



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

Simulación de una destilación alcohólica mediante fermentación de la cáscara de banano (CAVENDISH) para la obtención de bioetanol rectificado.

**BLACIO GONZALEZ MARIA JOSE
INGENIERA QUIMICA**

**MORILLO CARCHIPULLA CAROLINA ESTEFANIA
INGENIERA QUIMICA**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

Simulación de una destilación alcohólica mediante fermentación de la cáscara de banano (CAVENDISH) para la obtención de bioetanol rectificado.

**BLACIO GONZALEZ MARIA JOSE
INGENIERA QUIMICA**

**MORILLO CARCHIPULLA CAROLINA ESTEFANIA
INGENIERA QUIMICA**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

TRABAJOS EXPERIMENTALES

**Simulación de una destilación alcohólica mediante fermentación
de la cáscara de banano (CAVENDISH) para la obtención de
bioetanol rectificado.**

**BLACIO GONZALEZ MARIA JOSE
INGENIERA QUIMICA**

**MORILLO CARCHIPULLA CAROLINA ESTEFANIA
INGENIERA QUIMICA**

PESANTEZ FREDIS FRANCO

**MACHALA
2023**

SIMULACIÓN DE UNA DESTILACIÓN ALCOHOLICA MEDIANTE FERMENTACIÓN DE LA CÁSCARA DE BANANO (CAVENDISH) PARA LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL RECTIFICADO

por María José Blacio González - Carolina Estefanía Morillo Carchipulla

Fecha de entrega: 14-mar-2024 08:48a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2320272043

Nombre del archivo: TESIS_BLACIO_MORILLO_14-03-2024.docx (1.72M)

Total de palabras: 8317

Total de caracteres: 45846

SIMULACIÓN DE UNA DESTILACIÓN ALCOHOLICA MEDIANTE FERMENTACIÓN DE LA CÁSCARA DE BANANO (CAVENDISH) PARA LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL RECTIFICADO

INFORME DE ORIGINALIDAD

5%

INDICE DE SIMILITUD

4%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|---|---|--------------|
| 1 | dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet | 1 |
| 2 | hdl.handle.net Fuente de Internet | % |
| 3 | repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet | 1 |
| 4 | www.coursehero.com Fuente de Internet | <0% |
| 5 | repositorio.unan.edu.ni Fuente de Internet | <1 |
| 6 | vsip.info Fuente de Internet | <0% |
| 7 | Joel Hernández Bedolla. "Análisis estocástico de datos climáticos como predictor para la gestión anticipada de sequías en recursos hídricos", Universitat Politècnica de València, 2022 | <1 % 1 |

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

Las que suscriben, BLACIO GONZALEZ MARIA JOSE y MORILLO CARCHIPULLA CAROLINA ESTEFANIA, en calidad de autoras del siguiente trabajo escrito titulado Simulación de una destilación alcohólica mediante fermentación de la cáscara de banano (CAVENDISH) para la obtención de bioetanol rectificado., otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Las autoras declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Las autoras como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



BLACIO GONZALEZ MARIA JOSE

0706700028



MORILLO CARCHIPULLA CAROLINA ESTEFANIA

0705683704

DEDICATORIA

A Dios, quien me ha brindado salud y fuerza para no dejar de preservar y culminar parte de mi carrera.

A mis padres, Carmen y Geovanny, quienes han formado parte fundamental para llevar a cabo el presente trabajo de investigación, por su motivación constante para continuar y no rendirme durante el transcurso de mi carrera.

A mis hermanos Mateo y Marcelo, quienes estuvieron a mi lado siempre brindándome su apoyo incondicional.

A mi abuela María Constante, quien a pesar de ya no encontrarse presente en este mundo terrenal formo parte importante de este proceso, por haberme brindado su amor, apoyo incondicional e inspirarme a convertirme en una profesional.

Carolina Estefania Morillo Carchipulla

A Dios, quien me ha dado la fuerza y voluntad para continuar para finalizar mi carrera y no dejarme caer en los momentos más difíciles.

A mis padres, Soraya G y Pedro B, quienes forman parte fundamental en mi vida y me han apoyado al transcurso de mi carrera, motivándome y inspirándome a dar todo de mi en el transcurso del tiempo.

María Jose Blacio González

AGRADECIMIENTO

Agradezco en gran manera a Dios por haber sido parte de este proceso, por haberme bendecido en el transcurso de mi carrera guiándome por el camino del bien y no dejando que desmaye ante las dificultades, por la familia que me dio quienes estuvieron presentes en el trayecto universitario, con una palabra de aliento y motivándome a seguir adelante.

A mi tutor Dr. Fredis Pesantez, por aportar en el transcurso de mi formación académica para lograr superarme impartiendo sus conocimientos y comprensión, brindándome así la oportunidad de crecer profesionalmente.

Finalmente agradezco de corazón a las personas importantes que formaron parte de mi vida académica, por su amistad y apoyo incondicional: Monica P, María José B, Abel V, Julio P, Katherine Q, Néstor P, Cristhian B y Mayra P.

Carolina Estefania Morillo Carchipulla

En este trabajo de titulación quiero agradecer primeramente a Dios que me guio por darme esa fuerza y la voluntad de seguir en el transcurso de mi carrera.

A mi tutor Dr. Fredis Pesantez, que apporto en este proyecto brindándome sus conocimientos, por la paciencia para poder culminar este proceso ayudándome asumir responsabilidad para llegar a ser una profesional.

Por último, a mis padres que dan ese aliento para seguir adelante y mediante su apoyo he podido culminar con mis primeros sueños que es llegar a obtener mi ingeniería.

A mis amigos personitas muy importantes en mi vida que estuvieron ayudándome y apoyando para la culminación de mi trabajado de titulación y bríndame su amistad: Katherine M, Mónica P, Carolina M, Julio P, Néstor P, Abel V y Cristian B.

Maria Jose Blacio Gonzalez

RESÚMEN

En Ingeniería Química la simulación se considera una herramienta factible para la solución de problemas comunes en procesos químicos, esto permite que su aplicación se efectúe de forma correcta en el desarrollo de productos que requieran una validación computacional. El banano (*Musa Cavendish*), representa hasta el 95% en comercialización, la cascara de este fruto es rica en fibra (50 g/100g) motivo por el cual es denominado como un material energético convirtiéndose en una materia prima óptima para un procesamiento industrial. El objetivo del proyecto es aprovechar los desecho orgánico comúnmente no utilizado, con una cantidad de 17.5 kg en tres repeticiones de una destilación fraccionada para verificar si existe variación en los resultados de la obtención de bioetanol, para su desarrollo se emplea el proceso de fermentación alcohólica vía anaeróbica mediante el uso de la levadura *Saccharomyces Cerevisiae* que ayuda a la transformación de este residuo orgánico aprovechando las propiedades que posee y aportando con ideas innovadoras. Las muestras recopiladas fueron obtenidas de la hacienda "El Cisne" ubicada en la parroquia El Cambio de la Provincia del El Oro, su proceso se realiza mediante una destilación fraccionada en los equipos del laboratorio de Operaciones Unitarias donde sus resultado han sido verificados en el software DWSIM, utilizando el modelo termodinámico de la ley de Raoult que consiste en mezclas ideales para obtener las fracciones molares de los componentes de interés, el programa considera como herramienta el Chemsep para aplicar el sistema operacional de la columna de destilación, los datos obtenidos a través de experimentación y recopilación bibliográfica se utilizaron para un análisis cualitativo con la finalidad de obtener los grados de alcohol buscando que sus valores se asemejen a los de la simulación para verificar si es factible su implementación en el desarrollo del producto mencionado. Tenemos los resultados obtenidos de la simulación de procesos concuerdan con los valores experimentales con un valor de 0.8233 en fracción molar de etanol puro, verificando que el proceso empleado es apropiado para la reutilización de esta materia prima cuyos resultados servirán para futuras investigaciones.

PALABRAS CLAVES: *Simulación, Cáscara de banano, bioetanol rectificado, fermentación y grado alcohólico.*

ABSTRACT

In Chemical Engineering, simulation is considered a feasible tool for solving common problems in chemical processes; this allows its application to be carried out correctly in the development of products that require computational validation. The banana (*Musa Cavendish*) represents up to 95% of sales. The peel of this fruit is rich in fiber (50 g/100g), which is why it is called an energetic material, becoming an optimal raw material for industrial processing. The objective of the project is to take advantage of the commonly unused organic waste, with an amount of 17.5 kg in three repetitions of a fractional distillation to verify if there is variation in the results of obtaining bioethanol, for its development the alcoholic fermentation process is used. anaerobically through the use of the *Saccharomyces Cerevisiae* yeast that helps in the transformation of this organic waste, taking advantage of the properties it has and providing innovative ideas. The collected samples were obtained from the "El Cisne" farm located in the El Cambio parish of the El Oro Province. The process is carried out through fractional distillation on the equipment of the Unitary Operations laboratory where the results have been verified in the software. DWSIM, using the thermodynamic model of Raoult's law that consists of ideal mixtures to obtain the mole fractions of the components of interest, the program considers the Chemsep as a tool to apply the operational system of the distillation column, the data obtained through of experimentation and bibliographic compilation were used for a qualitative analysis with the purpose of obtaining the degrees of alcohol seeking that their values resemble those of the simulation to verify if its implementation in the development of the mentioned product is feasible. We have the results obtained from the simulation of processes agree with the experimental values with a value of 0.8233 in mole fraction of pure ethanol, verifying that the process used is appropriate for the reuse of this raw material whose results will be used for future research.

KEYWORDS: Simulation, Banana peel, rectified bioethanol, fermentation and alcoholic strength.

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|-----------|
| DEDICATORIA | 0 |
| AGRADECIMIENTO | 1 |
| RESUMEN | 1 |
| ABSTRACT | 3 |
| INTRODUCCIÓN | 13 |
| OBJETIVOS | 15 |
| Objetivo general | 15 |
| Objetivos específicos | 15 |
| 1. MARCO TEORICO | 16 |
| 1.1 Antecedente | 16 |
| 1.2 Banano (CAVENDISH)..... | 17 |
| 1.2.1 Maduración del banano Cavendish. | 18 |
| 1.2.2 Características químicas de la cáscara de banano (Cavendish | 19 |
| 1.2.3 Propiedades nutricionales de la cascara de banano..... | 19 |
| 1.3 Fermentación Alcohólica | 20 |
| 1.3.1 Condiciones de Fermentación Alcohólica. | 21 |
| 1.3.1.1 pH. | 21 |
| 1.3.1.2 Influencia de la disponibilidad de nutrientes..... | 21 |
| 1.3.1.3 Temperatura..... | 22 |
| 1.3.1.4 Concentración de azúcar..... | 22 |

| | |
|--|----|
| 1.3.1.5 Requerimientos de oxígeno..... | 22 |
| 1.3.1.6 Destilación..... | 22 |
| 1.3.1.7 Torre de destilación | 22 |
| 1.4 <i>Saccharomyces cerevisiae</i> | 23 |
| 1.4.1 Características de la levadura <i>Saccharomyces cerevisiae</i> | 24 |
| 1.5 Destilación alcohólica..... | 25 |
| 1.5.1 Tipos de Destilación Alcohólica | 26 |
| 1.5.1.1 Destilación en alambiques..... | 26 |
| 1.5.1.2 Destilación continua. | 26 |
| 1.5.1.3 Destilación Fraccionada. | 26 |
| 1.5.2 Regulaciones y Normativas. | 27 |
| 1.6 Alcohol (Bioetanol Rectificado)..... | 28 |
| 1.6.1 Etanol..... | 28 |
| 1.6.1.1 Microorganismos en la producción de etanol..... | 28 |
| 1.6.1.2 Propiedades físicas y químicas del etanol..... | 28 |
| 1.6.1.3 Principales productos para la elaboración de etanol..... | 28 |
| 1.6.1.4 Características del Etanol..... | 29 |
| 1.6.2 Bioetanol Rectificado..... | 29 |
| 1.6.2.1 Ventajas del Bioetanol..... | 29 |
| 1.7 Simulación de procesos | 30 |
| 1.7.1 Uso e Importancia de los simuladores de procesos..... | 30 |
| 1.7.2 Software DWSIM..... | 31 |
| 1.7.2.1 Características | 31 |

| | |
|--|-----------|
| 1.7.2.2 Modelos Termodinámicos..... | 31 |
| 1.7.2.3. Chemsep..... | 32 |
| 1.7.3. Modelo Raoult's Law..... | 32 |
| 2. METODOLOGÍA..... | 34 |
| 2.1 Unidades de análisis | 34 |
| 2.1.1 Tipo de Investigación..... | 34 |
| 2.1.2 Ubicación de estudio. | 34 |
| 2.1.3 Materia Prima o Muestra. | 35 |
| 2.1.4 Variables de proceso..... | 35 |
| 2.1.4.1. Variable dependiente..... | 35 |
| 2.1.4.2 Variable independiente..... | 36 |
| 2.2 Materiales y Métodos | 36 |
| 2.2.1 Materiales e Insumos | 36 |
| 2.2.2 Métodos | 37 |
| 2.2.2.1 Maduración de la materia prima. | 37 |
| 2.2.2.2 Fermentación alcohólica..... | 37 |
| 2.2.2.3 Obtención de bioetanol rectificado..... | 40 |
| 2.2.2.4. Determinación de grados de alcohol..... | 40 |
| 2.2.2.5. Simulador de proceso..... | 40 |
| 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 47 |
| 3.1 Recolección de la materia vegetal..... | 47 |
| 3.2 Determinación de grados de alcohol. | 47 |
| 3.3 Resultado de la simulación de DWSIM..... | 47 |

| | |
|--|-----------|
| 3.4. Discusión..... | 49 |
| 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 51 |
| 4.1 Conclusiones..... | 51 |
| 4.2 Recomendaciones..... | 52 |
| BIBLIOGRAFIA | 53 |
| ANEXOS..... | 60 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|------|
| Tabla 1. Composición química del banano | 17 |
| Tabla 2. Composición química de la cascara de banano | 19 |
| Tabla 3. Valor nutricional de la cascara de banano | 20 |
| Tabla 4. Componentes de la levadura <i>Saccharomyces Cerevisiae</i> | 24 |
| Tabla 5. Parámetros para la corriente de entrada | 41 |
| Tabla 6. Parámetros de la columna de destilación Chemsep | 43 |
| Tabla 7. Porcentaje de alcohol obtenido en la destilación | 47 |
| Tabla 8. Resultados obtenidos en DWSIM | 48 |

LISTA DE CUADROS

| | Pág. |
|---|-----------|
| Cuadro 1. Materiales e Insumos | 36 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 1. Selección de modelo termodinámico | 42 |
| Figura 2. Selección de componentes químicos DWSIM | 43 |
| Figura 3. Diseño de simulación en DWSIM | 44 |
| Figura 4. Parámetros ingresados en Chemsep de la columna de destilación | 44 |
| Figura 5. Modelo termodinámico empleado en la columna de destilación en Chemsep | 45 |
| Figura 6. Eficiencia global de diseño de la torre de fraccionamiento basándose en el tipo de proceso. | 45 |
| Figura 7. Diseño del modelo y tablas de resultado de DWSIM | 46 |
| Figura 8. Simulación completa del sistema de obtención de bioetanol a partir de la cascara de banano (Cavendish)..... | 48 |

LISTA DE ILUSTRACIONES

| | Pág. |
|---|-------------|
| Ilustración 1. Escala de maduración del banano..... | 19 |
| Ilustración 2. Característica morfológica de la <i>Saccharomyces Cervisiae</i> | 25 |
| Ilustración 3. Punto de recolección de la materia prima (cascara de banano Cavendish)..... | 35 |

LISTA DE ANEXOS

| | Pág. |
|--|------|
| ANEXO A. Recepción y selección de la materia prima..... | 60 |
| ANEXO B. Troceado de la materia prima..... | 60 |
| ANEXO C. Triturado y licuado de la materia prima | 61 |
| ANEXO D. Presado y colocación de la levadura | 61 |
| ANEXO E. Fermentado | 61 |
| ANEXO F. Filtración y obtención del mosto | 61 |
| ANEXO G. Destilación y obtención de etanol | 61 |
| ANEXO H. Determinación de los grados de alcohol | 61 |

INTRODUCCIÓN

El banano es originario del Sureste Asiático sirviendo como fuente de alimento a los habitantes de las zonas tropicales, considerándose como uno de los cultivos con mayor producción y generación de ingresos, por otra parte su producción se encuentra enfocada en la pulpa debido a sus propiedades nutricionales de modo que genera una cantidad drástica de residuos de la cáscara de banano, siendo esta una fuente rica en proteínas, fibra y ácidos grasos, por lo que es considerada como alternativa atractiva para la elaboración de productos con alto contenido nutricional, por lo cual nuestro estudio se enfoca en el aprovechamiento de estos residuos orgánicos dándole un valor agregado.¹

Es por esta razón que se busca implementar estrategias que permitan el aprovechamiento de estos residuos debido a que han ocasionado preocupación sobre su mal manejo y la contaminación que estos efectúan al medio ambiente, debido a esto se propone implementar modelos de simulación para el desarrollo de la obtención de alcohol mediante el proceso de fermentación siendo un avance que contribuye con herramientas tecnológicas avanzadas para verificar si es viable y eficiente.

Dicho esto, el bioetanol rectificado, conocido como alcohol etílico al 96 % se diluye a altas concentraciones entre 40 y 45 grados, obteniéndose por medio de la aplicación de procesos de destilación mediante el uso de columnas de rectificación permitiendo de esta manera tener un producto con un alto contenido de alcohol dependiendo la materia prima a utilizar.²

Con respecto a lo propuesto se estima que se utilizará el Software DWSIM debido que este programa es de código abierto lo que le hace factible su utilización, además es una herramienta que proporciona al usuario comprender de mejor manera el comportamiento de sistemas químicos debido a que cuenta con modelos operacionales capaces de diseñar procesos industriales para la producción de productos lo que facilitara la obtención de buenos resultados contribuyendo su implementación para la obtención de bioetanol.³

Esta investigación tiene como objetivo dar a conocer que tan rentable es aplicar el Software DWSIM para la obtención de alcohol usando como materia prima la cáscara de banano sabiendo que es uno de los residuos orgánicos abundantes, su composición química tiene un impacto positivo considerando que contine propiedades funcionales la

cual se utiliza en el avance de productos nuevos por ser un componente energético y evitando su acumulación en los suelos y degradación. ⁴

Hoy estos residuos orgánicos han presentado preocupaciones ambientales por el mal manejo de estos, sin embargo, se debe tomar en cuenta que aportan de manera positiva dándole un valor agregado para su uso por medio de la implementación de estrategias que servirán de ayuda para su empleo. ⁵

Una vez aplicada la parte metódica se usarán los datos obtenidos estadísticamente por el simulador para verificar si es aplicable a nivel industrial, siendo viable para obtener el producto requerido. De tal manera, que demostrará ser de beneficio para la sociedad al darle un valor agregado a la cáscara de banano disminuirá el desecho innecesario de este residuo orgánico y aportará con ideas que se pueden realizar para el desarrollo de nuevos productos. ⁶

OBJETIVOS

Objetivo general

Simular un proceso de destilación alcohólica mediante el programa DWSIM para la obtención de bioetanol rectificado a partir de una fermentación de la cáscara de banano (Cavendish).

Objetivos específicos

- Obtener los parámetros requeridos para la estrategia de simulación mediante experimentación in situ y recopilación bibliográfica.
- Simular todos los procesos involucrados en la destilación mediante el programa DWSIM
- Validar los resultados experimentales mediante el simulador de procesos DWSIM.

1. MARCO TEORICO

1.1 Antecedente

Con la indagación realizada se constató que el simulador DWSIM, ha formado parte de proyectos realizados para la obtención de productos en procesos químicos aportando con su amplia tecnología y herramientas operacionales para la industria. Según Chinchay Dilcia mediante una “Simulación del proceso de obtención de whisky artesanal de maíz utilizando el software DWSIM”, demostró que al emplear este software logró cumplir con el objetivo propuesto obteniendo una densidad del producto deseado adecuado resultado imponerse en el mercado como un producto novedoso, dicho esto se puede decir que el simulador empleado para este estudio puede ser aplicado en el campo industrial presentando resultados favorables.⁷

DWSIM es un programa beneficioso y eficiente que cuenta con un diseño de simulación para la ejecución de procesos químicos, esto se lo realiza a través de la aplicación de modelos operacionales siendo esta una herramienta rigurosa que permite a estudiantes adaptarse al desarrollo de oportunidades presentes en industrias químicas y bioquímicas, Dicho esto se considera esta plataforma digital precisa para la enseñanza y aprendizaje intuitivo sobre el manejo de diferentes procesos que a futuro se puedan implementar a nivel industrial.⁸

En la ingeniería química la simulación se considera una herramienta factible para la solución de problemas típicos presentes en procesos químicos, esto permite que su aplicación se efectuó en el diseño de plantas o equipos desarrollando así proyectos a emplearse para comprobar si es rentable de manera técnica y económicamente dado su propuesta a realizar, también se utiliza para analizar alternativas de procesos y operaciones ya que proporciona datos necesarios para un diseño detallado permitiendo que se lleve a cabo estudios de diversos proyectos.⁹

1.2 Banano (Cavendish)

Actualmente el banano es un producto internacional, por tanto, sigue presente entre las frutas más exportadas, por su consumo ya que es parte del comercio diario. Es importante por su oferta global que ha venido aumentando en los últimos tiempos, se diferencia entre otros frutos por sus propiedades nutricionales, lo que ha permitido que se considere como producto estratégico.¹⁰

Un dato del banano es que su cosecha requiere de un control adecuado, de modo que se desinfecta para evitar plagas, también se los clasifica según el estado que se encuentre y finalmente se cataloga según sus características como: tamaño, longitud y diámetro.

El banano es una de las frutas más consumida a nivel mundial esto es debido a su importancia en la seguridad alimenticia y económica para países en desarrollo, su consumo local es de mayor porcentaje ocupando el 85% mientras que su exportación es del 15% gracias a estas estimaciones contribuirá a la generación de empleo en países que se encargan en su exportación.¹¹

1.2.1 Composición química del banano. El banano es un producto con varios componentes que benefician al cuerpo humano, por lo que es consumido por adultos y jóvenes.¹²

Tabla 1. Composición química del banano

| Componente | Unidad | Valor |
|---------------|-----------|------------|
| Humedad | % | 68.6-78.1 |
| Proteínas | % | 1.1-1.85 |
| Lípidos | % | 0.016-0.4 |
| Carbohidratos | Total (g) | 19.33-1.07 |
| Fibras | g | 0.33-1.07 |
| Vitamina A | UI | 0190.00 |
| Potasio | mg | 370.00 |
| Calcio | mg | 3.2-13.8 |
| Fosforo | mg | 16.3-50.4 |
| Hierro | mg | 0.4-1.50 |
| Ácido málico | mg | 500.00 |

| | | |
|------------------------|----|-----------|
| Ácido ascórbico | mg | 5.60-36.4 |
| Ceniza | g | 0.60-1.40 |
| Ácido cítrico | mg | 150.00 |
| Vitamina B1 | mg | 0.04-0.54 |
| Vitamina B2 | mg | 0.05-0.07 |
| Vitamina B3 | mg | 0.60-1.05 |








Fuente: Erazo, 2021¹²

1.2.1 Maduración del banano Cavendish. La maduración de las frutas por lo que se genera se presenta en las cáscaras, pero esto no indica que todas se efectúen de la misma forma o con el mismo patrón, ya que la mayoría tiene baja demanda o, en ocasiones, es cultivada en una época específica o fase del fruto requerido.

Según el estudio realizado por Brian Nieto estableció que el banano de variedad Cavendish es apto para la metodología de este trabajo, no sólo por las características productivas, sino por su morfología representando hasta el 95% en mercado del producto, al no contener semillas es factible para el consumidor, no obstante esto provoca que se convierta en una planta estéril ya que contiene flores que no necesitan ser fertilizadas por animales, consecuentemente su reproducción debe generarse a través de nuevos brotes del tallo, pero hay que tomar en cuenta el tipo de especie y a su vez considerar que no pase por procesos de maduración química de tal modo que permita tener una mayor exactitud a los resultados.¹³

El banano madura desde el grado 1 que es verde hasta el grado 7 completamente amarillo, lo que indica un nivel máximo de maduración, pero el más óptimo, sin dañar la calidad del banano, es el nivel 6, permitirá tener un mercado abastecedor con mayor vida útil.¹⁴

Ilustración 1. Escala de maduración del banano

| | | | | | | | |
|----------------------|---|---|---|---|--|---|---|
| |  |  |  |  |  |  |  |
| Escala de maduración | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| % de maduración | 14,3 | 28,6 | 42,9 | 57,1 | 71,4 | 85,7 | 100 |

Fuente: Guzmán, 2021¹⁴

1.2.2 *Características químicas de la cáscara de banano (Cavendish). Análisis verificados mediante la Unidad Académica de Ciencias Químicas Y De La Salud, Machala, Ecuador.*

Tabla 2. Composición química de la cascara de banano

| Componente | Cáscara de banano (% base seca) |
|--------------|---------------------------------|
| Hemicelulosa | 11.43 |
| Celulosa | 19.33 |
| Lignina | 21.12 |

Fuente: Astúa, 2021¹⁵

Como se observa en esta tabla de valores para la lignina, hemicelulosa, celulosa, se forma el 80% presente en la cáscara de banano, de modo que suele ser un problema al no desecharse adecuadamente, pero se podría considerar para el desarrollo de productos dándole un valor agregado.¹⁵

1.2.3 *Propiedades nutricionales de la cáscara de banano.* La cáscara de banano presenta aproximadamente el 30% de peso en fruto, a su vez es rica en fibra conteniendo así (50 g/100g) por lo cual esta es una buena fuente, también tiene otros componentes nutricionales como: proteínas, aminoácidos esenciales, ácidos grasos y potasio. La madurez de la cáscara de banano contribuye en el contenido de fibra

compuesta por celulosa, hemicelulosa, lignina y pectina. Su aplicación va a depender principalmente de la composición que esta posee.

La cáscara de banano desechado aproximadamente tiene un contenido de 21% de azúcares reductores, 7% de grasa, 11% de fibra cruda y 60% de extracto libre de Nitrógeno y 86% de humedad el cual se denomina como fuente de energía. Debido a su porcentaje de macronutrientes esenciales es una fuente importante de carbohidratos solubles.¹⁶

Tabla 3. Valor nutricional de la cáscara de banano

| | |
|----------|----------------|
| 95.66% | Humedad |
| 4.77% | Proteína cruda |
| 11.95% | Fibra cruda |
| 4592Kcal | Energía Bruta |
| 0.36% | Calcio |
| 0.23% | Fosforo |
| 14.58% | Ceniza |

Fuente: Tóala, 2018¹⁶

Cabe recalcar que este a su vez contiene una elevada materia seca y alta concentración de carbohidratos no fibroso, también es una fuente potencial de sustancias antioxidantes lo cual lo hace un compuesto apto para la producción de productos con alto contenido de carbohidratos y fibras.¹⁷

1.3 Fermentación Alcohólica

Definida como una transformación anaeróbica de azúcares, se conoce a la fermentación alcohólica, azúcares transformados como la glucosa y fructosa en presencia de microorganismos para la generación de etanol y a su vez dióxido de carbono, su largo proceso de durabilidad se debe a su naturaleza biológica, promoviendo un paso dirigido críticamente a la producción de bebidas alcohólicas.¹⁸

Dicho de otra manera, la fermentación alcohólica se la puede generar mediante sustratos azucarados de origen vegetal al entrar está en contacto con un microorganismo uno de los más utilizados es la *Saccharomyces cerevisiae* lo que da paso a la producción de etanol siendo este como materia prima para la producción de bebidas alcohólicas al mismo tiempo como un medio para la obtención de biocombustibles.

Para generar una buena fermentación es necesario tener en cuenta durante el tratamiento preliminar el cuidado de la concentración de azúcar, pH y temperatura para que sea óptimo, así mismo es necesario adicionar sustancias nutritivas al mosto y controlar que el microorganismo sea resistente a las altas concentraciones de alcohol, otros de los factores que se debe de tener en cuenta es la concentración de etanol, la acidez del sustrato debe de estar en un rango de e 3.5 hasta 5.5, la concentración de azúcares óptimo es de 10 a 18%, la temperatura, que no puede sobrepasar los 50°C, y se debe ser controlada cuidadosamente manteniéndola en su valor óptimo que es de 30 °C.¹⁹

Es un proceso biológico ocasionado por organismos vivos que fabrican carbohidratos, dando como producto final etanol, dióxido de carbono y ATP, lo que indica que los microorganismos consumidos son los responsables de fermentar el alcohol.²⁰

1.3.1 Condiciones de Fermentación Alcohólica. La simplificación de ácidos grados insaturados es necesario que tengan oxígeno para su respectiva transformación.

1.3.1.1 pH. El favorecimiento del crecimiento de las actividades bacterianas debe de encontrarse en un rango de 3 y 6 si su valor es mayor a estos se produce una disminución de su crecimiento repercutiendo la formación de glicerol.

1.3.1.2 Influencia de la disponibilidad de nutrientes. El consumo de nitrógeno representa una variabilidad en las levaduras y estas dependerá de las propiedades fisicoquímicas, las características genéticas y la temperatura de fermentación que éstas poseen.

En la consecuencia de la fermentación existen factores que afectan en el metabolismo de las levaduras ocasionando condiciones de estrés que intervienen en su velocidad de reproducción.²¹

1.3.1.3 Temperatura. Respecto al rendimiento optimo en el proceso de fermentación alcohólica los rangos permitidos son de 30 a 35°C, para tener un mayor porcentaje de eficiencia se considera los 32°C, estos parámetros de deben tomar en cuenta según la levadura a utilizarse. Dicho esto, la temperatura se ve relacionada con el metabolismo de los microorganismos, debido a que se verá afectado si sobrepasa los 37°C ya que al aumentar se incrementa la posibilidad del desarrollo de microorganismos contaminantes que afectan el proceso de fermentación.

1.3.1.4 Concentración de azúcar. En la fermentación es importante aumentar esta condición, ya que aumenta la cantidad de etanol producido y de igual forma aumenta el tiempo de la fermentación.

1.3.1.5 Requerimientos de oxígeno. De manera constante se usa la levadura *Saccharomyces cerevisiae* resulta eficaz en ambiente anaerobio, de modo que los niveles de glucosa son ricos para la producción de etanol con alto rendimiento.

1.3.1.6 Destilación. Consiste en la separación a través de transferencia de masa en una mezcla liquida cuyos componentes deben de ser miscibles y volátiles, por ello es necesario que ambos puntos de ebullición de los componentes sean diferentes teniendo presente la fase de evaporación para que esta permanezca liquida, continuo a esto la mezcla inicial debe de condensarse para obtener una nueva fase con características separados del componente.

1.3.1.7 Torre de destilación. Estos equipos son fundamentales en la separación de mezclas a partir de su punto de ebullición presente en la sustancia, su operación radica primeramente en el ingreso del fluido en la entrada de alimentación. En el interior de la

columna se encuentra una tubería que transporta el flujo al intercambiador de calor. Continuo a esto el vapor ingresa nuevamente y asciende a la columna de tal forma que sale por la parte superior, pasa por un condensador vertiéndolo en un tanque de tal manera que se devuelve el gas a la columna.²²

1.4 *Saccharomyces cerevisiae*

Saccharomyces cerevisiae es uno de los principales microorganismos de origen vegetal cuya función es absorber azúcares como la fructosa, manosa y glucosa, esta a su vez es capaz de soportar condiciones estresantes teniendo una alta eficiencia de fermentación y crecimiento por lo tanto hace unas de las levaduras más utilizadas a nivel industrial debido a que genéticamente son más simples y definidas.²³

Esta especie se caracteriza principalmente por fermentar a temperaturas altas desde 15°C a 25°C en condiciones anaeróbicas lo que la hace rentable para la producción de etanol al mismo tiempo es capaz de ascender hacia el final del proceso fermentativo a la superficie del fermentador.²⁴

Además, la levadura *Saccharomyces cerevisiae* tiene un aspecto ovalado o cilíndrico, otra de sus cualidades es la longitud tiene un diámetro de 10µm de ancho y hasta 3µm de amplitud, actúa como absorbente y captador de varios compuestos que contaminan al ecosistema y alimentaria por ser muy seguros y fáciles de producir.²⁵

Esta levadura es eficiente para convertir azúcares en etanol, garantizando su aceptación en las industrias por su facilidad de adsorción ayudando a crear productos de calidad.²⁶

Las levaduras del género *Saccharomyces cerevisiae* en la industria son organismos especializados para la producción de bebidas alcohólicas, esto es debido a su gran utilidad, pero a su vez esta levadura necesita azúcares para sus catabolismos de esta manera podrá tener energía necesaria para generar su proceso metabólico permitiendo su óptimo desarrollo y rendimiento.²⁷

Cabe mencionar que la levadura *Saccharomyces cerevisiae* es uno de los macroorganismos más utilizados en la industria principalmente para la obtención de etanol esto es debido a su rápido crecimiento y resistencias a las variaciones de temperaturas sobre todo a los cambios de pH durante el proceso lo que permite obtener una alta producción de alcohol.²⁸

El estudio realizado por Carla Romero indica que mientras menor sea el crecimiento de pH neutro y alcalino con valor de 6.5 desarrollara afectaciones negativas dentro del estudio, presentando metabolitos.²⁹

Tabla 4. Componentes de la levadura *Saccharomyces Cerevisiae*

| Componentes | Porcentaje (%) |
|--------------------------------|----------------|
| Polisacáridos | 34.10 |
| Ácidos nucleicos y nucleótidos | 10.80 |
| Fosfolípidos | 4.50 |
| Triglicéridos | 2.50 |
| Ceniza | 3.10 |
| Proteína | 39.00 |

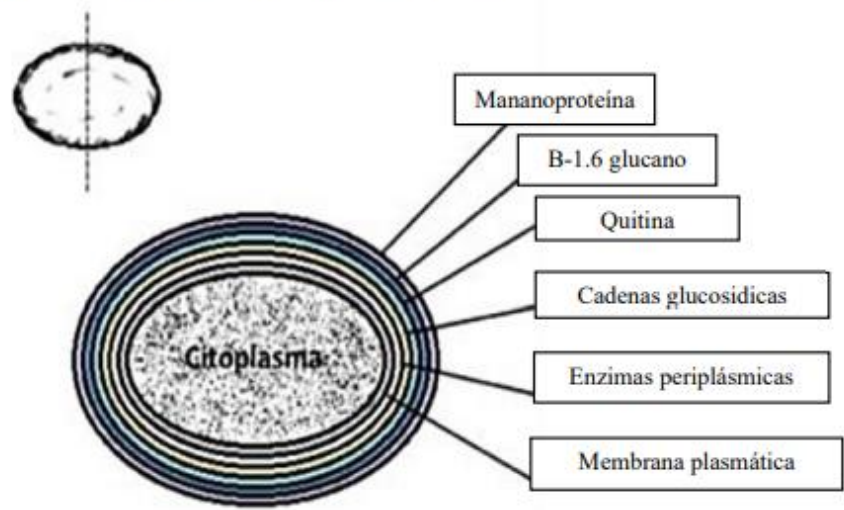
Fuente: Ivett, 2022³⁰

1.4.1 Características. Tiene poder fermentativo, contando con una baja capacidad para producir compuestos secundarios los cuales ayudan a dar las características organolépticas a las bebidas y alimentos fermentados, a su vez desfavorecen en la producción de esteres de acetato en condiciones.

La *Saccharomyces Cerevisiae* consta de una pared celular rígida constituida por mánanos y glucanos capaces de tolerar altos grados de alcohol, existen factores que influyen como la temperatura que tienen que ver con la perturbación de fosfolípidos y la falta de oxígeno del mosto que producirá cadenas insaturadas.³⁰

Ilustración 2. Característica morfológica de la *Saccharomyces Cerevisiae*

Concentraciones de etanol. Imagen de Aaron Casas Acevedo



Fuente: Ivett, 2022³⁰

1.5 Destilación alcohólica

Dentro de la operación de separación implementada en la industria, existen tres etapas para el proceso de separación: la primera es la unión de dos fases, después el intercambio de calor y masa, por último, la separación de fases dependiendo del punto de ebullición de las sustancias obteniendo productos con mayor volatilidad. Para la separación de mezclas azeotrópicas se utiliza la destilación convencional con temperatura constante permitiendo la extracción de etanol.³¹

Los componentes líquidos necesitan temperaturas menores a 25°C en donde los componentes a separar se los conoce como fracción, para la destilación simple se emplea matraz de fondo redondo, iniciando con una columna de rectificación que contiene lana metálica proporcionando que el líquido se condense y se vuelva a evaporar varias veces dependiendo su diseño.³²

Este método permite obtener bebidas alcohólicas con un valor agregado, por los escasos de comercialización de frutas, por tanto, el aumento de su aprovechamiento resulta ser rentable, favoreciendo el tiempo de consumo, presentando aceptación debido a sus características organolépticas siendo apetecidas para el consumidor.³³

1.5.1 Tipos de Destilación Alcohólica

1.5.1.1 Destilación en alambiques. Se usa para obtener alcoholes al 85 % y 90 %. Su procedimiento se basa en la implementación de un círculo de cobre donde ingresa el alimento permitiendo eliminar impurezas, a su vez se aplica calor hasta que el alcohol comience a evaporarse, y el vapor se transporta a un condensador obteniendo un alcohol limpio y puro.

1.5.1.2 Destilación continua. Método utilizado para destilar alcohol de manera continua, implementando columnas llamadas analizador y rectificador. El proceso se efectúa mediante la separación del mosto en la columna analizadora cuyos vapores obtenidos son condensados en el rectificador generando un alcohol incoloro.³⁴

1.5.1.3 Destilación Fraccionada. Es un proceso que se lo utiliza en la industrial especialmente para la separación de mezclas simples y complejas como el etanol-agua, cuya finalidad es la obtención de un producto puro y eficiente. Tiene una columna llamada torre de burbujeo, con placas en forma horizontal permitiendo que el líquido fluya de izquierda a derecha. El vapor va de forma ascendente hacia la capsula de burbujeo, donde burbujea a través del líquido. La interacción entre líquido y vapor puede ser incompleta porque produce espumas de forma que el líquido que arrastra se transporte por vapor hacia la placa superior.

Una de las desventajas de la destilación fraccionada es que proporciona una gran fracción del destilado condensando, ocasionando que deba volver a la parte superior de la torre a hervirse aumentando el suministro de calor. Por otra parte, economiza el suministro de calor porque funciona de manera continua y el destilado de salida pueda reutilizarse para precalentar el material que entra.³⁵

La destilación fraccionada puede producir pequeñas cantidades de producto con gran pureza en sus composiciones, se usa para industrias bioquímicas, farmacéuticas y químicas, su operación se basa habitualmente de manera discontinua en múltiples etapas, el destilado se retira continuamente del sistema hasta que finaliza la destilación. Si se desea obtener un producto con mayor pureza es necesario añadir otra columna

de varias etapas al sistema de destilación discontinua. Esta técnica ha sido empleada en estudios experimentales para mezclas simples y complejas.³⁶

Cabe mencionar que es un proceso de separación y purificación basada en la diferencia de volatilidad de componentes de una mezcla. En la fase de vapor generada es más rica en compuesto con alta volatilidad en cambio en la fase líquida se encuentra los componentes de baja volatilidad, en caso de que exista en la destilación la presencia de múltiples componentes se la clasificara como destilación binaria.

La destilación continua suele ser una de las destilaciones utilizadas en las industrias porque el flujo de entrada se alimenta por una etapa intermedia en la que la fase líquida desciende por la diferencia de densidad y es vaporizada, mientras que el vapor generado sigue el camino opuesto al del líquido, de forma que se producirá un mayor contacto y transferencia de masa entre las fases de cada etapa. El líquido restante se elimina como producto de fondo, mientras que el vapor se condensa y se divide en dos corrientes, una regresa a la columna (reflujo) y la otra se elimina como producto de fondo. de levadura sobre azúcares, proceso llamado fermentación.³⁷

1.5.2 Regulaciones y Normativas. Las BPM garantizan la obtención de productos seguros y de buena calidad destinados al consumo humano y autoconsumo, aplicando procesos higiénicos y condiciones sanitarias nos permitirá disminuir los riesgos potenciales que puedan afectar la salud, considerando la implementación de nuevas estrategias que nos garanticen mantener la sostenibilidad en el ámbito económico, social y ambiental. En la antigüedad se ha venido desarrollando como una actividad la producción de bebidas alcohólicas artesanales con el fin de adaptarse a la disponibilidad de los recursos a través de la aplicación de procesos artesanales.³⁸

Según la norma NTE INEN 1837 la bebida alcohólica obtenidas cumplen con requisitos con respecto a su calidad y venta, la misma que dictamina que todo destilado , con o sin sustancias de origen vegetal, se les añaden adictivos o ingredientes alimenticios que son aptos para el consumo humano.³⁹

1.6 Alcohol (Bioetanol Rectificado)

1.6.1 *Etanol*. En pleno desarrollo de la industria del etanol hay que buscar alternativas de producción a partir de la implementación de nuevas materias primas ofreciendo productos intermedios de azúcares que permitan mejorar la industria azucarera, mostrando como interés mezclas de diferentes sustratos para intensificar la producción de alcohol en las fases fermentativas.

Para la obtención de etanol abarca tres etapas de producción comenzado primero con la preparación del mosto, luego con la fermentación y para finalizar la destilación-rectificación. Como se mencionó anteriormente es un proceso donde un microorganismo como la *Sacharomyces cerevisiae* convierte los azúcares en alcohol, dióxido de carbono dando como lugar a una de las fermentaciones más importantes en la industria debido a que se puede implementar azúcares fermentables por medio de la acción de levaduras en condiciones favorables.⁴⁰

1.6.1.1 *Microorganismos*. Para la obtención del etanol se realiza la inoculación de levaduras como *Saccharomyces Cervisiae*, siendo la especie de mayor uso en los sistemas de fermentación. Una alta concentración de este último sustrato inhibe el progreso de la levadura por su elevada presión osmótica.⁴¹

1.6.1.2 *Propiedades fisicoquímicas*. Conocida por su fórmula química $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ o $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ es incoloro con un pH neutro tiene un punto de inflamación de 14 °C, de ebullición de 78.3° C y fusión de -114 °C, su densidad es 0.806 g/l. Químicamente pertenecen al grupo hidroxilo y metilo. La oxidación produce etanal de tal forma que si no se tiene un control debido se transforma en vinagre, el cual al ser ingerido en pequeñas cantidades resulta ser tóxico para la salud.

1.6.1.3 *Componentes*.

- **Sacarosas:** Tiene que ver con la materia prima y la melaza, las principales fuentes utilizadas para producir etanol según su contenido de azúcares simples en forma de carbohidratos fermentados para producir alcohol.

- Almidones: Los cereales y tubérculos son una fuente principal para producir alcohol, debido a su composición.
- Celulosa: La mayoría de materia prima son ricas en celulosa, pero el proceso para transformar a azúcar lo hacen demasiado difícil y costoso.⁴²

1.6.1.4 Características del Etanol

- Se caracterizan por ser polares debido a la electronegatividad que poseen del átomo tanto en oxígeno a hidrogeno, esto hace que se aumente la fuerza de interacciones entre las moléculas.
- Poseen fuerzas intermoleculares: enlace de hidrógeno entre etanol y el enlace dipolo-dipolo, esto permite la relación de alcohol con alto punto de ebullición, lo que provoca dificultad para asociarse.
- El etanol es un líquido volátil, otro dato a considerar es que los alcoholes de cuatro a diez átomos de carbono son viscosos y espesos, y sus isómeros frecuentemente en su mayoría ramificados.⁴³

1.6.2 Bioetanol Rectificado

El bioetanol es un biocombustible cuya fórmula química C_2H_5OH , se genera a partir de la fermentación de azúcares contenido en materias orgánicas dependiendo su composición química. Los productos que contiene una gran cantidad de azúcares como: caña de azúcar, remolacha, melazas o sorgo dulce, entre otros, son mayormente utilizados para la producción de bioetanol. La utilización de los desechos orgánicos contribuirá a producir biocombustibles capaces de reducir las emisiones de CO_2 a través de la fotosíntesis.⁴⁴

1.6.2.1 Ventajas del Bioetanol

- Se lo utiliza como combustible para automóviles
- Es una fuente de energía renovable.

- Bebidas fermentadas como aguardiente, vino, etc.
- Disolvente de aceite.⁴⁵

1.7 Simulación de procesos

Los simuladores de procesos son software que cuenta con modelos matemáticos y termodinámicos presentes en sustancias puras y mezclas binarias debido a esto son muy prácticos para el uso de la ingeniería ya que radica en el diseño y evaluación de plantas cuyo objetivo es llevar a cabo la transformación de materias primas para la producción de productos con un alto valor comercial.

En la actualidad existen simuladores de procesos bajo modalidad libre en la que el usuario puede acceder de manera más factible el uso de diferentes paquetes informáticos tomando como una alternativa al uso de programas comerciales que requieran de licencia para su operación.⁴⁶

1.7.1 Uso e Importancia de los simuladores de procesos. La implementación de simuladores en la enseñanza educativa se ha venido desarrollando en la actualidad debido a su capacidad de reforzar conocimientos en los estudiantes, siendo una herramienta indispensable para la formación de ingenieros químicos, de tal manera las empresas dedicadas al diseño de ingeniería han adoptado programas computacionales asistidos para su trabajo diario.

Es necesario comprender su utilización y como se puede aplicar sus diferentes métodos para la resolución de problemas de ingeniería química, el aprendizaje en la utilización de este tipo de programas contribuirá en un futuro a los estudiantes que deseen trabajar sobre el diseño y manejo del procesamiento que desempeñan las plantas industriales dado que es una herramienta factible para su implementación.⁴⁷

1.7.2 Software DWSIM. El software DWSIM es un simulador de procesos químicos programado con estándar CAPE-OPEN permite la modelación de diferentes interfaces de componentes entre si promoviendo la interoperabilidad de soluciones, a su vez cuenta con bases de datos de más de 1500 componentes siendo accesible para el usuario al momento de realizar su simulación.⁴⁸

DWSIM es un simulador de estado libre siendo apto para cualquier sistema operativo como Windows, Linux, Android, macOS y iOS permitiendo que el usuario modele plantas industriales utilizando rigurosos modelos termodinámicos y operaciones unitaria.⁴⁹

Es un software que puede ser utilizado para procesos industriales en escala real esto es debido a su amplia gama de compuestos, modelos y operaciones unitaria que este posee, siendo implementados en una planta piloto ayudando a la reducción de costos y riesgos posibles que podrían afrontar al momento de operar los procedimientos en diferentes condiciones aumentando su eficiencia.

1.7.2.1 Características

- Aspecto e impresión en todas las plataformas simultáneas.
- Se pueden aplicar operaciones CAPE-OPEN y paquetes de Thermo 1.0/ 1.1.
- Brinda paquetes de equilibrio termodinámico y calculador de propiedades ideal para procesos.
- Interfaz de diagrama de flujo (PFD).
- Aporta con modelos de columnas de destilación/absorción.
- Sirve como base para reacciones químicas y reactores.⁵⁰

1.7.2.2 Modelos Termodinámicos

- Redlich-Kwong-Soave (SRK) y variantes: Usada esencialmente para procesos hidrocarburiíferos y gases ligeros a presión atmosférica.
- Peng Robinson (PR) y sus variantes: goza de una amplia aceptación en la industria petroquímica garantizando una mayor exactitud para sistemas con gas natural.

- Ecuaciones de Margules: Es útil para estimaciones rápidas para ELV y ELL
- Ecuación de Wilson: Es empleada para soluciones líquidas no ideales, exceptuando mezclas poco miscibles.
- NRTL: Aplicable a mezclas multicomponentes. Permite modelar sistemas donde se deben resolver simultáneamente equilibrios líquido-vapor y líquido-líquido
- UNIQUAC (Universal Quasi-Chemical): predice el equilibrio líquido-líquido, líquido-vapor, líquido-líquido-vapor, con un menor número de datos para desarrollar la simulación.
- UNIFAC: Útil para calcular el equilibrio líquido-vapor.⁵¹

1.7.2.3. *Chemsep*. Es un simulador de columna que ayuda para realizar operaciones de destilación, absorción y extracción. Es un modelo que ha estado en constante evolución motivo por el cual ahora posibilita poder usarlo dentro de herramientas de diagrama de flujos.

Alguna de sus características indica que cuenta con velocidad de cálculo incluso trabajando con decenas de compuestos, también logra proporcionar un paquete de herramientas termodinámicos y propiedades físicas, es ideal para estudiantes de ingeniería que no están relacionados con simulación de procesos ya que es un software libre.⁵²

1.7.3. *Modelo Raoult's Law*. Según la ley de Raoult es utilizada para soluciones que se encuentran a presión atmosférica, también se encuentra presente el termino crioscópica del agua.⁵³

El modelo Raoult's Law es un método de sistemas ideal esto es debido a que se debe de considerar las presiones y estas deben de ser bajas para aceptarlo como un sistema ideal, pero hay que tomar en cuenta si los componentes de fase líquida son similares y que no interactúen entre sí.⁵⁴

Este método permite que los componentes de una mezcla binaria se encuentren relacionados, es decir que en cada fase tendrán una composición de cada componente ya sea en fase líquida o en vapor.⁵⁵

2. METODOLOGÍA

2.1 Unidades de análisis

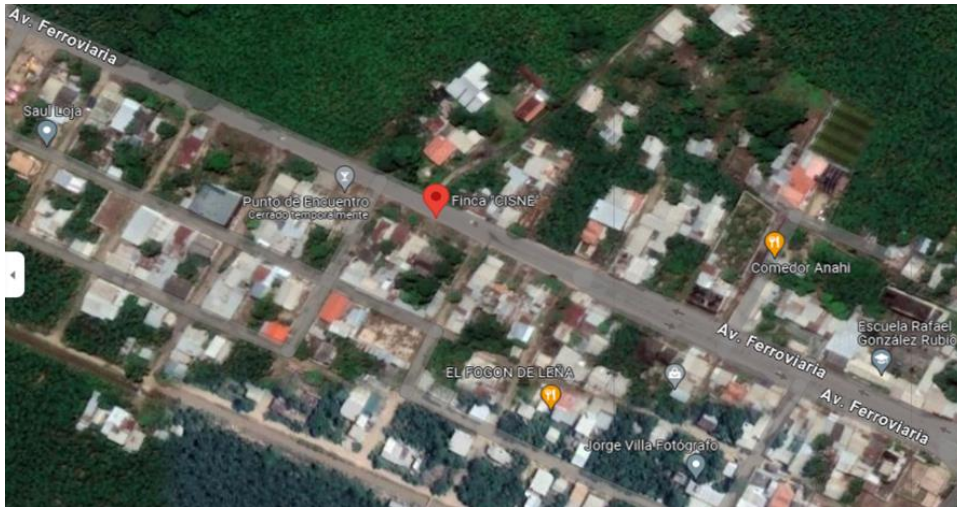
2.1.1 Tipo de Investigación. La investigación tiene un enfoque de diseño experimental y modelo de simulación motivo por el cual los procesos aplicables en la fermentación alcohólica se realizarán recopilando datos de fuentes bibliográficas confiables mediante repositorios universitarios, artículos científicos, y datos obtenidos mediante experimentación considerando que el proceso será a partir de un simulador de esto se considerará el aporte en la resolución presente en la problemática y los objetivos.

En este proyecto se pretende utilizar el software DWSIM para constatar si es viable aplicarlo en la fermentación alcohólica para la obtención de alcohol a partir de la cáscara de banano (Cavendish) siendo esta un residuo orgánico desaprovechado rico en fibras.

2.1.2 Ubicación de estudio. Las muestras recopiladas fueron obtenidas de la hacienda “El Cisne” ubicada en la parroquia El Cambio de la Provincia del El Oro.

La zona de recolección de muestras desciende en territorio orense, para efectuar su respectivo análisis se trasladó a la Universidad Técnica de Machala para efectuar su respectivo estudio.

Ilustración 3. Punto de recolección de la materia prima (cáscara de banano Cavendish)



Fuente: Google Maps

2.1.3 Materia Prima o Muestra. La muestra extraída para este proyecto consistente en la obtención de etanol fue la cáscara de banano Cavendish, ya que posee propiedades de gran interés y de tal manera se contribuye a la disminución de este desecho orgánico dándole un valor agregado para elaborar un producto mismo que consiste en obtener un rendimiento de alcohol adecuado. Para esto se recolecto materia prima de la parroquia “El Cambio” se trabajó con una cantidad de 17.5 kg.

Así, las muestras recolectadas pasaron por un proceso de maduración que consistió en esparcir el fruto en láminas de cartón durante dos semanas, para obtener la materia prima de interés del banano en optimo estado, evitando factores negativos como la humedad y la contaminación.

2.1.4 Variables de proceso.

2.1.4.1. Variable dependiente

- Rendimiento de alcohol

2.1.4.2 Variable independiente

- Cantidad de materia prima
- Temperatura
- Grados Brix
- *Saccharomyces Cervisiae*

2.2 Materiales y Métodos

2.2.1 Materiales e Insumos

Cuadro 1. Materiales e Insumos

| Insumos | Materiales | Equipos de Laboratorio |
|---|--------------------------------|-------------------------------|
| Cascara banano Cavendish | Bidones de Agua de 20 litros | Balanza analítica |
| Levadura <i>Saccharomyces Cervisiae</i> | Trampa de aire | Refractómetro |
| Agua | Cinta | PH-metro |
| | Envases de plástico | Alcoholímetro |
| | Cocineta | Destiladora |
| | Olla | Fraccionada |
| | Bandejas de aluminio | Programa DWSIM |
| | Licuadaora o Trituradora | |
| | Cuchillo | |
| | Tabla de Picar | |
| | Lienzo | |
| | Vaso de precipitación de 100ml | |
| | Probeta | |
| Fuente: Elaboración propia | | |

2.2.2 Métodos

2.2.2.1 Maduración de la materia prima. La maduración se la efectuó por medio del control de coloración del banano, este proceso se lo realizo en un tiempo de dos semanas en donde los bananos verdes fueron esparcidos en una lámina de cartón al aire libre estando en contacto con la luz solar a una temperatura de 25°C hasta llegar a obtener una coloración amarilla lo que indica su nivel de madurez.

2.2.2.2 Fermentación alcohólica. Se realizó un tratamiento de 3 repeticiones haciendo una relación 1:1, usamos 17.5 kilogramos de cáscara de banano con 17.5 litros de agua Para la preparación de la levadura se utilizó una relación de por cada litro de mosto se agrega 3g de levadura y esto dependerá si la proteína de la levadura se encuentra al 100%, en este caso se usó la levadura *Saccharomyces cerevisiae* con un 55% de proteína.

El procedimiento para realizar es el siguiente:

- Seleccionamos bananos dependiendo su estado de maduración, considerando que su cascara se encuentre en buen estado y evitando cualquier contaminación.
- Retiramos las cáscaras de la fruta con cuidado y la colocamos en diferentes bandejas de aluminio evitando el desperdicio de estas.
- Pesamos las cáscaras y la pulpa de banano en balanza.
- Troceamos la cáscara con la ayuda de un cuchillo dándoles un tamaño adecuado para poder triturarlas.
- En una olla se colocó las cáscaras troceadas con agua llevándolas a cocción durante 20 minutos, esto ayudara a desprender la celulosa pegada en su interior.
- Dejamos enfriar a temperatura ambiente en un tiempo de 30 minutos.
- Colocamos las cáscaras en la licuadora o trituradora para el proceso de trituración.

- Pasamos lo triturado al fermentador casero agregándole 180.7 gramos de levadura *Saccharomyces cerevisiae* para su respectiva fermentación.
- Tapamos con cuidado el fermentador sin que exista entrada de aire.
- Dejamos fermentar durante 7 días, en el transcurso se miden los grados brix de manera constante.
- Luego del tiempo de fermentación procedemos a filtrar con un lienzo, esto ayudara a obtener el líquido necesario para su destilación.
- Finalmente, almacenamos el líquido en un bidón sin recibir luz solar.

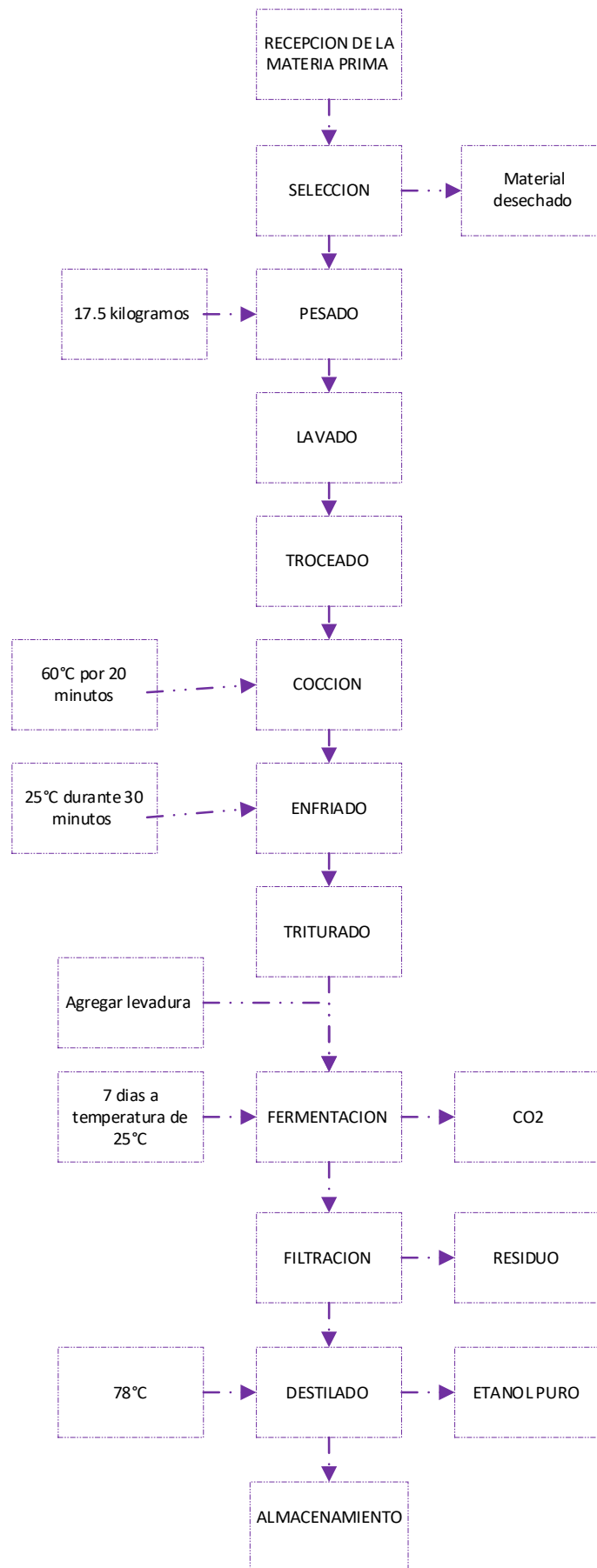


Diagrama de flujo de obtención de etanol a partir de la cáscara de banana

2.2.2.3 *Obtención de bioetanol rectificado.* Para su obtención se ubicó el alcohol filtrado en la columna de destilación fraccionada controlando la temperatura a través del termómetro, cuyas temperaturas deben estar de acuerdo con el punto de ebullición del metanol y etanol. Se inicio con la extracción del metanol a una temperatura de 65°C de acuerdo a su punto de ebullición, posteriormente se procedió con la extracción del etanol tomando muestras de 100 ml a diferentes temperaturas, la primera a una temperatura constante de 78°C que representa el punto de ebullición del etanol representando la cabeza y la muestra de interés, la segunda a una temperatura de 85°C que representa el corazón y por último a una temperatura de 96°C que es la cola para pasar a la determinación correspondiente de los grados de alcohol.

2.2.2.4. *Determinación de grados de alcohol.* Las muestras de 100 ml obtenidas en la destilación fueron colocadas en una tina con agua y hielo hasta que su temperatura llegue a 20°C, después se colocó 90ml de muestra en la probeta para proceder a tomar su temperatura con un termómetro verificando que estén en el rango de temperatura deseada, se añadió el alcoholímetro de densidad para medir el porcentaje de alcohol que tienen las muestras.

2.2.2.5. *Simulador de proceso.* La simulación para el proceso de destilación alcohólica para la obtención de bioetanol a partir de la cáscara de banano fue empleada en el software DWSIM, a través de la aplicación del modelo termodinámico Raoult's Law, cuyos datos a emplearse se recopilaron mediante experimentación, para ello se realizó el cálculo de flujo masico y fracciones molares valor a utilizarse antes de colocar los datos dentro del simulador.

- Cálculo del flujo masico

$$D_{mezcla} = \frac{D_{etanol} + D_{agua}}{2} = \frac{789 \frac{kg}{m^3} + 1000 \frac{kg}{m^3}}{2} = 894.5 \frac{kg}{m^3} = 0.8945 \text{ Kg/L}$$

$$\text{Flujo masico} = \frac{D_{mezcla} * V_{mosto}}{t} = \frac{(0.8945 \frac{kg}{L} * 26L)}{14400 s} = 0.001615 \text{ Kg/s}$$

- Cálculo de las fracciones molares

$$m = d * V = 0.8945 * 26L = 23.257 \text{ Kg}$$

$$M_{etanol} = \frac{\text{brix} * \text{masa de la solución}}{100}$$

$$M_{etanol y agua} = \frac{1.2 * 23.257}{100} = 0.279084 \text{ Kg} = 279.084 \text{ g}$$

$$n_{etanol} = \frac{M_{etanol}}{PM} = \frac{279.084 \text{ g}}{46.068 \frac{g}{mol}} = 6.058 \text{ moles}$$

$$n_{agua} = \frac{M_{etanol y agua}}{PM} = \frac{279.084 \text{ g}}{18 \frac{g}{mol}} = 15.504 \text{ moles}$$

$$x_{etanol} = \frac{n_{etanol}}{n_{etanol} + n_{agua}} = \frac{6.058 \text{ moles}}{6.058 \text{ moles} + 15.504 \text{ moles}} = 0.28$$

$$x_{agua} = 1 - x_{etanol} = 1 - 0.28 = 0.72$$

- *Parámetros para la corriente de entrada*

Tabla 5. Parámetros para la corriente de entrada

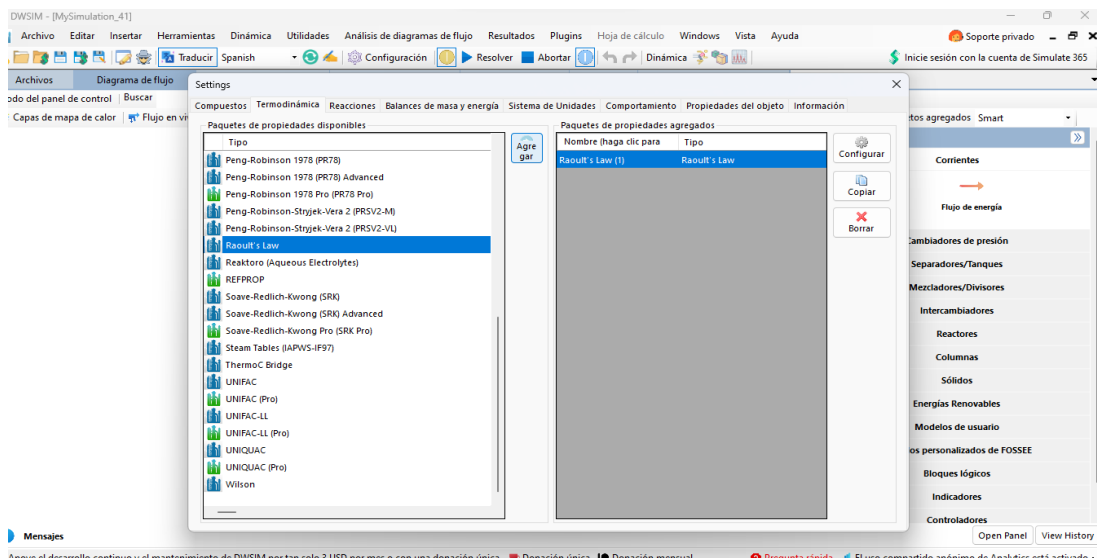
| Parámetros | Valores | Unidades |
|----------------------------|----------|----------|
| Temperatura | 30 | °C |
| Presión | 1 | atm |
| Flujo masico | 0.001615 | kg/s |
| Flujo molar | 0.062427 | mol/s |
| Fracción molar de etanol | 0.28 | |
| Fracción molar de agua | 0.72 | |
| Fuente: Elaboración propia | | |

En la tabla 1 se presentan los parámetros utilizados para la corriente de entrada de nuestra columna de destilación cuyos fueron calculados y obtenidos a través de la experimentación.

- *Modelado de Simulación*

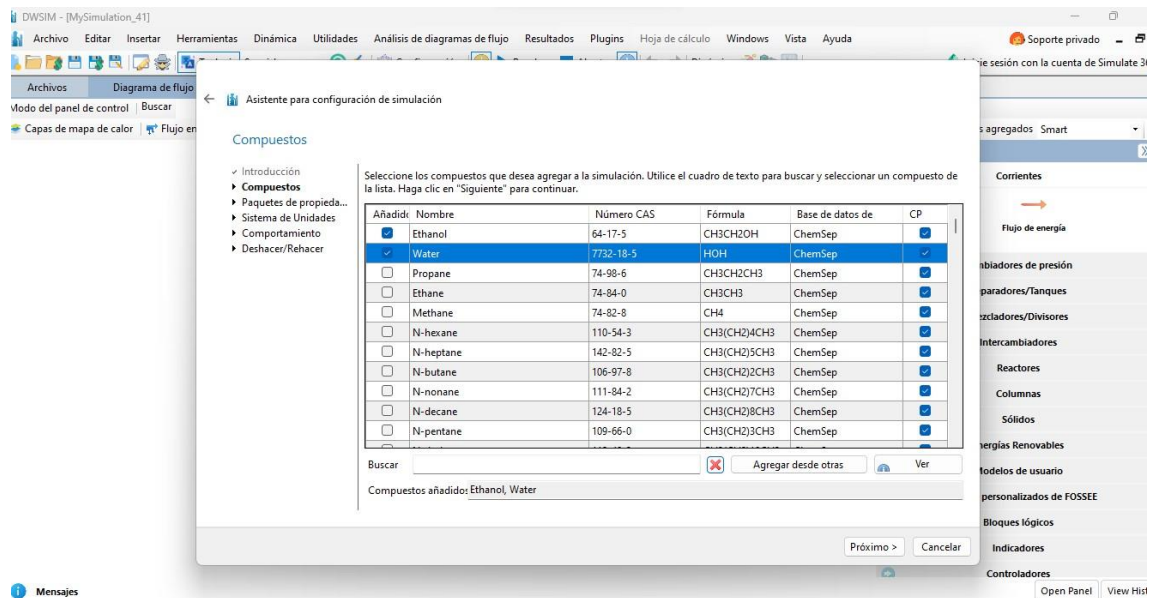
Para iniciar el proceso se parte de la selección del modelo termodinámico en este caso se escogió el modelo termodinámico Raoult's Law ya escogido el modelo se pasará a seleccionar los componentes a utilizar para la simulación.

Figura 1. Selección de modelo termodinámico



Fuente: Elaboración Propia

Figura 2. Selección de componentes químicos DWSIM



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se pasó a seleccionar e insertar las respectivas operaciones unitarias y equipos para la realización del diagrama de simulación en este caso se utilizó una columna de Chemsep conjuntamente con un enfriador, un block de reciclaje y dos válvulas las cuales nos ayudara a realizar su convergencia para asegurar los resultados.

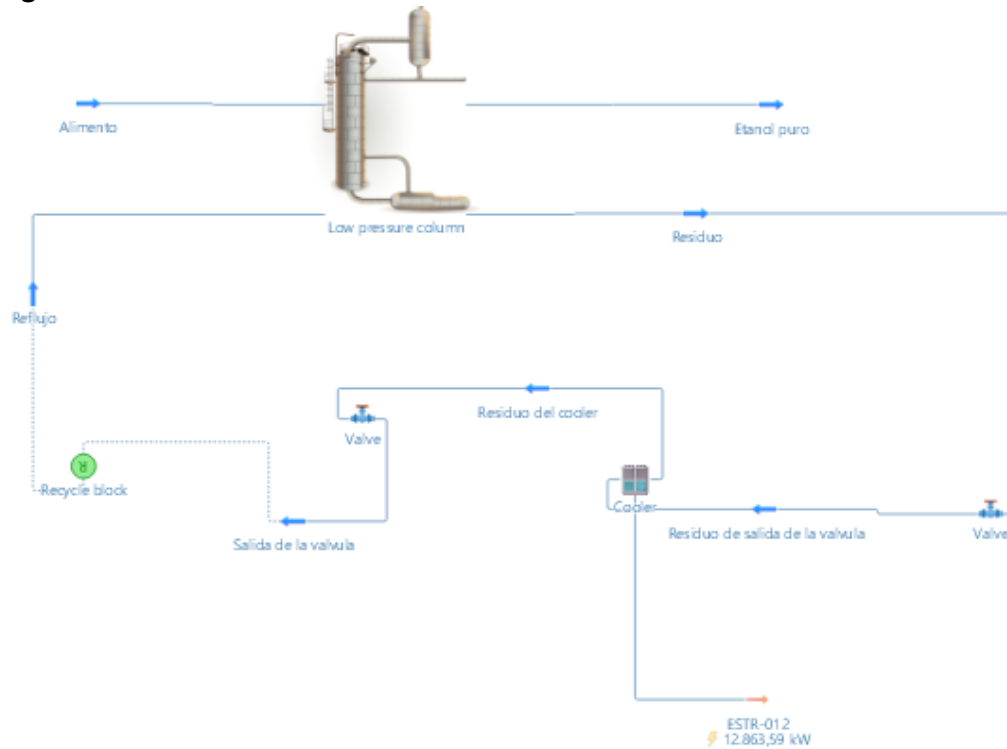
En la columna de destilación Chemsep en la parte superior obtendremos resultado del etanol puro, mientras que en fondo se obtendrá el residuo, pero este se encontrara a pequeñas concentraciones de etanol y agua por lo cual se optó a realizar una recirculación del fondo para obtener la concentración de etanol deseada. A continuación, en la Tabla 2 se mostrarán los parámetros que la columna de destilación

Tabla 6. Parámetros de la columna de destilación Chemsep

| Parámetros | Valores |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| Numero de etapas | 6 |
| Etapas de alimentación | 2 |
| Etapas de Reflujo | 5 |
| Condiciones de alimentación | Temperatura (°C):25 Presión (atm): 1 |
| Presión atmosférica | 1 |
| Eficiencia de la etapa | 0.63 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 3. Diseño de simulación en DWSIM

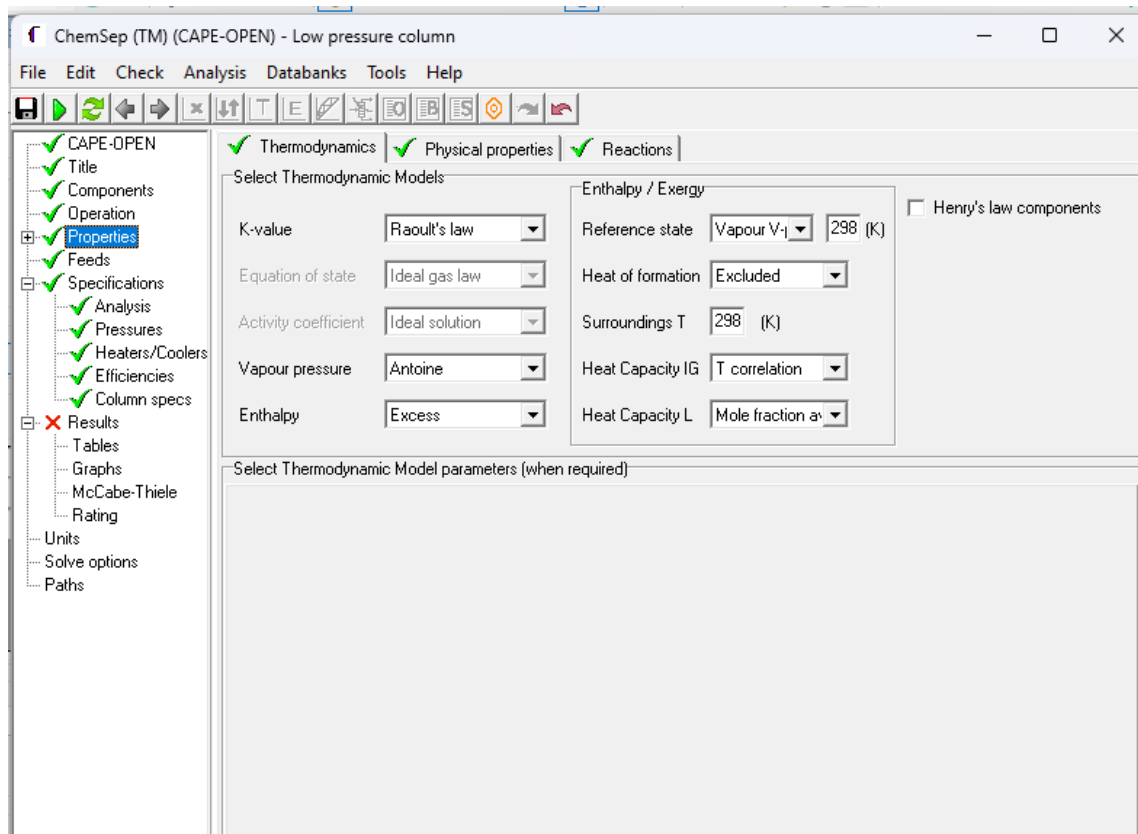


Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Parámetros ingresados en Chemsep de la columna de destilación

Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Modelo termodinámico empleado en la columna de destilación en Chemsep



Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Eficiencia global de diseño de la torre de fraccionamiento basándose en el tipo de proceso.

| Proceso | Tipo de Columna | Eficiencia global de diseño E_D | |
|--------------------|------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| | | Por encima de la alimentación | Por debajo de la alimentación |
| Torres Misceláneas | 2100 kPa abs | | 90–105* |
| | 2800 kPa abs | | 85–100* |
| | – Ciclohexano/n–Heptano | | |
| | 30 kPa abs | | 70–75* |
| | 165 kPa abs | | 80–90* |
| | 245 kPa abs | | 85–95* |
| | – i–Octano/Tolueno | | |
| | 20 kPa abs | | 60–75* |
| | 140 kPa abs | | 75–90* |
| | 240 kPa abs | | 80–95* |
| | – Etanol / Agua | | 60* |
| | – Isopropanol / Agua | | 60–90* |
| | – Despojador de aguas ácidas | | 40* |

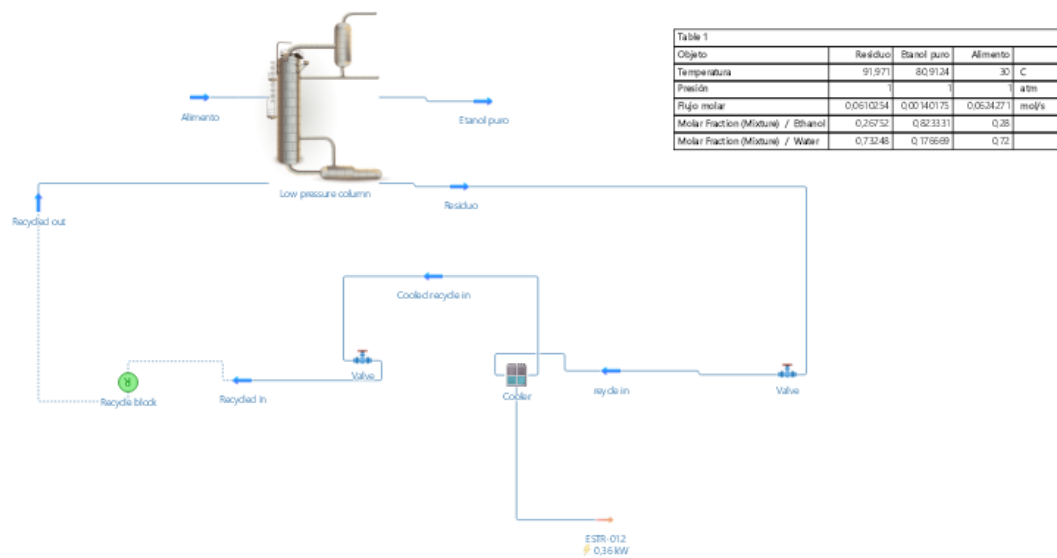
Fuente: PDVSA, 1997⁵⁶

Para la aplicación de los platos de la columna de destilación se basó en la eficiencia global que se emplea para la columna de destilación fraccionada dependiendo su tipo de proceso en este caso nos regimos en el proceso de etanol-agua teniendo una eficiencia del 60%, la eficiencia utilizada fue de 63% utilizando 6 platos teórico marcando un 5% de error en la eficiencia.

- *Validación de la simulación*

Los resultados obtenidos fueron detallados mediante el uso de la tabla de propiedades que ofrece el simulador DWSIM, donde las variables de interés para su validación son la temperatura, fracción molar de etanol y agua y su flujo molar.

Figura 7. Diseño del modelo y tablas de resultado de DWSIM



Fuente: Elaboración propia

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Recolección de la materia vegetal.

Para la parte experimental para la obtención de bioetanol se ocupó 17.5 Kg de cáscara de banano Cavendish.

3.2 Determinación de grados de alcohol.

Se llevo a cabo el análisis cualitativo para obtener los grados de alcohol que se lo obtuvo a partir de la destilación realizada a la cáscara de banano.

Tabla 7. Porcentaje de alcohol obtenido en la destilación

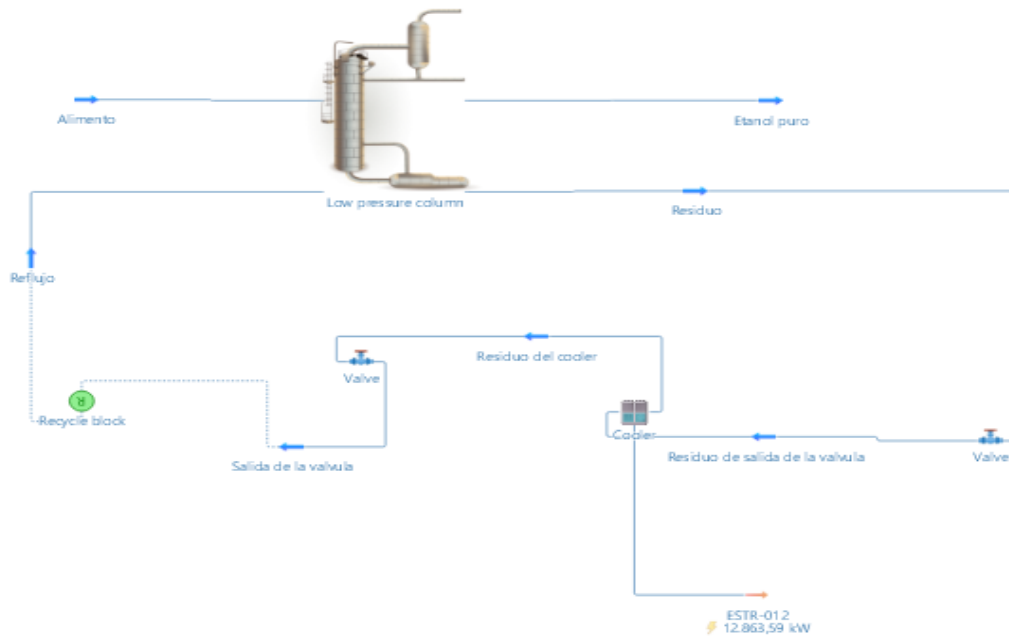
| | Repetición 1 | | | Repetición 2 | | | Repetición 3 | | |
|-----------------|--------------|---------|------|--------------|---------|------|--------------|---------|------|
| | Cabeza | Corazón | Cola | Cabeza | Corazón | Cola | Cabeza | Corazón | Cola |
| T°C | 78.8 | 85 | 96 | 78.8 | 85 | 96 | 78.8 | 85 | 96 |
| %Alcohol | 80 | 20 | 5 | 83 | 63 | 22 | 82 | 40 | 10 |

Fuente: Elaboración propia

3.3 Resultado de la simulación de DWSIM

La siguiente figura se mostrará el diseño de simulación del proceso de obtención de bioetanol a partir de la cascara de banano mediante una torre de destilación fraccionada la cual ha sido llevada a cabo en DWSIM.

Figura 8. Simulación completa del sistema de obtención de bioetanol a partir de la cascara de banano (Cavendish)



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta la tabla de resultado obtenido del programa DWSIM los cuales indican que se obtuvo un valor similar a el valor obtenido en el experimental de esta manera se mostró que el software utilizado es eficiente para la obtención de bioetanol a partir de la cáscara de banano, la validación se la verifíco con el valor de la cabeza que se encontraba a la temperatura del punto de ebullición del etanol.

Tabla 8. Resultados obtenidos en DWSIM

| Objeto | Residuo | Etanol Puro | Alimento | |
|------------------------|----------------|--------------------|-----------------|-------|
| Temperatura | 91.971 | 80.9124 | 30 | C |
| Presión | 1 | 1 | 1 | Atm |
| Flujo molar | 0.0610254 | 0.00140175 | 0.0624271 | Mol/s |
| Fracción molar /Etanol | 0.26752 | 0.823331 | 0.28 | |
| Fracción molar /Agua | 0.73248 | 0.176669 | 0.72 | |

Fuente: Elaboración propia

3.4. Discusión

Mediante la simulación del proceso de destilación para la obtención de bioetanol rectificado a partir de la cáscara de banano Cavendish se lo realizó mediante el modelo termodinámico Ley de Raoult debido a los componentes que se puede utilizar a partir de una disolución ideal brindando de esta manera equipos que aportan en el proceso como la columna de destilación que este interfiere herramientas tales como la válvula, enfriador y el block de recirculación lo cuales aportan para el desarrollo del producto. También se utilizó el Chemsep para los parámetros correspondientes a la destilación fraccionada ayudando a obtener un mayor rendimiento para la obtención de bioetanol.

Chinchay (2021), mediante su proyecto de investigación constato que al utilizar el software DWSIM se logró demostrar que para la obtención de whisky artesanal de maíz se obtuvo el producto requerido ya que cumplió con los parámetros establecidos dentro de la investigación siendo rentable y resultando así una alternativa para ser presentado comercialmente en un mercado de alcohol premium, con esto se puede evidenciar que al efectuarse el simulador DWSIM da resultados eficientes debido a las herramientas que este posee siendo practico su uso.

Ramírez (2019), su investigación realizada determinaron que el uso de las cáscara de banano para la obtención de bioetanol es muy factible debido a las propiedades que posee siendo una fuente potencial de materia para obtención de azúcares para su fermentación dependiendo las condiciones de las misma lo que lo hace factible para su obtención, también indicaron que la levadura utilizada fue la *Saccharomyces Cerevisiae* siendo un buen microorganismo para fermentación alcohólica, con esto se logró evidenciar que la cascara de banano y la levadura *Saccharomyces Cerevisiae* son buenas fuentes para el desarrollo de bioetanol dando como resultado un porcentaje de alcohol alto de 99.9%.

Córdova (2021), mediante el proyecto realizado utilizando el simulador DWSIM para la producción de cerveza artesanal de quinua logro determinar la eficiencia del mismo con las corriente de flujo de etanol obtenidos, contando así con un porcentaje de error del 7.88% lo que indica que el contenido de etanol es cercano esperado previamente, dando un valor de 5.34% de etanol, de tal manera que la similitud en los porcentajes de valor alcohólico obtenidos mediante simulación y desarrollo practico son correctos estableciendo que al trabajar por los dos medios resultara eficiente.

El presente trabajo realizado nos indicó que el simulador DWSIM es eficaz para la obtención de bioetanol a partir de la cascara de banano (Cavendish) dada la recopilación de información proveniente de diferentes investigaciones realizadas para el desarrollo del proceso de destilación determinaron que por medio de la utilización de esta herramienta tecnológica se puede lograr implementar parámetros similares en comparación con datos experimentales, esto dependerá de la cantidad de materia prima a utilizar y los parámetros de operación que se vaya a aplicar en los diferentes equipos durante el diseño de la simulación.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se logró obtener bioetanol rectificado de la cascara de banano (Cavendish), para esto se realizó de manera experimental tres repeticiones para verificar el porcentaje de alcohol que se puede extraer de dicha materia prima, dando así un valor de 80% para la primera repetición, 83% en la segunda y finalmente 82% en la tercera repetición, como se puede constatar mediante experimentación se logró obtener un valor que no varía en cantidad. Cabe mencionar que al ser empleada en el simulador la destilación fraccionada el porcentaje obtenido fue de 82% lo que nos indica que se valida los resultados establecidos.
- Para realizar los procesos involucrados dentro de la destilación fraccionada se utilizó el simulador DWSIM para la obtención del producto requerido el cual consistió en la aplicación del modelo termodinámico Ley de Raoult que se basa en mezclas ideales, de la misma forma se utilizó equipos como la columna de destilación mismo que cuenta con la herramienta de Chemsep el cual consiste en incorporar su sistema de operación donde procederá a trabajar para la respectiva obtención de bioetanol rectificado siendo este el producto deseado.
- El análisis en los resultados del simulador nos indicó que puede existir similitud en los valores obtenidos de manera experimental y mediante el software; dicho esto se logró validar el proceso de destilación, que fue eficiente y aplicable dado a que los porcentajes de alcohol que se obtuvieron fueron óptimos.

4.2 Recomendaciones

- Recolectar y seleccionar adecuadamente de la materia prima a utilizarse para no afectar la obtención de resultados.
- Verificar el grado de maduración correcta de la fruta a utilizar.
- Hacer una correcta selección del modelo termodinámico que permita hacer un análisis de sensibilidad de resultados.
- En los procesos de destilación para realizar el balance de materia siempre se debe considerar sus unidades en fracción molar.
- Indagar sobre la cascara de banano (Cavendish) en proceso de destilación fraccionada, para recopilar información sobre su componentes químicos y propiedades que contiene.
- Analizar sobre el simulador a emplearse de tal forma que se comprenda sobre las herramientas que este brinda para realizar procesos químicos.

BIBLIOGRAFÍA

1. García-Velasco R, Portal-González N, Santos-Bermúdez R, Rodríguez-García A, Companioni-González B. Genetic improvement for resistance to Fusarium wilt in banana. *Revista Mexicana de Fitopatología, Mexican Journal of Phytopathology*. 2020;39(1). doi:<https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2008-2>
2. Gordillo G, Narváez A, Aguilar J, Ferriol F. Desarrollo, producción y análisis de bebidas alcohólicas destiladas empleando diez tipos de frutas autóctonas ecuatorianas. *Polo del Conocimiento*. 2022;7(6):267-280. doi:<https://doi.org/10.23857/pc.v7i6.4073>
3. Tangsriwong K, Lapchit P, Kittijungjit T, Klamrassamee T, Sukjai Y, Laonual Y. Modeling of chemical processes using commercial and open-source software: A comparison between Aspen plus and DWSIM. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol 463. Institute of Physics Publishing; 2020. doi:<https://doi.org/10.1088/1755-1315/463/1/012057>
4. Martínez-Solórzano GE, Rey-Brina JC. Bananas (Musa AAA): Importance, production and trade in Covid-19 times. *Agronomía Mesoamericana*. 2021;32(3):1034-1046. doi:<https://doi.org/10.15517/am.v32i3.43610>
5. Muñoz Naranjo D, Cuenca Poveda C, Banchón Bajaña C, Pazos Galeas G. Valoración de desechos de banano (Masa Acuminata Cavendish Subgroup) y cacao (Theobroma cacao) mediante producción de compost y biol. *3C Tecnología_Glosas de innovación aplicadas a la pyme*. 2020;9(1):17-29. doi:<http://doi.org/10.17993/3ctecno/2020.v9n1e33.17-29>
6. Baptista ALA, Amaral CC, Ribeiro M V. *Estudo Comparativo Da Obtenção de Biodiesel a Partir de Óleo de Mamona Em Laboratório e No Simulador de Processos Químicos DWSIM.*; 2019. doi:<https://doi.org/10.5151/cobecic2019-SOCP28>
7. Chinchay D. *Simulación de Procesos de Obtención de Whisky Artesanal Del Maiz (Zea Mays) Utilizando El Software DWSIM.*; 2022. <https://orcid.org/0000-0002-9202-4151>
8. Caño de las Heras S, Gargalo CL, Weitze CL, Mansouri SS, Gernaey K V., Krühne U. A framework for the development of Pedagogical Process Simulators (P2Si)

- using explanatory models and gamification. *Comput Chem Eng.* 2021;151. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2021.107350>
9. Pérez-Sánchez A, Ranero-González E, Pérez-Sánchez EJ, Maria Segura-Silva R. Simulación del proceso de producción de L-fenilalanina por la ruta fermentativa utilizando el simulador SuperPro Designer ®. *Revista EIA.* 2021;18(35):1-15. doi:<https://doi.org/10.24050/reia.v18i35.1417>
 10. Vásquez-Castillo W, Racines-Oliva M, Moncayo P, Viera W, Seraquive M. Calidad del fruto y pérdidas poscosecha de banano orgánico (*Musa acuminata*) en el Ecuador. *Enfoque UTE.* 2019;10(4):57-66. doi:<https://doi.org/10.29019/enfoque.v10n4.545>
 11. Guzman-Alvarez JA, González-Zuñiga M, Sandoval Fernandez JA, Calvo-Alvarado JC. Uso de sensores remotos en la agricultura: aplicaciones en el cultivo del banano. *Agronomía Mesoamericana.* Published online August 22, 2022:48279. doi:<https://doi.org/10.15517/am.v33i3.48279>
 12. Luis MN, Erazo I, Cyntia S, Diego YI, García AT. *Efecto Del Acetiluro Del Calcio (CaC2) Sobre La Maduración de Fruta En Dos Cultivares de Banano(Musa Acuminata).*; 2021. Accessed March 3, 2024. <https://repositorio.uteq.edu.ec/items/c4a7b582-bf63-4aeb-aa01-99caa89b5cc9>
 13. Carlos Brian Nieto JO, Carlos Rangel J. Sistema de visión artificial para gestión de calidad del Banano Cavendish en etapa de poscosecha Computer vision-based system for quality management of Cavendish Banana in post-harvest stage. *Periodicidad: Semestral.* 2022;8(2):2022.
 14. Guzmán Bortolini N. Aplicación post-cosecha del ácido giberélico como agente retardante de la maduración de banano proveniente del Trópico de Cochabamba. *Journal Boliviano de Ciencias.* 2021;17(Especial):75-85. doi:<https://doi.org/10.52428/20758944.v17iEspecial.8>
 15. Astúa Taylor G, Bonilla Mata M. “*Métodos de Producción de Bioetanol a Partir de La Cáscara Del Banano Como Una Forma de Energía Limpia.*”; 2021. Accessed March 3, 2024. <https://aprenderaemprender.ccca.fin.ec/wp-content/uploads/2021/04/Articulo-GEOVANNA-EXPO-ECUADOR-2021.pdf>
 16. Toala GO, Yhony I, Valverde A, Mg LS. *Elaboración de Ensilaje de Cáscara de Banano (Musa Paradisiaca), Utilización Microorganismo Eficientes .;* 2018.

Accessed March 3, 2024.
<https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/1046?mode=full>

17. Cornejo-Cornejo R. *Valor Nutritivo in Vitro de La Cáscara Musa Paradisiaca L., Pre-Tratada Con Enzima Exógena Xilanasa In Vitro Nutritional Value of the Musa Paradisiaca L. Peel, Pretreated with Exogenous Xylanase Enzyme*. Vol 43.; 2020. <https://orcid.org/0000-0003-3064-4811>,
18. López de la Maza LE, Zumalacárregui de Cárdenas L, Pérez Ones O. Application of principal component analysis to alcoholic fermentation. *Revista Científica de la UCSA*. 2019;6(2):11-19. doi:<https://doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2019.006.02.011-019>
19. Garcia O, Milly N, Castillo B, Chirinos C, Alberto L. Ethanol production from discarded Cucumis melo "melon" of La Hermelinda Market. Trujillo. Perú. *Revista de Investigación y Cultura*. 2022;11(2). doi:<https://doi.org/10.18050/RevUCVHACER.v11n2a6>
20. Quispe Sánchez LM. Obtención de una bebida alcohólica a partir de la fermentación de leche. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*. 2019;1(3). doi:<http://dx.doi.org/10.25127/ucni.v1i3.425>
21. Ivett G, Bedregal V. *Efecto de La Temperatura y Tipo de Levadura Comercial(Saccharomyces Cervisiae) Para La Producción de Alcohol En La Fermentación Del Fruto de La Granada(Punica Granatum).*; 2022. Accessed March 3, 2024. <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/90eb09bd-d3db-4ad7-bbf8-44b97431abe0>
22. Mario Royet Cardona Shaid Javed Salah Pareja J, Sofía Ramírez Wilchez L. *Análisis Compara Entre El Software de Simulación Aspen Hysys y DWSIM: Funcionalidad y Desempeño a Partir de Un Proceso de Obtención de Etanol.*; 2021. www.usbcali.edu.co
23. Adeli M, Mendoza A, Ronald E, Farfán E. *Utilización de Aguas Miel de Café Enriquecidos Con Chancaca Mediante Saccharomyces Cervisiase Para La Obtención de Licor En El Laboratorio.*; 2018. Accessed March 3, 2024. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/28099>
24. Cruz E, Meyer L. Evaluación de la reutilización de levadura Saccharomyces Cervisiae para la implementación en un segundo proceso fermentativo de la

cerveza tipo pale ale berga producida en la cervecera mooshine. Published online 2019:52-55. Accessed March 3, 2024. <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/7607>

25. Estefania Alvarado Vásquez K, Jaime Fabián Vera Chang I. *Fermentación de Cacao (Theobroma Cacao L.) Con Adición de Levadura (Saccharomyces Cervisiae) y Enzima (PPO's) En La Disminución de Metales Pesados.*; 2021. Accessed March 3, 2024. <https://repositorio.uteq.edu.ec/items/e56db538-e935-44fc-9769-52cea5dc25cc>
26. Tuárez Párraga MA, Leonela M, Mero L, et al. *Evaluación de Levadura En La Producción de Etanol a Partir de Melaza de Caña de Azucar.*; 2020. doi:https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v11i2.193
27. María IP, Lisbeth LZ, Claudio LG, Jefferson MZ, Gabriel ZZ. Evaluación del rendimiento de vinagre obtenido de la pulpa de banano (Musa Paradisiaca) mediante fermentación bifásico alcohólica y ácido. *Revista Científica Multidisciplinaria* . 2019;3(5):19-30. doi:<https://doi.org/10.46296/yc.v3i5.0017>
28. Pinzón-Fajardo OR, Hurtado-Nery VL. Producción de proteína unicelular de Saccharomyces cerevisiae con granza de arroz e inclusión en cerdos. *Orinoquia*. 2021;25(1):23-33. doi:<https://doi.org/10.22579/20112629.653>
29. Pérez A, Alfaro P, Escorcía Y. Evaluación de medios de cultivo naturales para el mantenimiento de Colletotricchum sp y Saccharomyces Cervisiae. 2018;23(3):398-405. doi:<https://doi.org/10.22517/23447214.17881>
30. Ivett G, Bedregal V. *Efecto de La Temperatura y Tipo de Levadura Comercial(Saccharomyces Cervisiae) Para La Producción de Alcohol En La Fermentación Del Fruto de La Granada(Punica Granatum).*; 2022. Accessed March 3, 2024. <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/90eb09bd-d3db-4ad7-bbf8-44b97431abe0>
31. Zapata Z, Vanegas D, Rendón J, Velásquez J. Caso de estudio de la destilación etanol-agua en operación continua y discontinua y su simulación con ecuaciones cúbicas de estado y modelos de actividad. *Tecnológicas*. 2022;23(49):223-249. doi:<https://doi.org/10.22430/22565337.1638>

32. Avilés M, Días J. Diseño de una destiladora industrial de alcohol. Published online 2021:41-53. Accessed March 3, 2024. <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/8268/1/PI-001892.pdf>
33. Gordillo G, Narvaéz A, Aguilar J, Ferriol F. Desarrollo, producción y análisis de bebidas alcohólicas destiladas empleando diez tipos de frutas autóctonas ecuatorianas. *Polo Conocimiento*. 2022;7(6):267-280. doi:<https://doi.org/10.23857/pc.v7i6.4073>
34. Parrales J, Villamar M, Guaranda M. Caracterización económica de los productores de aguardiente de la comuna Agua Fría. *Recimundo*. Published online 2022:143-154. doi:[https://doi.org/10.26820/recimundo/6.\(suppl1\).junio.2022.143-154](https://doi.org/10.26820/recimundo/6.(suppl1).junio.2022.143-154)
35. Aramayo E. Elaboración experimental de alcohol etílico a partir del fruto de algarrobo. Published online 2018:48-54. Accessed March 3, 2024. https://handbook.usfx.bo/nueva/Dicyt/Handbooks/Ciencias%20Tecnol%F3gicas%20y%20Agrarias_2/Ciencias%20Tecnol%F3gicas%20y%20Agrarias_Handbook_Vol%20I/PAPERS_25/Ciencias%20tecnologicas%20Handbook_Vol%20I_23.pdf
36. Becerra Chalá JA, Villa Holguín AL. Separation of carvone by batch distillation from the mixture obtained from limonene oxidation. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*. Published online August 24, 2021. doi:<https://doi.org/10.17533/udea.redin.20210848>
37. Costa A, Cerqueira D, Sousa N, Cardoso C. View of Simulation of the extractive distillation process to produce anhydrous ethanol using ethylene glycol as a separating agent. *Research Society and Development*. 2021;10(4). doi:<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i4.14228>
38. Nevárez G, Intriago F, Plua J. Evaluación de las condiciones higiénica sanitarias en la elaboración de alcohol artesanal en Manabí. *La Técnica*. 2021;(25):44-53. doi:<https://doi.org/10.33936/latécnica.v0i25.3160>
39. Gordillo G, Narvaéz A, Aguilar J, Ferriol F. Desarrollo, producción y análisis de bebidas alcohólicas destiladas empleando diez tipos de frutas autóctonas ecuatorianas. *Polo del Conocimiento*. 2022;7(6):267-280. doi:<https://doi.org/10.23857/pc.v7i6.4073>

40. Lamas Y, Armas A, Albernas Y, González E. Análisis preliminar de la fermentación alcohólica utilizando mezclas de jugo de los filtros, miel final y meladura. *Revista Centro Azúcar*. 2023;50(3):1-13. Accessed March 4, 2024. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612023000300035&lng=es&nrm=iso&tlng=es
41. Ivett G, Bedregal V. *Efecto de La Temperatura y Tipo de Levadura Comercial(Saccharomyces Cervisiae) Para La Producción de Alcohol En La Fermentación Del Fruto de La Granada(Punica Granatum).*; 2022. Accessed March 4, 2024. <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/90eb09bd-d3db-4ad7-bbf8-44b97431abe0>
42. Avilés M, Días J. Diseño de una destiladora Industrial de alcohol. Published online 2021:41-53. Accessed March 4, 2024. <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/8268/1/PI-001892.pdf>
43. Jácome-Pilco C, Azogue-Poaquiza C, Ramos-Escobar B, Escobar-Barragán C, Bayas-Morejón I. Bacterias contaminantes en el proceso de producción de alcohol etílico . 593 *Digital Publisher CEIT*. 2023;8(3):58-71. doi:<https://doi.org/10.33386/593dp.2023.3.1701>
44. Macias Mendoza AM, Pérez Parra JC, Torres Puentes JC. Pasado, presente y perspectiva del bioetanol en Ecuador. *Ciencia UNEMI*. 2022;15(40):38-51. doi:<https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol15iss40.2022pp38-51p>
45. Sosa Cabrera E. Alternativas bioenergéticas de los residuos sólidos urbanos: panorama en México. *Letras Verdes Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*. 2022;(31):59-76. doi:<https://doi.org/10.17141/letrasverdes.31.2022.5086>
46. Durán-García ME, Ruiz-Navas RA. Simulator of thermodynamic properties in the conversion of forest biomass of pine sawdust. *Maderas: Ciencia y Tecnología*. 2020;22(3):347-364. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2020005000309>
47. Navarro Pérez DJ, Moreno Díaz JC, Simeone Barrientos PA. Emergency remote teaching in process simulation using DWSIM: a case study from DIQ-UMAG, Chilean Patagonia. *Scientia et Technica*. 2022;27(2):130-140. doi:<https://doi.org/10.22517/23447214.25065>

48. Barroso LE, Tobío-Pérez I, Cardero AA, Piloto-Rodríguez R. DWSim simulation of biodiesel production and gasification from *Jatropha curcas* biomass. *Afinidad*. 2023;80(598):67-78. doi:<https://doi.org/10.55815/413410>
49. Cando M. *Simulación de Una Planta Industrial Para La Producción de Dimetil Éter Por Deshidratación de Metanol Mediante El Uso de DWSIM.*; 2021. Accessed March 4, 2024. dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16792
50. Pino A. *Simulación y Validación de Un Proceso Para La Obtención de Etanolaminas.*; 2021. Accessed March 7, 2024. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/16804/1/96T00715.pdf>
51. Herrera J. *Simulación de Un Proceso de Producción de Biodiesel a Partir de Aceite de Palma Mediante Software DWSIM.*; 2021. Accessed March 4, 2024. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16785>
52. Macas A. *Validación Del Cálculo de Una Red de Aire Comprimido, Mediante El Software de Código Abierto DWSIM y Hojas de Cálculo.*; 2021. Accessed March 7, 2024. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/29318>
53. Sebastián S, Ceballos-Peñaloza AM, Gutiérrez-Mosquera LF. Evaluación de los parámetros del proceso de congelación para la pulpa de Açaí. *TecnoLógicas*. 2019;22(46):25-38. doi:<https://doi.org/10.22430/22565337.1117>
54. Zapata Benabithe Z, Vanegas D, Rendon Montoya JC, Velásquez JA. Caso de estudio de la destilación etanol-agua en operación continua y discontinua y su simulación con ecuaciones cúbicas de estado y modelos de actividad. *TecnoLógicas*. 2020;23(49):223-249. doi:<https://doi.org/10.22430/22565337.1638>
55. Orta A. *Análisis de Datos Experimentales de Equilibrio Líquido Vapor de Sistemas Bifásicos Por Medio de La Aplicación de Diversos Modelos Termodinámicos.*; 2022.
56. PDVSA. *Manual de Diseño de Proceso.*; 1983.

ANEXOS

ANEXO A. Recepción y selección de la materia prima



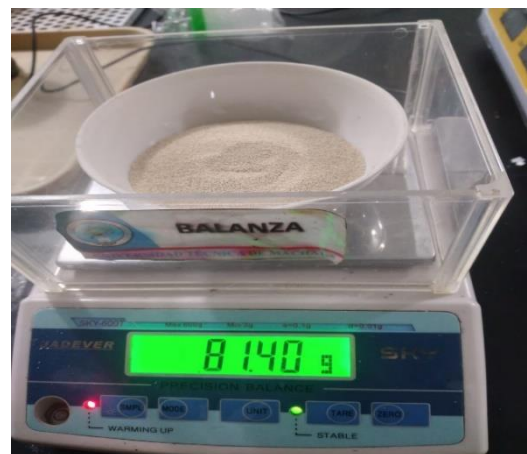
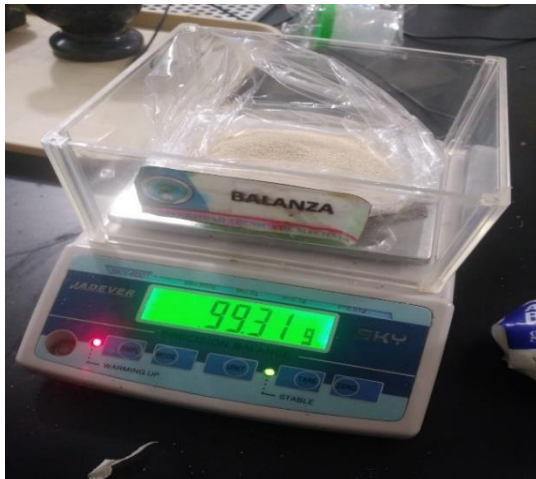
ANEXO B. Troceado de la materia prima



ANEXO C. Triturado y licuado de la materia prima



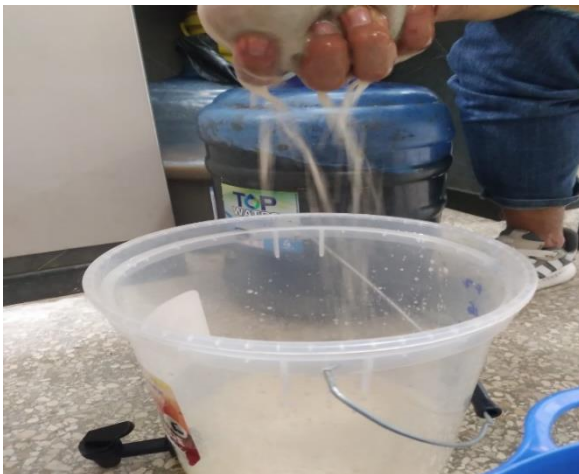
ANEXO D. Presado y colocación de la levadura



ANEXO E. Fermentado



ANEXO F. Filtración y obtención del mosto



ANEXO G. Destilación y obtención de etanol



ANEXO H. Determinación de los grados de alcohol

