero		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Ing. Jesús Ramón, Meléndez Rangel, PhD.		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería Agroindustrial		
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	Ingeniera Agroindustrial		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	17 de septiembre de 2020	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	66
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Biocombustibles, bioetanol,		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Bioetanol, biocombustible, producción, primera generación, segunda generación.		
<b>RESUMEN</b>	<p>La presente investigación bajo el formato de anteproyecto desarrolló los procesos científicos necesarios para estructurar un estudio comparativo entre los rendimientos de etanol de primera y segunda generación empleando como materia prima la caña de azúcar (<i>Saccharum Officinarum</i>). La propuesta tiene la finalidad de cumplir los objetivos y la hipótesis general planteada. Los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio permitieron demostrar que el etanol de primera generación empleando el jugo de caña de azúcar obtuvo un mayor rendimiento alrededor del 45 % respecto al rendimiento arrojado por el bagazo de caña como biomasa para la elaboración de bioetanol de segunda generación, y se puede mencionar que respecto a los costos de producción del biocombustible de segunda generación (bagazo de caña) es 4 veces más costoso que el de primera generación (jugo de caña).</p>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-999416696	<b>E-mail:</b> banarvaezguerrero@gmail.com	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::</b>	<b>Nombre:</b> Ing. Noelia Caicedo Coello M. Sc.		
	<b>Teléfono:</b> +593- 987361675		
	<b>E-mail:</b> noelia.caicedo@cu.ucsg.edu.ec		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			