



## **UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR**

**Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente**

**Carrera de Agroindustria**

**Tema:**

APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS BIOMÁSICOS DE TRES  
VARIEDADES DE BANANO (CÁSCARAS) EN LA OBTENCIÓN DE ALCOHOL  
ETÍLICO.

**Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero  
Agroindustrial, otorgado por la Universidad Estatal de Bolívar, a través de la  
Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, Carrera  
de Agroindustria.**

**Autores**

Cristian Stalin Asas Chimborazo

Byron Fernando Navarro Merino

**Tutor**

Ing. Juan Alberto Gaibor Chávez PhD.

**Guaranda – Ecuador**

**2023**

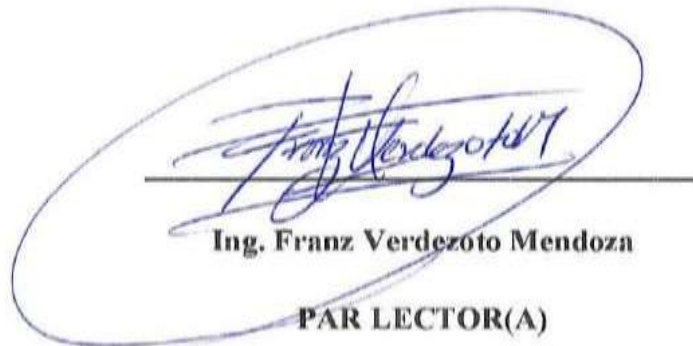
APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS BIOMÁSICOS DE TRES  
VARIEDADES DE BANANO (CÁSCARAS) EN LA OBTENCIÓN DE  
ALCOHOL ETÍLICO.

**REVISADO Y APROBADO POR:**



**Ing. Juan Alberto Gaibor Chávez PhD.**

**TUTOR**



**Ing. Franz Verdezoto Mendoza**

**PAR LECTOR(A)**



**Dra. Herminia Sanaguano Salguero PhD.**

**PAR LECTOR (A)**



### CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Asas Chimborazo Cristian Stalin, con C.I. 1805095484, y Byron Fernando Navarro Merino, con C.I. 0503455461 declaramos que el trabajo y los resultados presentados en este informe, no han sido previamente presentados para ningún grado o calificación profesional; y que las referencias bibliográficas que se incluyen han sido consultadas y citadas con su respectivo autor(es).

La Universidad Estatal de Bolívar, puede hacer uso de los derechos de publicación correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, su Reglamentación y la Normativa Institucional vigente.

---

Cristian Stalin Asas Chimborazo

C.I. 1805095484

---

Byron Fernando Navarro Merino

C.I. 0503455461

---

Ing. Juan Alberto Gaibor Chávez PhD.

C.I. 0201051687



*Notaria Tercera del Cantón Guaranda*

*Msc. Ab. Henry Rojas Narvaez*

*Notario*

No. ESCRITURA 20230201003P01783



**DECLARACION JURAMENTADA OTORGADA POR:**

CRISTIAN STALIN ASAS CHIMBORAZO Y  
BYRON FERNANDO NAVARRO MERINO  
FACTURA: 001-002-000011891  
DI: 2 COPIAS

En la ciudad de Guaranda, capital de la provincia Bolívar, República del Ecuador, hoy día tres de agosto de dos mil veintitrés, ante mi Abogado HENRY ROJAS NARVAEZ, Notario Público Tercero del Cantón Guaranda, comparecen los señores CRISTIAN STALIN ASAS CHIMBORAZO, casado, domiciliado en el sector Santa Rosa de la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua y de paso por este lugar, con celular número 0987325116, correo electrónico [cristianpj1998@gmail.com](mailto:cristianpj1998@gmail.com), BYRON FERNANDO NAVARRO MERINO, soltero, domiciliado en Guaytacama barrio Pupaná Norte de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi y de paso por este lugar, con celular número 0984680851, con correo electrónico [fnavarro.fn94@gmail.com](mailto:fnavarro.fn94@gmail.com), por sus propios derechos. Los comparecientes son de nacionalidad ecuatoriana, mayores de edad, hábiles e idóneos para contratar y obligarse a quienes de conocerlos doy fe en virtud de haberme exhibido sus documentos de identificación y con su autorización se ha procedido a verificar la información en el Sistema Nacional de Identificación Ciudadana, bien instruidos por mí el Notario con el objeto y resultado de esta escritura pública a la que procede libre y voluntariamente, advertidos de la gravedad del juramento y las penas de perjurio, me presentan su declaración Bajo Juramento que dicen: **DECLARAMOS QUE EL PRESENTE PROYECTO DE TITULACIÓN DENOMINADO "APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS BIOMÁSICOS DE TRES VARIETADES DE BANANO (CÁSCARAS) EN LA OBTENCIÓN DE ALCOHOL ETÍLICO"**, previo la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial, a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, de la Universidad Estatal de Bolívar, es de nuestra autoría, este documento no ha sido previamente presentado por ningún grado de calificación profesional y que las referencias bibliográficas que se incluyen han sido consultadas por los autores. Es todo cuanto podemos declarar en honor a la verdad, la misma que la hacemos para los fines legales pertinentes. HASTA AQUÍ LA DECLARACIÓN JURADA. La misma que queda elevada a escritura pública con todo su valor legal. Para el otorgamiento de la presente escritura pública se observaron todos los preceptos legales del caso, leída que le fue a la compareciente por mí el Notario en unidad de acto, aquella se afirma y se ratifica de todo lo expuesto y firma conmigo en unidad de acto, quedando incorporado al protocolo de esta Notaria, la presente declaración, de todo lo cual doy fe.-

CRISTIAN STALIN ASAS CHIMBORAZO  
C.C. 180509548-4

BYRON FERNANDO NAVARRO MERINO  
C.C. 0503455461



AB. HENRY ROJAS NARVAEZ  
NOTARIO PUBLICO TERCERO DEL CANTON GUARANDA

### Document Information

---

Analyzed document	TESIS ASAS NAVARRO 27 JULIO (Autoguardado).docx (D172451867)
Submitted	2023-07-30 00:22:00
Submitted by	jgaibor
Submitter email	jgaibor@ueb.edu.ec
Similarity	4%
Analysis address	jgaibor.ueb@analysis.arkund.com

### Sources included in the report

---

### Entire Document

---

### Hit and source - focused comparison, Side by Side

---

Submitted text	As student entered the text in the submitted document.
Matching text	As the text appears in the source.



Ing. Juan Alberto Gaijbor Chávez PhD.

e-mail: jgaibor@males.ueb.edu.ec

**TUTOR**

## **DEDICATORIA**

La presente tesis va dedicada principalmente a Dios ya que sin él no hubiese sido posible llegar hasta esta etapa de mi carrera. A mis queridos padres Gilberto Asas y Segunda Chimborazo quienes con sus bendiciones han sido mi mayor motivación para nunca rendirme en mis estudios pues siempre tuvieron confianza en mí y no les defraude. A mi querida esposa Cynthia por haber sido un pilar fundamental, ya que juntos tenemos un apoyo mutuo, para lograr nuestras metas propuestas. Todos ellos siempre estuvieron brindándome su apoyo incondicional y me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos, con sus consejos para ser una mejor persona y saber sobresalir en la vida.

**Cristian**

El presente trabajo de investigación va dedicado a Dios que me dio el conocimiento necesario para adquirir los conocimientos que nos impartían nuestros queridos docentes a mis queridos padres Carlos Navarro y Rosario Merino que hicieron todos los modos posibles para llegar a estas instancias de mi carrera, además a cada uno de mis seres queridos a mi esposa y mi hijo que estuvieron ahí siempre apoyándome, a mis hermanos quienes han sido un apoyo incondicional para llegar a ser un profesional.

**Byron**

## **AGRADECIMIENTO**

En este presente trabajo agradecemos a Dios porque nos dio el don de la perseverancia y la sabiduría para cumplir nuestras anheladas metas, a pesar de los momentos difíciles de la vida.

De manera especial a nuestros amados padres por enseñarnos a ser mejores personas en la vida ya que con la ayuda de sus consejos y su apoyo incondicional nos ayudaron y motivaron para poder culminar nuestra etapa universitaria.

También a nuestra querida alma mater y profesores por prestarnos sus servicios y sus conocimientos que adquirimos durante los 5 años de la vida universitaria, también a nuestros compañeros que el transcurso de este periodo hemos compartido tristezas y alegrías convirtiéndose así en nuestra segunda familia.

De la misma manera agradecemos al Departamento de Investigación y vinculación de la Universidad Estatal de Bolívar, a Uds. Ing. Erika Cortez, Ing. María Fernanda Quinteros y a todos los integrantes que forman parte de esa área investigativa, de una u otra manera nos ayudaron y motivaron a desarrollar este trabajo de investigación y a no desmotivarnos.

Y por último a nuestra querida carrera de Ingeniería Agroindustrial por permitirnos ser partícipes de su aprendizaje y lograr cumplir nuestros sueños en culminar la carrera, de la misma manera al tribunal que estuvieron conformados por los siguientes integrantes: Dr. Juan Gaibor Chávez PhD. (tutor), Dra. Herminia Sanaguano, PhD. (par-evaluador), ING. Franz Verdezoto (par-evaluador) por tener paciencia en guiarnos y darnos las facilidades en cumplir este anhelado proyecto.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDO	PÁG.
CAPÍTULO I	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. PROBLEMA	3
1.3. OBJETIVOS	5
1.3.1. Objetivo general	5
1.3.2. Objetivos específicos	5
1.4. HIPÓTESIS	6
1.4.1. Hipótesis Nula ( $H_0$ )	6
1.4.2. Hipótesis Alternativa ( $H_a$ )	6
CAPÍTULO II	7
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Banano ( <i>Musa sp.</i> )	7
2.1.1. Clasificación taxonómica	7
2.1.2. Variedades de estudio del banano	8
2.2. Cáscara del banano	9
2.2.1. Contenido físico-químico de la cáscara de banano	9
2.2.2. Uso de la cáscara de banano	10
2.2.3. Producción de banano y cáscara de banano en toneladas métricas	11
2.2.4. Cantidad de desechos de cáscara de banano en Ecuador	12
2.2.5. Residuos biomásicos de cáscara de banano	12
2.3. Obtención del etanol a partir de la cáscara de banano	13
2.3.1. Bioetanol	13
2.3.2. Característica del bioetanol	14
2.3.3. Tipos de alimentos para la obtención del bioetanol	14
2.3.4. Composición del bioetanol	14
2.3.5. Etapas y actividades en la obtención de bioetanol a partir de desechos biomásicos	15



2.3.6.	Para la obtención de bioetanol a partir de las cáscaras enumeramos el siguiente procedimiento	15
2.3.6.1.	Preparación o adecuación de la materia prima	16
2.3.6.2.	Pre-tratamiento de la materia prima	16
2.3.6.3.	Eliminación de lignina	17
2.3.6.4.	Hidrólisis ácida	17
2.3.6.5.	Centrifugación	18
2.3.6.6.	Obtención del jarabe rico de glucosa	18
2.3.6.7.	Fermentación alcohólica	18
2.3.6.8.	Destilación simple	19
2.3.6.9.	Destilación fraccionaria	20
2.4.	Cinética de reacción al procesamiento agroindustrial en la obtención de bioetanol	21
2.5.	Modelo matemático del proceso	22
2.6.	Cromatografía de gases	24
2.7.	Calidad del bioetanol	24
2.7.1.	Calidad del bioetanol como combustible	25
CAPÍTULO III		26
3.	MARCO MÉTODOLÓGICO	26
3.1.	Ubicación y características de la investigación	26
3.1.1.	Localización de la investigación	26
3.2.	Metodología	27
3.2.1.	Material experimental	27
3.2.1.1.	Material de oficina	27
3.2.1.2.	Materiales de laboratorio	27
3.2.1.3.	Reactivos	27
3.2.1.4.	Equipos	28
3.2.2.	Factores de estudio	29
3.2.3.	Tratamientos	29
3.2.3.1.	Características del experimento	30

3.2.4.	Tipo de diseño experimental	30
3.2.5.	Caracterización de las cáscaras de banano	32
3.2.5.1.	Análisis físico - químico	32
3.2.5.2.	Análisis proximal	32
3.2.5.3.	Análisis elemental	33
3.2.5.4.	Análisis estructural	33
3.2.5.5.	Concentración de glucosa (g/l)	37
3.2.5.6.	Rendimiento del alcohol	37
3.2.5.7.	Concentración de Bioetanol (%)	37
3.2.6.	Cinética de reacción	38
CAPÍTULO IV		39
4.1.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
4.1.1.	Análisis físicos y químicos de los residuos biomásicos de las tres variedades de banano	39
4.1.2.	Análisis físico - químicos	39
4.1.3.	Análisis proximal	40
4.1.4.	Análisis elemental	40
4.1.5.	Análisis químico	41
4.2.	Combinación de residuos biomásicos para la obtención de jarabe rico en glucosa	42
4.2.1.	Contenido de glucosa	42
4.2.2.	Análisis de varianza de la variable concentración de glucosa	43
4.2.3.	Análisis de Varianza de la variable del rendimiento	54
4.3.	Proceso para la obtención de alcohol etílico	60
4.3.1.	Proceso de destilación simple	60
4.3.2.	Proceso de destilación fraccionada	61
4.4.	Cinética de reacción que tiene el procesamiento agroindustrial en la obtención de alcohol (Contenido de bioetanol)	61
4.4.1.	Modelamiento matemático	61
4.4.2.	Modelos matemáticos	66

4.4.3. Congéneres por cromatografía de gases	66
4.5. Comprobación de la hipótesis	69
CAPÍTULO V	70
5.1. CONCLUSIONES	70
5.2. RECOMENDACIONES	71
BIBLIOGRAFÍA	72
ANEXOS	77

## ÍNDICE DE TABLAS

N°	Detalle	Pág.
1	Clasificación taxonómica.....	7
2	Contenido físico-químico de las tres variedades de banano.....	8
3	Contenido físico-químico de las tres variedades de cáscara de banano.....	10
4	Producción de banano y cáscara de banano en toneladas métricas.....	11
5	Características físico-químico del bioetanol.....	15
6	Modelos matemáticos.....	22
7	Aspectos generales del territorio.....	26
8	Equipos utilizados en la investigación.....	28
9	Factores de estudio.....	29
10	Tratamientos experimentales.....	30
11	Características del experimento.....	30
12	Modelo de Análisis de Varianza (ANOVA).....	31
13	Resultados del análisis físicas - químicas de las tres variedades.....	39
14	Resultados del análisis proximal entre variedades.....	40
15	Resultados del análisis elemental entre variedades.....	40
16	Resultados del análisis químico entre variedades.....	41
17	Contenido de glucosa estado maduro.....	42
18	Contenido de glucosa estado maduro pasado.....	43
19	Análisis de varianza para la variable glucosa.....	44
20	Prueba de rangos múltiples del factor A de la variable glucosa.....	45
21	Prueba de rangos múltiples % Glucosa por A.....	45
22	Prueba de rangos múltiples del factor B de la variable glucosa.....	46
23	Prueba de rangos múltiples % Glucosa por B.....	46
24	Análisis de varianza para la variable alcohol etílico.....	48
25	Prueba de rangos múltiples del factor A de la variable alcohol etílico.....	49
26	Prueba de rangos múltiples % Alcohol por A.....	49
27	Prueba de rangos múltiples del factor B de la variable alcohol etílico.....	50

28	Prueba de rangos múltiples % Alcohol por B .....	50
29	Prueba de rangos múltiples del factor C de la variable alcohol etílico .....	51
30	Prueba de rangos múltiples % Alcohol por C .....	51
31	Análisis de varianza para la variable del rendimiento .....	54
32	Prueba de rangos múltiples del factor A de la variable de rendimiento.....	55
33	Prueba de rangos múltiples % de rendimiento por A.....	55
34	Prueba de rangos múltiples del factor B de la variable de rendimiento.....	56
35	Prueba de rangos múltiples % de rendimiento por B .....	57
36	Prueba de rangos múltiples del factor C de la variable de rendimiento.....	57
37	Prueba de rangos múltiples % de rendimiento por C .....	58
38	Proceso de destilación simple .....	60
39	Proceso de destilación fraccionada .....	61
40	Valores obtenidos del °Brix .....	62
41	Modelos matemáticos.....	63
42	Modelos matemáticos.....	64
43	Modelos matemáticos.....	65
44	Compuestos volátiles del alcohol etílico de las cáscaras de banano .....	68
45	Resultados del análisis de cromatografía de gases.....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

N°	Detalle	Pág.
1	Banano ( <i>Musa sp.</i> ) .....	7
2	Cáscara del banano ( <i>Musa sp.</i> ).....	9
3	Montaje de destilación simple.....	19
4	Montaje de destilación fraccionaria .....	20
5	Proceso de producción de etanol a escala de laboratorio .....	21
7	Medias de factor A de la variable glucosa .....	44
8	Medias de factor B de la variable glucosa .....	45
9	Interacción de los niveles del factor AxB de glucosa .....	46
10	Interacción de los niveles del factor AxC de glucosa .....	47
11	Medias de factor A de la variable alcohol.....	48
12	Medias de factor B de la variable alcohol.....	50
13	Medias de factor C de la variable alcohol.....	51
14	Interacción de los niveles del factor AxB de alcohol.....	52
15	Interacción de los niveles del factor AxC de alcohol.....	53
16	Interacción de los niveles del factor BxC de alcohol.....	53
17	Medias de factor A de la variable del rendimiento .....	55
18	Medias de factor B de la variable del rendimiento .....	56
19	Medias de factor B de la variable del rendimiento .....	57
20	Interacción de los niveles del factor AxB de rendimiento .....	58
21	Interacción de los niveles del factor AxC de rendimiento .....	59
22	Interacción de los niveles del factor BxC de rendimiento .....	59
23	Comparación de modelos matemáticos en relación a los °Brix.....	66

## ÍNDICE DE ANEXOS

N°	Detalle
1	Mapa de ubicación de la investigación
2	Presupuesto
3	Análisis físico de las tres variedades
4	Análisis químico
5	Análisis estructural
6	Análisis de cromatografía
7	Obtención de la materia prima
8	Práctica
9	Glosario de términos

## RESUMEN

El presente proyecto busca promover la reducción de residuos orgánicos que afecta al ecosistema a fin de optar por la fabricación bioenergía que reemplace parcialmente estos recursos, es así que tiene como objetivo principal el aprovechar los residuos biomásicos de la cáscara del banano (*Musa sp.*), en la obtención de alcohol etílico. Y entre sus metas específicas fueron la caracterización física y química de la materia prima (cáscaras), la mejor combinación de residuos biomásicos para el método más efectivo de destilación de la conversión de glucosa a etanol y la cinética de reacción que tiene el procesamiento agroindustrial. Se realizó una revisión sistemática en base a la materia prima (cáscara), fermentación alcohólica del etanol a través de la destilación simple y fraccionada, la maceración como método de ablandamiento de la cáscara, para la determinación del porcentaje de los compuestos químicos constituyentes del alcohol etílico obtenido y modelos matemáticos que se pueden aplicar dentro del proceso de destilación. La parte experimental se realizó en el Laboratorio de investigación de la Universidad Estatal de Bolívar. Se empleó un diseño en arreglo factorial  $A \times B \times C$  ( $3 \times 2 \times 2$ ), con tres repeticiones, donde los factores de estudio fueron variedades de banano con tres niveles (Barraganete, Seda y Orito), grado de madurez con dos niveles (maduro y maduro pasado), concentración de ácido sulfúrico con dos niveles (1 y 2%). Se aplicó la destilación simple y fraccionada, previo a un proceso de maceración de 8 y 12 horas de cáscara de banano, el tiempo de destilación fue de 120 minutos. Las variables de respuesta fueron glucosa, alcohol, y rendimiento del alcohol.

*Palabras clave:* Residuos biomásicos, alcohol etílico, *Musa sp.*, destilación simple, glucosa.



## SUMMARY

This project seeks to promote the reduction of organic waste that affects the ecosystem in order to opt for bioenergy manufacturing that partially replaces these resources, so its main objective is to take advantage of the biomass residues of the banana peel (*Musa* sp.), in obtaining ethyl alcohol. And among its specific goals were the physical and chemical characterization of the raw material (peels), the best combination of biomass residues for the most effective method of distillation for the conversion of glucose to ethanol, and the reaction kinetics of agro-industrial processing. A systematic review was carried out based on the raw material (shell), alcoholic fermentation of ethanol through simple and fractional distillation, maceration as a method of softening the shell, to determine the percentage of chemical compounds that constitute the ethyl alcohol obtained and mathematical models that can be applied within the distillation process. The experimental part was carried out in the Research Laboratory of the State University of Bolívar. A design in factorial arrangement  $A \times B \times C$  ( $3 \times 2 \times 2$ ) was used, with three repetitions, where the study factors were banana varieties with three levels (Barraganete, silk and Orito), degree of maturity with two levels (mature and past ripe), sulfuric acid concentration with two levels (1 and 2%). Simple and fractional distillation was applied, prior to a maceration process of 8 and 12 hours of banana peel, the distillation time was 120 minutes. Response variables were glucose, alcohol, and alcohol yield.

*Key words:* Biomasic residues, ethyl alcohol, *Musa* sp., simple distillation, glucose.

# CAPÍTULO I

## 1.1. INTRODUCCIÓN

Actualmente la presencia de residuos sólidos orgánicos es una problemática que afecta al ecosistema, por lo que se buscado una solución para esta problemática que se evidencia a partir de los años ochenta. Se evita la explotación de recursos no renovables, así como el agotamiento de estos recursos y de las emisiones de los gases de invernadero; se toma como opción fabricar bioenergía que reemplace parcialmente estos recursos. Así indica Chávez (2019) que al producir energía con residuos orgánicos permitirá valorar al medio ambiente, igualdad colectiva y la sustitución parcial de derivados del petróleo.

Es así como se evidencia en varias partes del mundo que se busca una productividad de bioetanol como una variedad de combustibles no fósiles, de acuerdo a De la Cerna (2018) hoy en día existen varias tecnologías viables y comerciales que permiten su producción inicialmente en países pioneros como Brasil y EE-UU. Así determina igualmente Garay (2018) que la producción de este combustible se puede hacer a nivel industrial dado que diferentes países generan la materia prima originariamente de residuos orgánicos como la caña de azúcar y maíz, así como de otro tipo de alimentos y sin tener conocimiento de su reutilización se puede empezar a aplicar para la producción de bioetanol.

En América Latina existe un desconocimiento sobre el aprovechamiento de los residuos orgánicos, así como la efectividad de su uso, con métodos apropiados para la adquisición y caracterización de sustancias de valor agregado, de mayor calidad e inocuidad. Porque la disposición inadecuada provocará cambios en los recursos no biológicos, biológicos y socioeconómicos, llegando incluso a generar pérdidas económicas para las empresas; dificultar su eliminación es el principal problema que se manifiesta en la gestión de la producción (Vargas y Pérez, 2018, p. 73).

Para nuestro país, los biocombustibles se consideran una fuente de energía alternativa en la industria del transporte, con un 5% de bioetanol en las gasolinas y un 10% de biodiesel en los combustibles diésel que se utilizan. Con el que se logre así estos objetivos, tanto en la producción nacional de bioetanol como de biodiesel, aumenta significativamente en el desarrollo acelerado de estos cultivos alternativos para la caña de azúcar como productora de etanol combustible (Pérez et al., 2017, p. 32-33).

Las principales fuentes de biocombustibles son los cereales, el jugo de caña de azúcar, también lignocelulosa en el cultivo de alimentos, como cereales, bolsas, desechos forestales, desechos orgánicos e inorgánicos y otros beneficios energéticos (De la Cerna, 2018; Gómez, 2019). Siendo que se puede mezclar con gasolina, se recomienda una mezcla del 10 al 25% para mejorar sus propiedades, ya que produce un octanaje de 70 a 75, que es superior al de la gasolina sin mezclar. La mezcla de gasolina y etanol permite una mayor compresión en el motor, lo que ayuda a que el motor funcione de manera más uniforme y reduce el sobrecalentamiento, por lo que se puede usar a revoluciones más altas y valores más bajos (Muñoz Gómez, 2022)

De acuerdo a Mendoza y Torres (2021) consideran que el residuo del banano es considera como un bagazo para la producción de biocombustible, dado que, por cada 100 kg, contiene 5 kg de pseudotallo, 15 kg en hojas y 2 kg de raquis (tallo principal); se identifica que las plantaciones no tienen ningún tratamiento previo a considerar estos residuos en fuentes de contaminación con el 13%. Dado que al hacer uso de estos residuos biomásicos permitirá a las empresas bananeras en una alternativa económica y generación de bioenergía útil. Los residuos de Seda, Barraganete, y Orito son fuentes muy necesarios y útiles para enfocarnos en la producción aprovechamiento para obtener alcohol, previamente podría ser utilizado para diversas ocupaciones en el ámbito agroindustrial y productivo.

## 1.2. PROBLEMA

En el año 2020, la superficie de producción de banano del país fue de 6.023.390 toneladas. La mayor producción fue en la provincia de Los Ríos con 33,83%, seguida de El Oro con 26,30%, Guayas con 25,52%, Cotopaxi con 3,14%, Manabí con 2,38% y otras provincias, incluida la provincia de Bolívar con 8,83% (INEC, 2021). Se considera una alta producción de banano en el Ecuador se puede aprovechar el material lignocelulósico presente en la cáscara de las diferentes variedades para la obtención de biocombustibles o derivados.

Los desechos de banano (cáscaras) representan el 10,45% de los cuales se pierden en las fincas, estaciones de empaque, custodios y procesadores (Llangari, 2018). Además de la falta de capital para que los pequeños y medianos productores mejoren los procesos, esto trae como consecuencia que el banano se desperdicie a nivel nacional (Ramírez y Solórzano, 2016). Los residuos orgánicos de los procesos industriales, como las cáscaras de banano, hojas de maíz, no se utilizan por completo en el nuevo producto terminado, lo que lleva a la acumulación de desechos, que es una fuente importante de muchos patógenos (Badaracco y Veintimilla, 2019).

No se evidencia estudios acerca del aprovechamiento de residuos biomásicos, que en este caso lo constituyen las cáscaras de banano, para ser utilizados como materia prima en la obtención de biocombustibles. Luego de ser consumida la pulpa del fruto, la cáscara es desechada en su mayoría directamente al ambiente, situación que la convierte en una fuente de contaminación orgánica, la cual atrae vectores que pueden afectar la salud humana y del ambiente. Los costos de operación para la obtención de biocombustible no están bien especificados en el Ecuador, lo que se considera cierto es la posibilidad de obtener bioetanol de alta calidad que pueda ser utilizado como biocombustible.

En Ecuador, los desechos de sitios comerciales e industriales representan un problema para los desechos agrícolas. Una de las pocas alternativas posibles para los residuos agroindustriales está relacionada con la falta de atención a la protección del medio

ambiente por su inadecuado manejo, convirtiéndose en una fuente de contaminación de los recursos naturales; tierra, agua y aire (Cury et al. 2017).

El uso de residuos orgánicos como cáscaras y pepas de alimentos de origen vegetal ha cobrado un gran impulso en las comunidades científicas y de investigación. Su presencia es una fuente constante de contaminación que afecta directamente al medio ambiente; por lo que es necesario una solución a esta realidad. Siendo así que, a través de su uso, las personas pueden obtener energía renovable, sostenible y respetuosa con el medio ambiente (Alvarado, 2021). Desde el punto de vista Romero et al. (2019), menciona que los sustratos vegetales que consisten en celulosa, hemicelulosa y lignina se pueden considerar como materias primas para una mayor producción de biocombustibles.

En muchos casos, varias tecnologías alternativas no se utilizan de manera efectiva para el manejo de residuos agrícolas, lo que genera costos elevados (Haro et al., 2017). Teniendo en cuenta estos problemas, es necesario transformarlos en productos útiles con mayor valor agregado y, al resolver los problemas, traer más ingresos económicos a la industria y los productores.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Aprovechar el residuo de tres variedades de banano (cáscara): Barraganete (*Musa paradisiaca*), Seda (*Musa paradisiaca L*) y Orito (*Musa acuminata*) en la obtención de alcohol etílico.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar física y químicamente los residuos biomásicos de las tres variedades de banano.
- Determinar cuál es la mejor combinación de residuos biomásicos para la obtención de jarabe rico en glucosa.
- Conocer el método más efectivo de destilación para la conversión de glucosa a etanol.
- Explicar la cinética de reacción que tiene el procesamiento agroindustrial en la obtención de alcohol.

## **1.4. HIPÓTESIS**

### **1.4.1. Hipótesis Nula ( $H_0$ )**

$H_0$ : Las variedades de cáscara de banano, grado de madures y concentraciones de ácido sulfúrico no influyen en la concentración de glucosa y rendimiento en la obtención del bioetanol.

### **1.4.2. Hipótesis Alterna ( $H_a$ )**

$H_a$ : Las variedades de cáscara de banano, grado de madures y concentraciones de ácido sulfúrico influyen en la concentración de glucosa y rendimiento en la obtención del bioetanol.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Banano (*Musa sp.*)

##### Figura 1

*Banano (Musa sp.)*



*Nota.* Representa al fruto del árbol banano. Tomado de Vargas et al., 2017

Ante el problema de los residuos orgánicos, es necesario convertirlos en un producto útil y de mayor valor agregado, que además de solucionar el problema también, nos proporcione mayores ingresos económicos a la industria y a los productores de exportación. (Badaracco y Veintimilla, 2019).

##### 2.1.1. Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica es la siguiente:

**Tabla 1**

*Clasificación taxonómica*

	Descripción
Reino	Plantea
Filo	Tracheophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Zingiberales
Familia	Musaceae
Género	Musa
Especie	Paradisiaca L. Mozombite

*Nota.* En la tabla anterior se explica la clasificación taxonómica correspondiente al fruto del banano. Girón y Funes (2017, pág. 18).



Los bananos son plantas con flores del orden Zingiberales, familia Musaceae y género *Musa*. De estas, se destaca *Musa acuminata* Colla, dando origen a las variedades comerciales *Musa balbisiana* Colla y la diploide *Musa acuminata*. (Zola et al., 2017).

### 2.1.2. Variedades de estudio del banano

Para la elaboración de bioetanol se utilizó tres variedades de banano, las cuales fueron: Barraganete (*Musa paradisiaca* L.), Banano Seda (*Musa paradisiaca*) y Banano Orito (*Musa acuminata*).

Este tipo de banano se caracteriza por su sabor dulce y textura suave, se distingue por su piel amarilla y su pulpa dorada y cremosa. (Zola et al., 2017). Vargas y Pérez (2018) explican que también aporta vitaminas A, C, B1, B2, B6, B9, ácido fólico y E. Por otra parte, en cuanto a los minerales, se encuentran el potasio, magnesio, hierro, selenio, zinc y calcio. Poseen una cáscara más gruesa o piel de color marrón verdoso y una pulpa harinosa rica en fibra y almidón (Girón y Funes, 2017).

### 2.1.3. Contenido físico-químico de las tres variedades de banano

**Tabla 2**

*Contenido físico-químico de las tres variedades de banano*

Composición físico-química (g)	Barraganete	Seda	Orito
Agua	70,00	75,40	74,00
Grasa	0,30	0,16	0,22
Carbohidratos	25,95	22,19	23,56
Proteína	1,38	1,08	1,12
Fibra	0,50	0,60	0,87
Calorías	0,98	0,48	
Magnesio	0,32		0,23
Potasio	0,42		
Fósforo		0,26	0,12
Calcio		0,04	0,01
Hierro		0,01	0,01
Zinc		0,02	0,07
Vitamina C	0,15		
Riboflavina	0,01		
Tiamina	0,01		
Acido pantoténico			0,03
Piridoxina			0,05
Total	100	100	100

*Nota.* En la tabla se explica los porcentajes de contenido físico - químico del banano. León et al. (2021, pág. 32).

## 2.2. Cáscara del banano

### Figura 2

*Cáscara del banano (Musa sp.)*



*Nota.* (Representa a la cáscara del banano.) Tomado de Vargas et al., 2017

La cáscara del banano representa alrededor del 40% de su peso, se compone principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina (Zola et al., 2017). Sus propiedades físicas y químicas alargan su vida a cientos de años, evitando que vuelva a entrar en el sistema. Como resultado, muchas organizaciones se han dado a la tarea de crear nuevas alternativas utilizando diferentes materias primas. Estos compuestos químicos en la cáscara de banano permiten que se utilice como materia prima para la producción de materiales biodegradables, posibles sustitutos de polímeros y combustibles fósiles, que son sustitutos amigables con el ambiente. (Mendoza y Torres, 2021).

### 2.2.1. Contenido físico-químico de la cáscara de banano

Las cáscaras de banano contienen entre un 6% y un 9% de proteína de materia seca y entre un 20% y un 30% de fibra. Las cáscaras de banano verde contienen 40% de almidón que se convierte en azúcares al madurar. En comparación con los bananos maduros, los bananos verdes tienen menos almidón y azúcar libre. (Vargas et al., 2017). El contenido de celulosa en la cáscara de banano aumenta la posibilidad de su uso como materia prima en diversos procesos tecnológicos, especialmente en las industrias papelera, textil, alimenticia, azucarera y de biomateriales. De igual forma, las cáscaras de banano pueden ser utilizadas como materia prima en industrias alimenticias,

farmacéuticas y químicas debido a que la hemicelulosa puede ser utilizada para producir ácido acético, un compuesto muy utilizado en las industrias de esta profesión. (Vargas et al., 2017).

**Tabla 3**

*Contenido físico-químico de las tres variedades de cáscara de banano*

<b>Composición físico-química (%)</b>	<b>Barraganete</b>	<b>Seda</b>	<b>Orito</b>
Humedad	79,18	75,12	76,10
Proteína cruda	2,19		
Fibra cruda	6,58	2,10	
Energía (kcal)	4,35		
Calcio	0,27		0,29
Fósforo	0,18		
Cenizas	7,30	0,66	5,55
Almidón		4,21	7,22
Celulosa		0,72	3,26
Sacarosa		9,26	
Glucosa		5,19	
Dextrosa		1,56	
Gomas		1,17	
Tanino		0,01	
Hemicelulosa	79,18	75,12	5,13
Lignina	2,19		2,31
Magnesio	6,58	2,10	0,14
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

*Nota.* En la tabla 3 indica los porcentajes de los componentes físicos y químicos de las tres variedades de cáscaras de banano (Barraganete, Seda y Orito). Zola et al. (2017, pág. 40), Girón y Funes (2017, pág. 26).

### **2.2.2. Uso de la cáscara de banano**

Indiferentes de la variedad que se utilice las cáscaras de banano, la más utilizada es la de Barraganete y Seda; en el aspecto de la salud permite mejorar la digestión porque contiene una gran cantidad de fibra, ayuda a mantener el funcionamiento óptimo del sistema digestivo. En el área de botánica su utilización es indispensable, independiente de la cáscara que se utilice desde hacer compost en casa, puedes poner las cáscaras en un contenedor de compost junto con otros desechos orgánicos. Las cáscaras de banano se descomponen fácilmente y proporcionan al suelo nutrientes esenciales. Hasta repelar

insectos porque no quieres usar pesticidas químicos que son dañinos para el medio ambiente y tu salud, prueba usando cáscaras de banano. (Zhiminaicela et al., 2020).

### 2.2.3. Producción de banano y cáscara de banano en toneladas métricas

**Tabla 4**

*Producción de banano y cáscara de banano en toneladas métricas*

Año	Producción de banano			Producción de cáscara de banano		
	Barraganete TM	Seda TM	Orito TM	Barraganete TM	Seda TM	Orito TM
2000	67.545	35.685	57.486	20.264	10.706	17.246
2001	67.941	41.037	63.234	20.382	12.311	18.970
2002	69.832	47.193	69.558	20.950	14.158	20.867
2003	71.723	54.272	76.514	21.517	16.282	22.954
2004	73.614	62.413	84.165	22.084	18.724	25.250
2005	75.505	71.775	92.582	22.652	21.533	27.775
2006	77.396	82.541	101.840	23.219	24.762	30.552
2007	79.287	94.923	112.024	23.786	28.477	33.607
2008	81.178	109.161	123.226	24.353	32.748	36.968
2009	83.069	125.535	135.549	24.921	37.661	40.665
2010	84.960	144.366	149.104	25.488	43.310	44.731
2011	88.398	166.021	164.014	26.519	49.806	49.204
2012	187.019	190.924	180.416	56.106	57.277	54.125
2013	207.757	219.562	198.457	62.327	65.869	59.537
2014	232.461	252.497	218.303	69.738	75.749	65.491
2015	258.557	290.371	240.133	77.567	87.111	72.040
2016	287.583	333.927	264.146	86.275	100.178	79.244
2017	319.868	384.016	290.561	95.960	115.205	87.168
2018	355.776	441.618	319.617	106.733	132.485	95.885
2019	395.716	507.861	351.579	118.715	152.358	105.474
2020	440.139	584.040	386.737	132.042	175.212	116.021
2021	484.562	671.646	425.410	145.369	201.494	127.623
2022	528.985	772.393	467.951	158.696	231.718	140.385
2023	530.799	873.140	510.492	172.022	261.942	153.148

*Nota.* En la tabla a continuación se indica la producción del banano y la cáscara de las variedades de cáscaras de banano (Barraganete, Seda y Orito). Zapata et al. (2023, pág. 122).

En la tabla anterior se observa que la variedad conocida como Seda es la más producida en el país dado que es la que más se exporta a nivel internacional, seguida del Barraganete. Posteriormente se evidencia un incremento de producción anual desde el 2000.

#### **2.2.4. Cantidad de desechos de cáscara de banano en Ecuador**

Alrededor del 95% de los subproductos que deja el banano no se utilizan de manera eficiente en Ecuador. Porque su producción está enfocada principalmente a la comercialización y alimentación a domicilio. Después de comer la fruta, la cáscara se desecha o se usa como fertilizante en los campos para plantas, el residuo que dejan las cáscaras no alimenta la tierra, sino todo lo contrario. Los impactos ambientales negativos incluyen inducir el crecimiento de muchos tipos de microorganismos en áreas donde no deberían crecer, afectar el crecimiento y el rendimiento de otros cultivos, la reducción del suministro de agua, afecta la acumulación no deseada y la formación de hongos en lugares inapropiados. (Zapata y Peláez, 2018).

Esto se debe al mal uso de estos desechos agrícolas provoca enfermedades descontroladas a través de la contaminación del suelo, las aguas subterráneas, el crecimiento bacteriano y la descomposición en el aire exterior. Los microorganismos contaminan los recursos vitales, ha causado riesgos potenciales para la salud. Los desechos del banano que contienen pseudo-tallos, hojas, tallos y residuos de frutas se utilizan como fertilizante orgánico para cultivar el suelo, a veces sin tratamiento previo (Monsalve et al., 2016).

#### **2.2.5. Residuos biomásicos de cáscara de banano**

La baja temperatura de descomposición final (400°C) de la cáscara de banano está asociada con un bajo contenido de carbono enlazado (9,34%). Esto significa que la cáscara de banano se puede utilizar como combustible en el proceso de combustión porque tiene que pasar por un proceso de secado, el cual puede estar expuesto al aire durante unos 5 días. Sin embargo, debido al bajo poder calorífico, que depende del contenido de carbono ligado, es necesario asegurar un suministro continuo de cáscaras

de banano secas a la caldera. Los bajos niveles de nitrógeno y azufre en las cáscaras de banano hacen que cuando se utilizan como biocombustibles se generen pequeñas cantidades (Romero Bonilla et al., 2018).

Una de las principales aplicaciones es la producción de bioetanol, que es uno de los biocombustibles de segunda generación más estudiados en los últimos años. Actualmente, los residuos agrícolas son un reemplazo útil para obtener compuestos que operan a partir de sustancias de origen natural y por ende al aumento de su procesamiento, contribuyendo a la producción de anti –sustancias de oxidación y, por lo tanto, generando costos adicionales a los desechos agrícolas e industriales. Los productos de desecho de las industrias como de la aceituna y el vino se encuentran entre los más utilizados para la extracción y estabilización de compuestos antioxidantes (Rojas et al., 2019).

Como problemas ambientales, los productos orgánicos de desecho tales como tallos, cáscaras, y hojas de banano que no se exportan, se utilizan comúnmente para aumentar la actividad y la materia orgánica; biología y fertilidad del suelo bananero; es decir, el uso principal del producto de biomasa de desecho de banano es como fertilizante. Esto se logra introduciendo métodos como la trituración mecánica y la aplicación directa de los residuos a las plantaciones, lo que ahorra fertilizantes y reduce el impacto ambiental del mal manejo de estos residuos y el uso de fertilizantes químicos en las plantaciones de banano. Se estima que el Ecuador genera anualmente unas 351.031 toneladas de residuos lignocelulósicos anhidros provenientes de las plantaciones de banano (Monsalve et al., 2016).

## **2.3. Obtención del etanol a partir de la cáscara de banano**

### **2.3.1. Bioetanol**

Es un compuesto químico obtenido a partir de la fermentación de los azúcares, que puede utilizarse como combustible puro o bien mezclado en cantidades variadas con gasolina (Alvarado, 2021). Se obtiene de la destilación de hidratos de carbono presentes en diversas sustancias orgánicas (cereales o plantas ricas en azúcar como la remolacha).

Debido a su alto contenido de alcohol, tiene un olor muy característico, aunque en la superficie es casi indistinguible del combustible convencional (Cortés et al 2019).

### **2.3.2. Característica del bioetanol**

Es un combustible ecológico que se puede encontrar en las gasolineras llamado E85. Contiene 85% de etanol y 15% de gasolina, y su octanaje es de 105, lo que también permite que el motor alcance un mayor rendimiento (Cortés et al 2019). Siendo que se puede mezclar con gasolina, se recomienda una mezcla del 10 al 25% para mejorar sus propiedades, ya que produce un octanaje de 70 a 75, que es superior al de la gasolina sin mezclar. La mezcla de gasolina y etanol permite una mayor compresión en el motor, lo que ayuda a que el motor funcione de manera más uniforme y reduce el sobrecalentamiento, por lo que se puede usar a revoluciones más altas y valores más bajos (Muñoz Gómez, 2022)

### **2.3.3. Tipos de alimentos para la obtención del bioetanol**

Las principales fuentes de biocombustibles son los cereales, el jugo de caña de azúcar, también lignocelulosa en el cultivo de alimentos, como cereales, bolsas, desechos forestales, desechos orgánicos e inorgánicos y otros beneficios energéticos (De la Cerna, 2018; Gómez, 2019). Otros residuos vegetales, como la paja de trigo o los tallos de maíz (Seda de maíz), almacenan energía en forma de carbohidratos complejos como la celulosa y la hemicelulosa. Gracias a su alto índice de azúcar, se encuentran en la caña de azúcar, la remolacha azucarera y el sorgo dulce. Así, las características de las materias primas determinan el pretratamiento y procesamiento requerido para la obtención de azúcares fermentables y su conversión a etanol por los microorganismos (De Bari et al., 2017).

### **2.3.4. Composición del bioetanol**

Las propiedades físicas y químicas del bioetanol son:

**Tabla 5***Características físico-químico del bioetanol*

Características	Unidades	Método		Especificación
		ASTM*	ABNT/NBR**	
Aspecto	-	Visual	-	Limpio y sin impurezas
Color	-	Visual	-	Incoloro
Acidez total (ácido acético)	mg/L	D 1613	9866	30 máx.
Conductividad eléctrica	µs/m	D 1125	10547	500 máx.
Masa específica a 20°C	Kg/m <sup>3</sup>	D 4052	5992	791,5 máx.
Grado alcohólico	°INPM	-	5992	99,3 mín.
Grado de hidrocarburos	%vol	D 512	13993	3 máx.
Ión cloruro	mg/Kg	D 5501	10894/10895	1.1
Grado de etanol	%vol	-	-	99,3 mín
Ión sulfato	mg/Kg	-	10894/12120	4,3 máx.
Hierro	mg/Kg	.	113331	5,5 máx.
Sodio	mg/Kg	.	10422	2,2 máx.
Cobre	mg/Kg	.	10893	0,07 máx.

\* ASTM Internacional  
 \*\* Associação Brasileira de Normas Técnicas

*Nota.* En la tabla a continuación se indica las características físico-químico del bioetanol. Muñoz (2022, p. 122).

### 2.3.5. Etapas y actividades en la obtención de bioetanol a partir de desechos biomásicos

Las etapas a partir de desechos biomásicos son:

- Pretratamiento de la biomasa
- Hidrolisis acida de la celulosa para la formación de azúcares simples
- Fermentación de azúcares para la obtención de alcohol.

A partir del paso de pretratamiento de residuos, se puede ver que a partir de la gran cantidad de materiales de entrada para que el proceso dé el mejor rendimiento, se ha seleccionado el paso de fermentación (Chávez, 2019).

### 2.3.6. Para la obtención de bioetanol a partir de las cáscaras enumeramos el siguiente procedimiento:

- Recepción de la materia prima
- Preparación o adecuación de la materia prima



- Pre tratamiento de la materia prima
- Eliminación de lignina
- Hidrolisis ácido
- Centrifugación
- Obtención jarabe glucosilado
- Fermentación
- Destilación simple y fraccionaria
- Almacenaje

#### **2.3.6.1. Preparación o adecuación de la materia prima**

Es la manipulación de materias primas de manera directa del alimento, por lo que se deben observar todos los aspectos de higiene. Es así que de las cáscaras de banano de las tres variedades se pesa para conocer cuánto ingreso para el proceso de fabricación, dado que son de gran importancia al momento de realizar el balance de materia. Como producto final se obtiene las cáscaras categorizadas para su procesamiento (Romero Bonilla et al., 2018).

#### **2.3.6.2. Pre-tratamiento de la materia prima**

Es la etapa que trata los elementos que se incorporan al proceso productivo para obtener el producto final, pero conforman la base del producto en particular; se añaden a las materias primas en una etapa posterior del proceso de fabricación.

A partir de las cáscaras de banano de las tres variedades, dado que estos residuos son tratados debido a la gran cantidad de compuestos orgánicos fácilmente biodegradables en su composición al ser estudiados por métodos físico-químicos, químicos y biológicos. Es así que el pretratamiento es necesario para obtener azúcares fermentables y convertirlos en etanol por medio de microorganismos (Chávez, 2019).

### **2.3.6.3. Eliminación de lignina**

Es la etapa que elimina los compuestos orgánicos persistentes y no ferrosos relacionados con la lignina de las aguas residuales de la industria de la pulpa y el papel. Este proceso de purificación es particularmente efectivo utilizando tecnología de membrana de biorreactor. Es así que puede dividirse en dos direcciones principales. El primer grupo incluye métodos que separan la celulosa y la hemicelulosa después de la disolución, dejando la lignina como residuo insoluble; el segundo grupo incluye métodos que implican la solubilización de la lignina, dejando la celulosa y la hemicelulosa como un método insoluble A para la fase de recuperación de la lignina (De la Cerna, 2018).

De acuerdo a Marín (2020, p. 65) en este caso puede ser eliminado por el procedimiento especificado a continuación:

- Una muestra de 100g de cascara se sumerge en una solución de hidróxido de sodio 0,1N a un volumen de 350ml es decir una relación de 7:1: durante 15 minutos.
- Se adiciona sulfato de calcio 0,816g para evitar la degradación de la celulosa, luego se deja en reposar la solución por 3 horas.
- Se separa el licor oscuro que contiene la lignina disuelta por decantación.
- El licor obtenido se desechó y la parte sólida se envió al proceso de hidrólisis ácida.

El hidróxido de sodio se utiliza para la destrucción de la lignina, esta rotura de los enlaces libera grupos hidroxilos fenólicos favoreciendo la disolución de la lignina en medios alcalinos (Sánchez et al., 2017).

### **2.3.6.4. Hidrólisis ácida**

Es la acción de un estimulante químico y biológico con el agua, en la que se produce la descomposición orgánica de la biomasa de estructura simple o compleja. Mediante los factores importantes como el tiempo de reacción, la temperatura, la concentración

química y biológica que están involucrados en el proceso de hidrólisis, a fin de llevarse al hidrólisis ácida (Monsalve et al., 2016). Es así que mediante un Erlenmeyer de 250mL se mezcló una solución de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentrado, con una disolución al 5% y 25mL a cada 50g de muestra con cáscara de banano de las tres variedades a estudiar. Con el que se obtenga los jarabes glucosados previamente separados para determinar el contenido de glucosa final y rendimiento de conversión.

#### **2.3.6.5. Centrifugación**

Es una técnica de separación utilizada para aislar o concentrar partículas en suspensión en un líquido, utilizando diferentes velocidades de movimiento dependiendo de su forma, tamaño o peso bajo la acción de la fuerza centrífuga (Monsalve et al., 2016). Se realizó para separar respectivamente los componentes del jarabe glucosado de las variedades de cáscara de banano con el que permita definir el nivel de glucosa con el que se trabaje para la producción de bioetanol.

#### **2.3.6.6. Obtención del jarabe rico de glucosa**

Este proceso mediante el método Nelson-Somogy determina el contenido de azúcares reductores y no reductores, que se detectan en concentraciones muy bajas (20-180 mg/l) (Deheco Egúsquiza, 2019). Es así que esta etapa utiliza las propiedades reductoras (debido a la presencia de un aldehído potencial o de grupos ceto) de ciertos tipos de hidratos de carbono, determina azúcares reductores que se basa en la absorbancia a 520 nm de un complejo coloreado entre un azúcar oxidado de cobre y arsenomolibdato, con el que se obtiene el jarabe rico de glucosa.

#### **2.3.6.7. Fermentación alcohólica**

Es un proceso anaeróbico llevado a cabo por levaduras y ciertos tipos de bacterias. Estos microorganismos convierten los azúcares en alcohol etílico y dióxido de carbono. La fermentación alcohólica comienza después de que la glucosa ingresa a la célula. La glucosa se descompone en ácido pirúvico (Mendoza y Torres, 2021). Por lo que en esta etapa la acción del estimulante químico con el agua, produce la descomposición

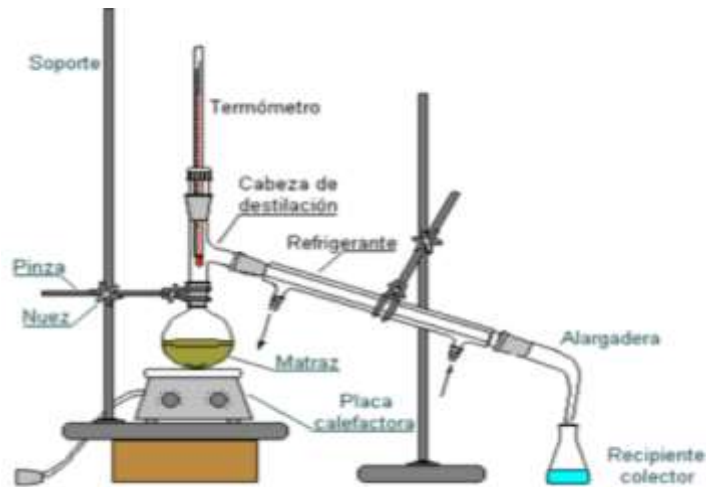
orgánica de la biomasa de estructura simple o compleja de las cáscaras de banano, mediante los factores de tiempo de reacción, la temperatura y la concentración química están involucrados en el proceso posterior a la hidrólisis ácida, culminando en el bioetanol.

### 2.3.6.8. Destilación simple

Cuando una mezcla de productos líquidos destilados contiene una sola sustancia volátil o varias sustancias volátiles, pero el punto de ebullición del líquido más volátil difiere del punto de ebullición de los componentes que contienen menos de 80°C, se utiliza. Es perfecto para dividir componentes de varias sustancias con varios puntos de ebullición.

#### Figura 3

*Montaje de destilación simple*



*Nota.* La figura 3 manifiesta explica el procedimiento de la materia prima al proceso de destilación simple, Grande Verdugo y Ortiz Blanco (2019, p. 56 - 58).

En el proceso de destilación, la mezcla se calienta hasta el punto de ebullición. El vapor inicial creado no es puro, sino que contiene tanto A como B. Dado que tiene el punto de ebullición más bajo (A), el vapor contiene una alta concentración del componente volátil. Como resultado, se descubrió que el uso exclusivo de la destilación simple no

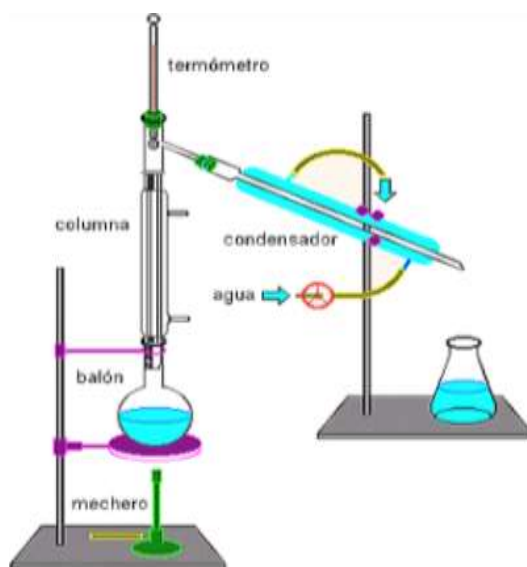
era capaz de separar completamente la mezcla de líquidos A y B. Esto siempre ocurre al comienzo del proceso de destilación (Grande Verdugo y Ortiz Blanco, 2019).

### 2.3.6.9. Destilación fraccionaria

Cuando la diferencia entre los puntos de ebullición de una mezcla de destilados líquidos que contienen sustancias volátiles es inferior a 80 o, se utiliza. Este tipo de destilación utiliza la propiedad que ocurre cuando se calienta una mezcla de líquidos con varias presiones de vapor para enriquecer el vapor en un componente volátil y separar los diversos compuestos líquidos. El requisito de una columna de destilación es el aspecto más singular de este tipo de destilación.

#### Figura 4

*Montaje de destilación fraccionaria*



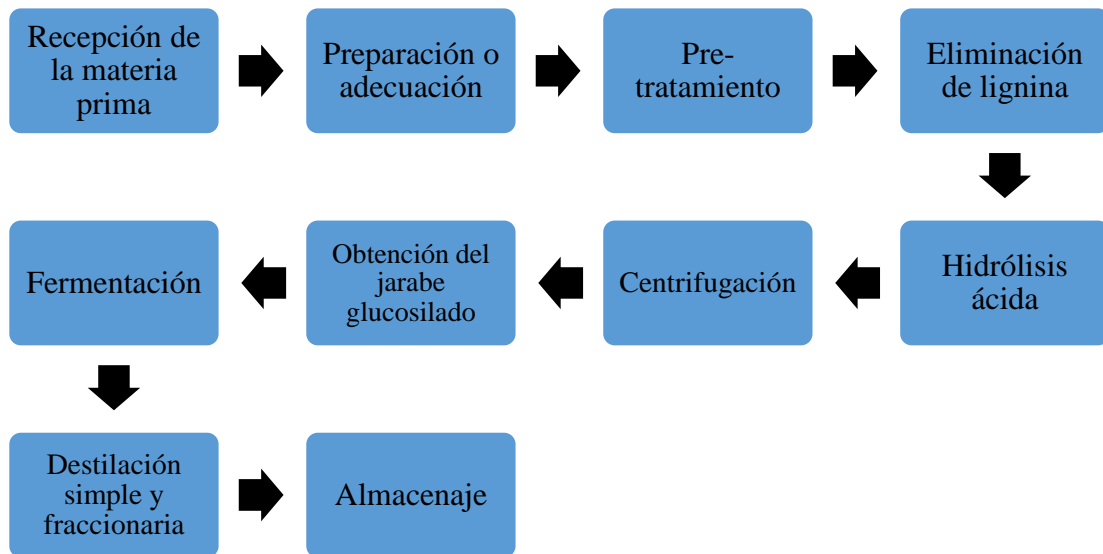
*Nota.* La figura 4 manifiesta explica el procedimiento de la materia prima al proceso de destilación fraccionaria, Grande Verdugo y Ortiz Blanco (2019, p. 56 - 58).

El montaje es el mismo que para la destilación simple, pero entre el matraz y la cabeza de destilación se añade una columna. La citada columna está llena de una sustancia porosa que permite que la mezcla sufra numerosos ciclos de evaporación y condensación a lo largo de su recorrido (Grande Verdugo y Ortiz Blanco, 2019).

Por lo que en esta etapa se purifica el bioetanol, eliminando los componentes volátiles de las variedades de cáscaras de banano y sus grados de madurez. A fin de garantizar la calidad del producto obtenido e identificación de cual cumple con los requerimientos necesarios.

**Figura 5**

*Proceso de producción de etanol a escala de laboratorio*



*Nota.* La figura explica sobre el diagrama de flujo del proceso de producción de etanol a escala de laboratorio por De Bari et al. (2017, p. 39) CUCEL.

#### **2.4. Cinética de reacción al procesamiento agroindustrial en la obtención de bioetanol**

La producción de bioetanol a partir de la cáscara de banano es un proceso que involucra una serie de reacciones bioquímicas complejas, es así que la cinética de las reacciones es un aspecto fundamental para comprender y optimizar este proceso en el procesamiento agroindustrial. Normalmente, las cáscaras de banano contienen azúcares y otros compuestos que pueden convertirse en alcohol mediante la fermentación alcohólica. Durante la fermentación alcohólica, la levadura presente en la mezcla convierte los azúcares en alcohol y dióxido de carbono. La cinética de la

fermentación alcohólica en la cáscara de banano depende de varios factores, como la concentración de azúcar, la concentración de levadura, la temperatura, el pH y la presencia de inhibidores (taninos y alcaloides).

En general, la velocidad de reacción aumenta con la concentración de azúcar y levadura, así como con la temperatura adecuada para el crecimiento y la actividad de la levadura. Sin embargo, la cinética de la fermentación alcohólica en la cáscara de banano también puede verse afectada por la presencia de inhibidores como ácidos orgánicos, taninos, alcaloides y otros presentes en la cáscara.

Esto incluye controlar los niveles de azúcar, agregar nutrientes, eliminar inhibidores y controlar la temperatura, el pH y la concentración de otros compuestos en la mezcla de fermentación. En conclusión, la cinética de reacción es un aspecto importante del procesamiento agrícola para la producción de alcohol a partir de cáscaras de banano, y su comprensión y optimización es esencial para obtener productos eficientes y de alta calidad (Badaracco y Veintimilla, 2019; Mendoza y Torres, 2021).

## 2.5. Modelo matemático del proceso

Los modelos matemáticos que se utilizaron son

**Tabla 6**

*Modelos matemáticos*

Nombre del modelo	Ecuación
Lineal	$^{\circ}\text{B} = a + k * t$
Henderson and Pabis	$^{\circ}\text{B} = a * e^{-k*t}$
Exponencial	$^{\circ}\text{B} = e^{a-k*t}$
Von Bertalanffy	$^{\circ}\text{B} = a * e^{-k*t} + b$
Sigmoid	$^{\circ}\text{B} = \frac{a}{1 + e^{\frac{t-b}{c}}}$
Inversa de Y	$^{\circ}\text{B} = \frac{1}{a + k * t}$
Logarítmica de Y	$^{\circ}\text{B} = e^{a+k*\sqrt{t}}$

*Nota.* En la tabla 6 se manifiesta los modelos matemáticos utilizados, Romero et al., (2019, p. 58)

Donde:

- $^{\circ}\text{B}$ : Es una unidad de medida utilizada para cuantificar el contenido de sólidos solubles en una solución acuosa, específicamente en relación con la concentración de azúcar. Se expresa en grados  $^{\circ}\text{Brix}$  y se utiliza comúnmente en la industria alimentaria y de bebidas para determinar la dulzura o concentración de azúcar de una solución.
- $a$ : Es el parámetro de concentración inicial o base en el modelo. Representa la concentración de  $^{\circ}\text{Brix}$  al inicio del proceso o en el tiempo cero. Indica el nivel inicial de sólidos solubles presentes en la solución.
- $k$ : Es el coeficiente o parámetro que determina la relación entre el cambio en la temperatura y el cambio en  $^{\circ}\text{Brix}$ . Indica la sensibilidad de  $^{\circ}\text{Brix}$  a las variaciones de temperatura. Un valor positivo de  $k$  significa que a medida que la temperatura aumenta, el  $^{\circ}\text{Brix}$  también aumentará, y viceversa.
- $t$ : Es el tiempo transcurrido desde el inicio del proceso. Se utiliza como variable independiente en el modelo cinético y representa el tiempo en el que se mide la concentración de  $^{\circ}\text{Brix}$ .
- $e$ : Número de Euler, es una constante matemática aproximada a 2.71828. Se utiliza en el modelo para representar la función exponencial y describe cómo la concentración de  $^{\circ}\text{Brix}$  varía con el cambio de temperatura.
- $b$ : Es una constante que ajusta el desplazamiento vertical de la curva de la concentración de  $^{\circ}\text{Brix}$  en relación con la temperatura. Afecta el nivel base de  $^{\circ}\text{Brix}$  a una temperatura determinada.
- $c$ : El parámetro  $c$  también puede tener diferentes interpretaciones según el modelo cinético utilizado. En algunos casos, se utiliza para ajustar la pendiente de la curva cinética de  $^{\circ}\text{Brix}$ . Un valor más alto de  $c$  indica una pendiente más pronunciada, mientras que un valor más bajo indica una pendiente más suave.
- Coeficiente de determinación ( $R$  cuadrado): El coeficiente de determinación, también conocido como  $R$  cuadrado, es una medida que indica la proporción de



la variabilidad en los datos observados que es explicada por el modelo. Se encuentra en el rango de 0 a 1, donde 0 indica que el modelo no explica la variabilidad de los datos y 1 indica que el modelo explica toda la variabilidad.

- Error cuadrático medio (RMSE): El error cuadrático medio es una medida de la precisión de las predicciones del modelo en relación con los datos observados. RMSE se calcula como la raíz cuadrada del promedio de los errores al cuadrado entre los valores predichos y los valores reales (Romero et al., 2019).

## **2.6. Cromatografía de gases**

En la cromatografía de gases, para la cuantificación de compuestos se utilizan diversos métodos como la normalización de superficies, métodos de patrón externo; porque esta técnica representa el análisis por medio del cromatograma. Donde se observa una serie de picos que corresponden a los analitos detectados, además sale su tiempo de retención determinado, su altura y áreas determinadas, en el caso del bioetanol se evalúa conjuntamente con la norma INEN 2014 de alcoholes.

## **2.7. Calidad del bioetanol**

Para conocer la calidad del bioetanol se debe evaluar el grado alcohólico o grado alcohólico volumétrico de las bebidas alcohólicas se expresa en grados de volumen de alcohol (etanol) contenido en 100 volúmenes de producto, medido a una temperatura de 20 °C. Esta es una medida de concentración porcentual en volumen. El alcohol se mide como el contenido de alcohol absoluto de 100 cc o equivalente al porcentaje de alcohol en la bebida. Entonces, 13 grados de alcohol significa 13 cc, indicando que de cada 100 cc = 13% de alcohol absoluto; se debe basar en el método de ensayo ASTM D 5501 con un valor mín. 92,1% v/v de etanol obtenido como producto final (Garay, 2018).

### **2.7.1. Calidad del bioetanol como combustible**

Las propiedades en la tabla 3 son prioritariamente reglamentadas de acuerdo a las normas internacionales ASTM y ABNT/NBR indicando que debe tener un grado del 10% (V/V) dado que causa menos impacto a las gomas y conexiones de los circuitos de combustibles a los automóviles sin alterar menos la corrosión de la gasolina. En el caso de automóviles más antiguos se podrá usar una mezcla de máximo al 5% (V/V) debido a sus componentes de aluminio atacados por el etanol (CEPAL, 2017).

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO MÉTODOLÓGICO

#### 3.1. Ubicación y características de la investigación

Esta investigación se desarrolló en la Universidad Estatal de Bolívar, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, Carrera de Agroindustrias, instalaciones del Departamento de Investigación, Laguacoto II.

##### 3.1.1. Localización de la investigación

Es así que la situación geográfica y climática de la localidad del experimento se llevará a cabo en la Universidad Estatal de Bolívar.

**Tabla 7**

*Aspectos generales del territorio*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Altitud	2.630 msnm
Latitud	01° 36'52'' S
Longitud	78° 59'54'' W
Temperatura máxima	21°C
Temperatura mínima	8°C
Precipitación media	980 mm
Heliofanía (H/L) /AÑO	900
Humedad Relativa	70%
Velocidad promedio del viento	6 m/s

*Nota.* La tabla 7 explica los aspectos generales del territorio donde se llevará a cabo el experimento en la Universidad Estatal de Bolívar. Puga, (2023, p. 127).

## **3.2. Metodología**

### **3.2.1. Material experimental**

- Barraganete (*musa paradisiaca*) en dos estados de madurez,
- Seda (*musa paradisiaca L.*) en dos estados de madurez,
- Orito (*musa acuminata*) en dos estados de madurez.

#### **3.2.1.1. Material de oficina**

- Computador portátil
- Esferográficos
- Cámara fotográfica
- Calculadora
- Tijeras

#### **3.2.1.2. Materiales de laboratorio**

- Vasos de precipitación 500 ml- 50ml
- Matraz de Erlenmeyer 100ml
- Probetas
- Pipetas graduadas 10ml
- Balones de destilación
- Desecador
- Picnómetro
- Mecheros
- Pinzas
- Botellas de vidrio de 400 ml

#### **3.2.1.3. Reactivos**

- Hidróxido de sodio 0,1 N
- Ácido sulfúrico 98% concentración

### 3.2.1.4. Equipos

**Tabla 8**

*Equipos utilizados en la investigación*

Equipos	Modelo	Función	Imagen
<b>Balanza digital</b>	RADWAG	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesar muestras</li> </ul>	
<b>Termómetro</b>	DirectIndustry	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indica la temperatura en grados Celsius</li> </ul>	
<b>Estufa</b>	MEMMERT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esterilizar</li> <li>• Secar</li> <li>• Incubar</li> </ul>	
<b>Destilador simple</b>	LAB CLASS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extracción de aceites y esencia</li> </ul>	
<b>pH-metro</b>	UKE MI 151	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indica su grado de acidez o alcalinidad expresada como pH.</li> </ul>	
<b>Refractómetro</b>	HANNA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medir el índice de refracción de un medio material</li> </ul>	
<b>Acidómetro</b>	Rouroumaoyi PH818	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar el peso específico de los ácidos</li> </ul>	

### 3.2.2. Factores de estudio

En base a las características de la investigación propuesta se planteó desarrollar los siguientes factores de estudio considerados en la presente investigación detalla con sus respectivos niveles, los cuales se detallan a continuación:

**Tabla 9**

*Factores de estudio*

<b>Factor</b>	<b>Código</b>	<b>Niveles</b>
Variedad de banano	A	a1: Barraganete a2: Seda a3: Orito
Grado de madurez	B	b1: Maduro b2: Maduro pasado
Cantidad de ácido sulfúrico	C	c1: 1 (%) c2: 2 (%)

#### **Descripción de los factores:**

**Factor A variedad de banano:** Es la cáscara obtenida a la variedad del banano, en este caso de Barraganete, Seda y Orito.

**Factor B estado de madurez:** Es la característica al estado de las cáscaras a ocupar en el experimento siendo maduro y maduro pasado.

**Factor C porcentaje de ácido sulfúrico:** Es el contenido de ácido sulfúrico a ocuparse en el experimento siendo al 1 y 2%.

### 3.2.3. Tratamientos

Los tratamientos que se derivan de los factores de estudio y que se utilizaran como referencia para el desarrollo de la investigación, se presentan en la tabla a continuación:

**Tabla 10***Tratamientos experimentales*

Tratamientos	Código	Tratamientos		
		A	B	C
1	a1b1c1	Barraganete	Maduro	1%
2	a1b1c2	Barraganete	Maduro	2%
3	a1b2c1	Barraganete	Maduro pasado	1%
4	a1b2c2	Barraganete	Maduro pasado	2%
5	a2b1c1	Seda	Maduro	1%
6	a2b1c2	Seda	Maduro	2%
7	a2b2c1	Seda	Maduro pasado	1%
8	a2b2c2	Seda	Maduro pasado	2%
9	a3b1c1	Orito	Maduro	1%
10	a3b1c2	Orito	Maduro	2%
11	a3b2c1	Orito	Maduro pasado	1%
12	a3b2c2	Orito	Maduro pasado	2%

**3.2.3.1. Características del experimento**

Correspondió al siguiente detalle:

**Tabla 11***Características del experimento*

Atributos del Diseño Factorial	
Número de factores experimentales	3
Número de tratamientos	12
Número de repeticiones	3
Número de unidades experimentales	36
Tamaño de unidad experimental	600 ml
Variables respuestas	3

**3.2.4. Tipo de diseño experimental**

Se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA) en arreglo factorial  $A \times B \times C$  ( $3 \times 2 \times 2$ ) con tres repeticiones. Para establecer las diferencias entre los tratamientos se aplicó un análisis de varianza (ANOVA), es cual se ajusta al siguiente modelo matemático:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Dónde:

$\mu$ : Media general

$\alpha_i$ : Efecto del factor A

$\beta_j$  : Efecto del factor B

$\gamma_k$  : Efecto del factor C

$(\alpha\beta)_{ij}$ ,  $(\alpha\gamma)_{ik}$ ,  $(\beta\gamma)_{jk}$ : Efecto de interacciones en los niveles ij, ik, jk  $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$

ijk: Efecto de interacción triple en la combinación o puntos ijk

$\varepsilon_{ijkl}$ : Error aleatorio en la combinación ijkl

### Análisis de varianza

Se realizan comparaciones entres tratamientos para determinar si existe o no diferencias estadísticas. Para ello se aplicó el Análisis de Varianza (ANOVA).

**Tabla 12**

*Modelo de Análisis de Varianza (ANOVA)*

Fuente de Variabilidad	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Valor - P
A	$SC_A$	1	$P(F > F_0)$
B	$SC_B$	1	$P(F > F_0)$
C	$SC_C$	1	$P(F > F_0)$
AB	$SC_{AB}$	1	$P(F > F_0)$
AC	$SC_{AC}$	1	$P(F > F_0)$
BC	$SC_{BC}$	1	$P(F > F_0)$
ABC	$SC_{ABC}$	1	$P(F > F_0)$
Error Experimental	$SC_E (A \times B \times C)(r-1)$	16	
Total	$SC_T$	$n3^3 - 1$	

### Pruebas de rangos múltiples

El modelo aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, indicando que muestra diferencia



estadísticamente significativa con un nivel del 95,0% de confianza. Modelo matemático para prueba de rangos múltiples LSD:

$$LSD = t_{\alpha/2, N-k} \sqrt{2CME/n}$$

*Donde:*

$t_{\alpha/2}$  = Valor de la tasa T - Student a una cierta significancia

$N - k$  = Grados de libertad que corresponden al error

$CM_E$  = Cuadro medio del error  $n$  = Es el número de observaciones para los tratamientos  $i, j$  y  $k$

### **3.2.5. Caracterización de las cáscaras de banano**

#### **3.2.5.1. Análisis físico - químico**

Se tomó en cuenta, con referencia del grado de madurez las pruebas físicas a las variedades de banano se comprobarán según normativas establecidas, con el cumplimiento de garantizar la calidad de los análisis de la materia prima haciendo énfasis de la determinación de la composición física como se detalla a continuación:

- **pH** mediante la Norma NTE INEN 389 – Conservas Vegetales, Determinación de la Concentración del Ion Hidrogeno (pH); (Anexo 5.5.1)
- **°Brix** mediante la Norma NTE INEN 2 337 – Jugos, Pulpas, Concentrados, Néctares, Bebidas de frutas y Vegetales. Requisitos; (Anexo 5.5.2).
- **Acidez titulable** mediante la Norma NTE INEN 381 – Conservas Vegetales, Determinación de Acidez Titulable, Método Potenciométrico de Referencia; (Anexo 5.5.3).

#### **3.2.5.2. Análisis proximal**

Se tomó como referencia, la materia prima troceada de 2 mm para pesar en los crisoles cada una de las muestras con tres repeticiones, cada análisis se establecerá mediante los siguientes métodos:

- **% Humedad** en las muestras estudiadas se realizó en base a los métodos descritos por (Betancourt et al., 2018), (Anexo 5.5.4).
- **Cenizas** se determinó mediante la Norma Europea UNE-EN 14775, (Anexo 5.5.5).
- **Volátiles totales** se determinó mediante la Norma Europea UNE-EN 15148, (Anexo 5.5.6).

### **3.2.5.3. Análisis elemental**

El análisis elemental CHNS, también conocido como análisis elemental orgánico o microanálisis elemental, se determinó las cantidades de carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N), azufre (S) presentes en una muestra. Se realizó de acuerdo a la Norma Europea UNE-EN 15104, (Anexo 5.5.7).

### **3.2.5.4. Análisis estructural**

La determinación del análisis estructural, considerado en esta investigación fue:

- **Determinación de lignina**, mediante los métodos de (De la Cerna, 2018), descritos por (Martín, 2020), basados en la Norma TAPPI 222, (Anexo 5.5.8).
- **Azúcares reductores**, mediante los métodos de (De la Cerna, 2018), descritos por (Martín, 2020), basados en el método de Somogyi –Nelson, (Anexo 5.5.10).

### **Manejo del experimento en laboratorio**

En el laboratorio se realizó las siguientes actividades:

- a) Recepción de la materia prima
- b) Lavado
- c) Pelado
- d) Reducción de tamaño
- e) Eliminación de lignina
- f) Centrifugación

- g) Hidrólisis ácida
- h) Fermentación
- i) Destilación

A continuación, explicamos cada procedimiento que hemos desarrollado en nuestro experimento.

**a) Recepción de la materia prima**

Las muestras de las cáscaras de banano de las variedades: Barraganete, Seda y Orito, se obtuvo del cantón Echeandía del recinto Purhuay de la provincia de Bolívar – Ecuador. Se recolectó en estado maduro, luego se seleccionó, separando los frutos que estén en mal estado. Se trasladó a los laboratorios del Departamento de Investigación de la Universidad Estatal de Bolívar.

**b) Lavado:** Se realizó un pre tratamiento de lavado con agua potable para eliminar impurezas. Eliminando los bananos que no estén en estado adecuado de maduración y para su utilización.

**c) Pelado:** En este proceso se eliminó la pulpa no necesaria para la obtención de bioetanol y retiramos la cascara. Se separó la cáscara de la pulpa.

**d) Reducción de tamaño:** Se selección las cáscaras en mejor estado. Se procedió a trocear mediante cuchillas, para uniformizar el tamaño de las partículas. Se tomó 100 g de muestra y se colocó en un matraz.

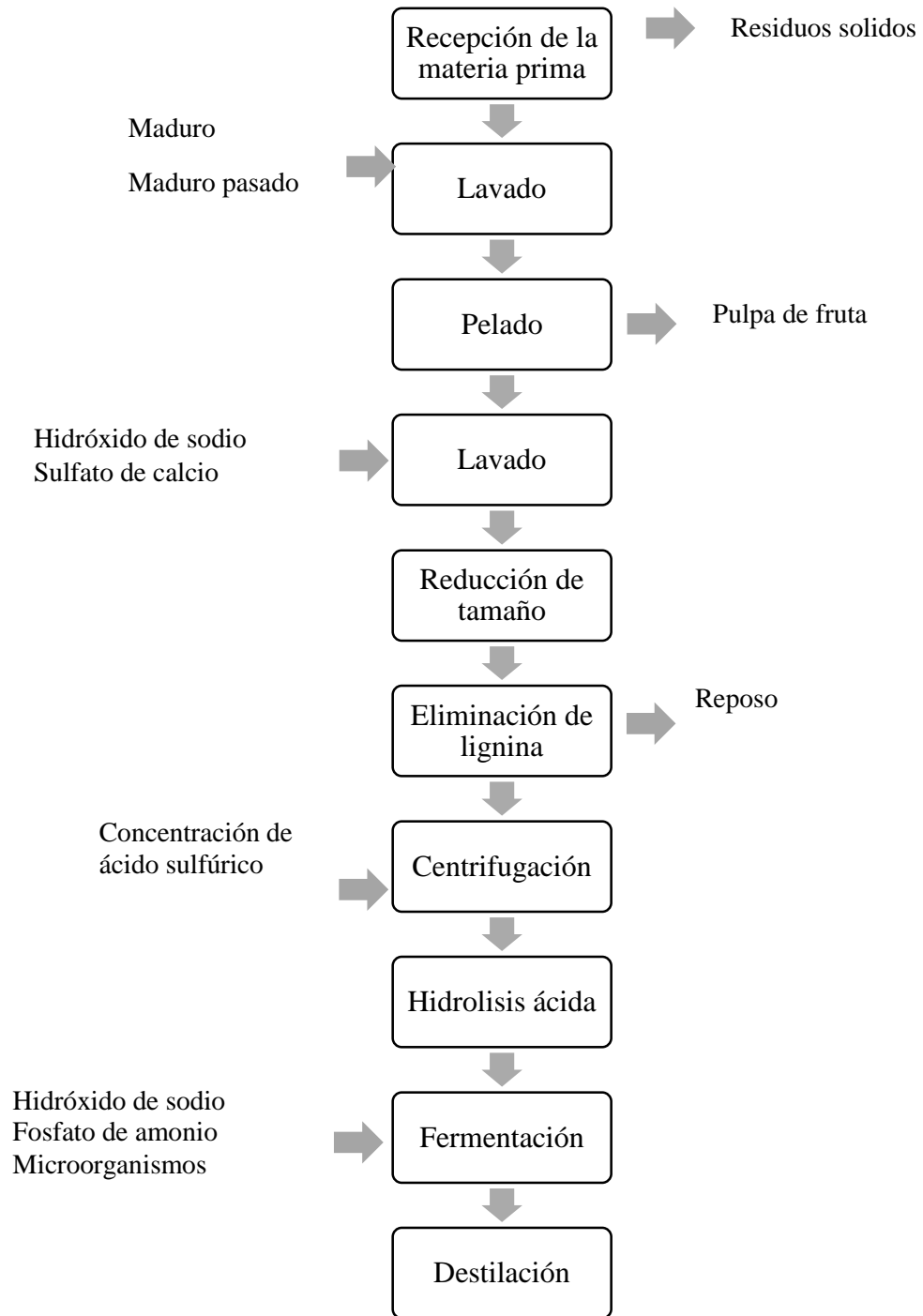
**e) Eliminación de lignina:** Se liberó la celulosa y hemicelulosa, a través del uso de solución de hidróxido de sodio 0,1N a un volumen de 350ml, es decir una relación de 7:1 por 15 min a una muestra de 100g.

Posterior se adicionó sulfato de calcio 0,816g para evitar la degradación de la celulosa en 3 horas de reposo.

- f) **Centrifugación:** En este paso se separó el licor oscuro que contiene la lignina, eliminando el licor y utilizando solo la parte sólida para el proceso de hidrólisis ácida.
- g) **Hidrólisis ácida:** En la siguiente etapa se rompió los enlaces glucosídicos de los polisacáridos por medio de una relación ácido: cáscara de 1:2 con 100g de muestra para cada tratamiento. Por medio de una autoclave a 125°C y de 15 psi por 15 min. Para posteriormente someterse a una etapa de filtrado.
- h) **Fermentación:** Se procedió a fermentar con levadura (*Saccharomyces cerevisiae*), en cantidad de 0,1% y 025% fosfato de amonio  $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ . Se ajustó el pH a 4.5 - 5.0 con (NaOH) hidróxido de sodio 5 N. Luego se colocó el mosto en frascos plásticos con un volumen de 2000 ml, se selló herméticamente con silicona para garantizar una fermentación anaeróbica.
- i) **Destilación simple y fraccionaria:** Finalmente se destiló el líquido fermentado por medio de la destilación simple y fraccionaria de 78 a 80°C que es la temperatura óptima para la evaporación del alcohol. Para posteriormente almacenar en frascos de vidrio.

**Figura 6**

*Diagrama de flujo del proceso de producción de bioetanol a la escala de laboratorio*



#### **3.2.5.5. Concentración de glucosa (g/l)**

Se conoció la cantidad de glucosa degradado presente en los diferentes grados de madurez de las variedades de banano. Se estableció mediante el siguiente método: Asociación Española de Normalización del anexo UNE-EN 12075: 1997 - Biotechnology. Large-Scale Process and Production. Procedures for Fermentation and Downstream Processes.

#### **3.2.5.6. Rendimiento del alcohol**

El rendimiento del alcohol se expresó en grados %vol, y permitió medir el contenido de alcohol absoluto que contiene la producción de etanol con la ayuda de un alcoholímetro. Se realizó de acuerdo a la norma de la Asociación Española de Normalización del anexo UNE-EN 18175 - Rendimiento estequiométrico teórico de glucosa en etanol.

#### **3.2.5.7. Concentración de Bioetanol (%)**

Se realizó con base a la norma de la Asociación Española de Normalización del anexo UNE-EN 84076 - Cuantificación de mezclas de alcohol etílico de síntesis y de fermentación. Además de la norma INEN 379: 1978 – Determinación de alcohol etílico. Los datos obtenidos fueron llevados una ADEVA para determinar el mejor tratamiento utilizando el software estadístico Statgraphics y las mejores condiciones operacionales para este proceso fueron determinados por la prueba de mínima diferencia significativa.

#### **3.2.5.8. Proceso de destilación**

Se realizó la destilación simple y fraccionada con el objetivo de separar una mezcla de varios componentes aprovechando sus diferentes volatilidades, para ello se describe el siguiente procedimiento:

- Se preparó el equipo de destilación simple-fraccionada
- Cada muestra se destiló durante 2 horas a una temperatura entre 78 – 80 °C, como máximo ya que es el punto de ebullición del bioetanol.

- El alcohol obtenido se almaceno en frascos de color ámbar.

### **3.2.6. Cinética de reacción**

Se realizó el estudio del mejor ajuste de los resultados de la cinética de velocidad de reacción, mediante la aplicación de modelos matemáticos. Los valores del coeficiente de determinación  $R^2$ , y del error cuadrático medio RMSE, se ajustaron de mejor manera al tratamiento 8.

## CAPÍTULO IV

### 4.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1.1. Análisis físicos y químicos de los residuos biomásicos de las tres variedades de banano

Se presenta los resultados del análisis físico y químico de los residuos biomásicos de las tres variedades de banano.

#### 4.1.2. Análisis físico - químicos

**Tabla 13**

*Resultados del análisis físicas - químicas de las tres variedades*

Componente	Barraganete		Seda		Orito	
	Maduro	Pasado	Maduro	Pasado	Maduro	Pasado
pH	4,87	4,95	6,17	5,08	5,93	4,90
°Brix	3,25	10,25	0,60	2,05	13,50	22,75
Acidez Titulable	1,70	2,85	7,00	16,00	0,83	2,10

La tabla 13 indica los diferentes valores para las variables pH, °Brix y acidez titulable en las tres variedades de cascara de banano. Girón y Funes (2017), explican que la cáscara de banano tiene valores de pH promedio de 4,52; °Brix igual a 15°, y una acidez titulable de 3,2. En cambio Alvarado (2021) reporta valores de laboratorio de 5,5 en pH; 14,5 °Brix; y 3,46 en acidez titulable. Valores promedio de acuerdo a Rojas et al. (2019) manifiesta valores de 5,85 en pH; 8,92° en °Brix y 0,87 de acidez titulable, a la cascara de banano Barraganete; y general para los valores en cascara de banano Seda y Orito. Zapata y Peláez (2018) reporta valores menores en pH a 3,5 y 1,32 en acidez titulable, pero lo contrario en el valor a 16,8 °Brix. Dado que los resultados obtenidos presentan variaciones en valores debido a las condiciones climáticas y al estado de madurez de la cáscara para la fermentación.



### 4.1.3. Análisis proximal

**Tabla 14**

*Resultados del análisis proximal entre variedades*

Componente	Barraganete		Seda		Orito	
	Maduro	Pasado	Maduro	Pasado	Maduro	Pasado
Humedad (%)	84,56	61,58	87,91	86,86	88,66	83,79
Cenizas (%)	16,53	5,67	20,6	22,6	23,58	33,85
Volátiles totales (%)	88,31	92,5	87,4	87,96	84,18	84,08

La tabla 14 presenta los valores del análisis proximal: humedad, cenizas y volátiles totales. Los valores resultantes de acuerdo a Zapata y Peláez (2018) indican que la humedad promedio es 73,45% indirectamente a la variedad de banano, en cenizas obtuvo 12,34% y 76,43% en volátiles totales. En cambio, para Girón y Funes (2017), los porcentajes que se obtuvo para la variedad de Barraganete en estado maduro fue de 77,83% en humedad; 12,43% en cenizas y 89,23% en volátiles totales. En cuanto a la Alvarado (2021) los valores resultantes de la variedad de Seda fueron de 84,65% humedad; 18,53% cenizas y 76,98% volátiles totales. Por lo que se concluye que los resultados obtenidos no son significativos a los valores reportados en comparación con los otros autores.

### 4.1.4. Análisis elemental

**Tabla 15**

*Resultados del análisis elemental entre variedades*

Componente	Barraganete		Seda		Orito	
	Maduro	Pasado	Maduro	Pasado	Maduro	Pasado
Carbono (%)	7,76	12,12	4,79	9,68	8,38	12,20
Hidrogeno (%)	5,81	6,74	3,54	7,20	5,45	5,55
Nitrógeno (%)	1,16	0,82	1,07	0,90	1,10	0,71
Azufre (%)	0,00	0,21	0,00	0,02	0,00	0,01

La tabla 15 presenta los valores del análisis elemental: el porcentaje de carbono, hidrogeno, nitrógeno y azufre. Por parte de Rojas et al. (2019) los resultados fueron altos al estado de pasado en la variedad de estudio, siendo 13,13% para el carbono; 7,65% para hidrogeno; 2,32% para nitrógeno y 0,43% para azufre. En cuanto para Girón y Funes (2017), reporta valores cercanos a los obtenidos para el estado maduro de la especie Barraganete con 8,95% en carbono; 4,09% en hidrogeno; 0,89% en nitrógeno y 0,12% en azufre. Resultados promedios obtenidos sin diferencia significativa alta en comparación con los autores Girón y Funes; pero si para los resultados de Rojas et al., dado que los datos resultantes se atribuyen al método aplicado para la obtención de los análisis elementales.

#### 4.1.5. Análisis químico

**Tabla 16**

*Resultados del análisis químico entre variedades*

Componente	Barraganete		Seda		Orito	
	Maduro	Pasado	Maduro	Pasado	Maduro	Pasado
Azúcares Reductores (%)	0,40	2,26	0,33	2,06	0,69	2,02

En la tabla 16 se demuestra el resultado de análisis estructural para azúcares reductores a las variables de cáscaras de banano evaluadas. Alvarado (2021), explica en su investigación que el valor de azúcar reductor fue de 1,98 de acuerdo al grado de madurez (maduro) identificado en la cascara de banano, para Rojas et al. (2019), se obtuvo valor de 4,00; y para Zapata y Peláez (2018) se evidenció un valor de 0,54%. Determinando valores menores a 3 de azúcares reductores ayudan a metabolizar y favorecer la fermentación y la obtención de alcohol. Lo que de acuerdo a los datos obtenidos en la presente investigación permite que la obtención de alcohol sea adecuada y de calidad independiente de la variedad de cascara de banano a utilizarse.

## 4.2. Combinación de residuos biomásicos para la obtención de jarabe rico en glucosa

### 4.2.1. Contenido de glucosa

Se presenta los valores del contenido de glucosa en estado maduro.

**Tabla 17**

*Contenido de glucosa estado maduro*

Muestra	Abs	Abs neta	Concentración (mg/l)	Volumen (L)	FD	Peso muestra (g)	mg glucosa/g de muestra	Promedio	Porcentaje	Promedio
Seda	0,49	0,27	47,71	0,02	50,00	40,00	1,19		0,12	
	0,33	0,12	20,23	0,02	50,00	40,00	0,51	0,73	0,05	0,07
	0,33	0,12	20,23	0,02	50,00	40,00	0,51		0,05	
	0,40	0,19	32,51	0,02	50,00	40,00	0,81		0,08	
barraganete	0,34	0,12	21,40	0,02	50,00	40,00	0,54	0,71	0,05	0,07
	0,40	0,18	31,34	0,02	50,00	40,00	0,78		0,08	
	0,70	0,49	85,13	0,02	50,00	40,00	2,13		0,21	
Orito	0,68	0,46	80,45	0,02	50,00	40,00	2,01	2,06	0,20	0,21
	0,68	0,47	81,62	0,02	50,00	40,00	2,04		0,20	

La tabla 17 presenta los valores de absorbancia, absorbancia neta, concentración, volumen, peso muestra, mg glucosa, promedios y porcentajes de las distintas muestras en estado maduro. La variedad que presenta el mayor contenido de glucosa es el Orito con un valor promedio de 0,21mg de glucosa /g de muestra en estado maduro produce más cantidad de glucosa para la producción de alcohol etílico. Zapata y Peláez (2018), menciona que la producción de contenido alta de glucosa se produce con la variedad de Seda con 0,176 en estado pasado, y en contenido bajo a la variedad de Orito con 0,184 mg de glucosa /g de muestra.

**Tabla 18***Contenido de glucosa estado maduro pasado*

Muestra	Abs	Abs neta	Concentración (mg/l)	Volumen (L)	FD	Peso muestra (g)	mg glucosa/g de muestra	Promedio	Porcentaje	Promedio
Seda	1,89	1,67	292,66	0,02	50,00	40,00	7,32		0,73	
	2,09	1,87	327,74	0,02	50,00	40,00	8,19	7,80	0,82	0,78
	2,02	1,80	316,05	0,02	50,00	40,00	7,90		0,79	
	2,26	2,04	358,14	0,02	50,00	40,00	8,95		0,90	
Barraganete	2,25	2,03	355,80	0,02	50,00	40,00	8,89	8,96	0,89	0,90
	2,28	2,06	361,06	0,02	50,00	40,00	9,03		0,90	
	2,00	1,78	312,54	0,02	50,00	40,00	7,81		0,78	
Orito	2,03	1,81	317,22	0,02	50,00	40,00	7,93	7,82	0,79	0,78
	1,98	1,76	308,45	0,02	50,00	40,00	7,71		0,77	

La tabla 18 presenta los valores de absorbancia, absorbancia neta, concentración, volumen, peso muestra, mg glucosa, promedios y porcentajes de las distintas muestras en estado maduro pasado. La variedad que presenta el mayor contenido de glucosa es el Barraganete con un valor promedio de 0,90 de glucosa /g de muestra en estado maduro produce más cantidad de glucosa para la producción de alcohol etílico. Rojas et al. (2019) la variedad de Barraganete obtuvo un valor de 0,289 y la variedad de Seda con 0,175 ha estado maduro, manifestando que para una producción elevada se requiere de una cantidad de 1000 gr para una obtención alta de alcohol etílico con residuos de Barraganete.

#### **4.2.2. Análisis de varianza de la variable concentración de glucosa**

Se presenta los datos obtenidos del análisis de varianza correspondiente a la variable glucosa con lo resultante a continuación:

**Tabla 19**

*Análisis de varianza para la variable glucosa*

<b>Análisis de Varianza para % Glucosa</b>					
<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Efectos Principales					
A:A	0,207317	2	0,103658	15,00	0,0001
B:B	22,3729	1	22,3729	3237,24	0,0000
C:C	0,000711111	1	0,000711111	0,10	0,7512
Interacciones					
AB	0,38405	2	0,192025	27,78	0,0000
AC	0,000205556	2	0,000102778	0,01	0,9852
BC	0,0000111111	1	0,0000111111	0,00	0,9683
ABC	0,000338889	2	0,000169444	0,02	0,9758
Residuos	0,165867	24	0,00691111		
Total (Corregido)	23,1314	35			

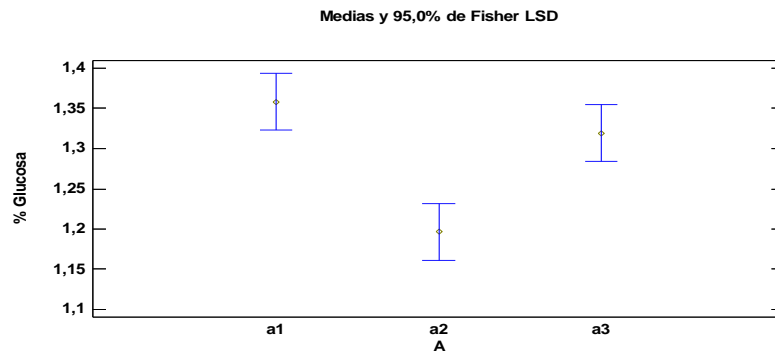
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

*Nota:* \*\*: altamente significativo; *ns*: no significativo. Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

La tabla descompone la variabilidad de los factores A: variedad de banano, B: grado de madurez, C: cantidad de ácido sulfúrico de la variable glucosa. Los valores de probabilidad prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 3 valores de probabilidad son menores que 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre % Glucosa con un 95,0% de nivel de confianza.

**Figura 7**

*Medias de factor A de la variable glucosa*



**Tabla 20**

*Prueba de rangos múltiples del factor A de la variable glucosa*

Variedad de cáscara	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
a <sub>2</sub>	12	1,18417	0,0239985	X
a <sub>3</sub>	12	1,3275	0,0239985	X
a <sub>1</sub>	12	1,35833	0,0239985	X

En la figura 7 y tabla 20 se evidencia la comparación de medias del factor A para determinar cuáles son significativamente diferentes de otras. Se identifica que existen grupos homogéneos agrupados por los niveles a<sub>1</sub> y a<sub>3</sub> pertenecientes a la cáscara de banano indiferente de su especie; pero si diferente con a<sub>2</sub> (Seda).

**Tabla 21**

*Prueba de rangos múltiples % Glucosa por A*

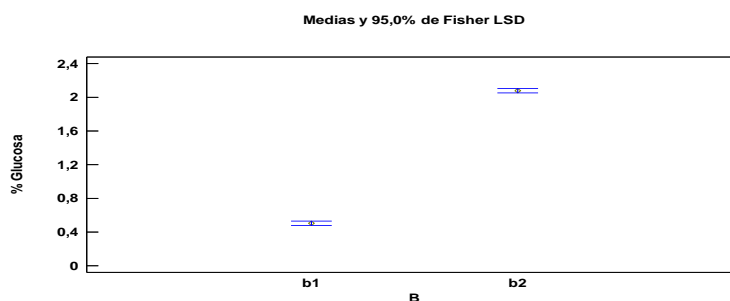
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
a <sub>1</sub> - a <sub>2</sub>	*	0,174167	0,0700467
a <sub>1</sub> - a <sub>3</sub>		0,030833	0,0700467
a <sub>2</sub> - a <sub>3</sub>	*	-0,143333	0,0700467

\* indica una diferencia significativa.

Esta tabla 21 se aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

**Figura 8**

*Medias de factor B de la variable glucosa*



**Tabla 22**

*Prueba de rangos múltiples del factor B de la variable glucosa*

Grado de madurez	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
b <sub>1</sub>	18	0,50166	0,0195947	X
b <sub>2</sub>	18	2,07833	0,0195947	X

En la figura 8 y tabla 22 se evidencia la comparación de medias del factor B: grado de madurez para determinar cuáles son significativamente diferentes de otras. Se identificó que existe grupos homogéneos agrupados por los niveles b<sub>1</sub> y b<sub>2</sub> pertenecientes al grado de madurez indiferente de su grado. La media del nivel 1 es diferente a la media del nivel 2 del factor B.

**Tabla 23**

*Prueba de rangos múltiples % Glucosa por B*

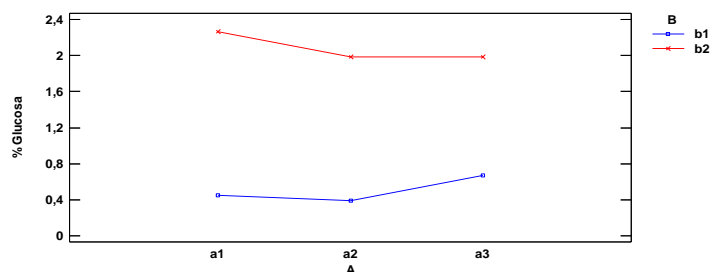
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
b <sub>1</sub> - b <sub>2</sub>	*	-1,57667	0,0571929

\* indica una diferencia significativa.

En la tabla 23 se aplica un procedimiento de comparación medias. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

**Figura 9**

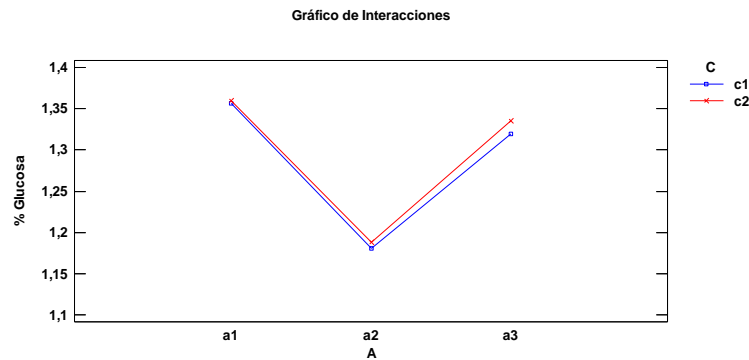
*Interacción de los niveles del factor Ax B de glucosa*



La figura 9 indica que la interacción del factor A con el factor B, muestra que las tres variedades de cáscaras de banano mediante un grado de madurez pasado se obtiene una mayor cantidad de glucosa. El valor menor en el estudio presente fue de 0,45% y el máximo fue de 2,2%. Zapata y Peláez (2018) que trabajó con 500g de residuos en el que obtuvo 1,43% de glucosa. Para Rojas et al. (2019) en cambio obtuvieron en promedio 1,12%.

### Figura 10

*Interacción de los niveles del factor AxC de glucosa*



La figura 10 indica que la interacción del factor A con el factor C, muestra que las tres variedades de cáscaras de banano mediante una concentración de ácido sulfúrico con el 2% se obtiene una mayor cantidad de glucosa. El valor menor en el estudio presente fue de 1,2% y el máximo fue de 1,38%. Zapata y Peláez (2018) que trabajó con 500g de residuos en el que obtuvo 0,98% de glucosa. Para Rojas et al. (2019) en cambio obtuvieron en promedio 1,22% al igual que Alvarado (2021) determinaron 1,4% de glucosa.

### Análisis de varianza correspondiente a la variable alcohol etílico

Se presenta los datos obtenidos del análisis de varianza correspondiente a la variable del alcohol etílico con lo resultante a continuación:



**Tabla 24**

*Análisis de varianza para la variable alcohol étílico*

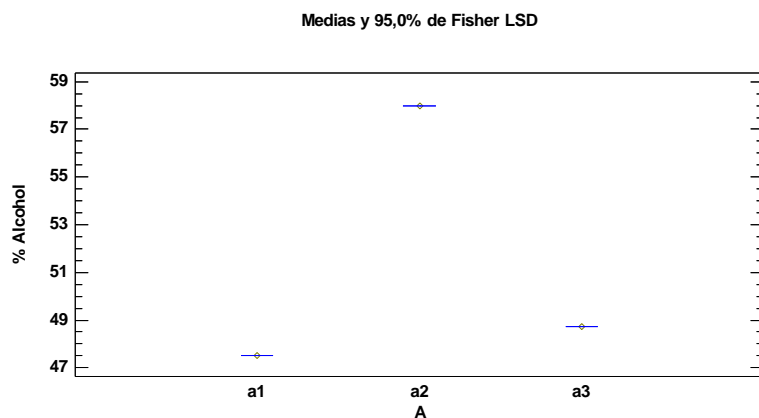
<b>Análisis de Varianza para % alcohol étílico</b>					
<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Efectos Principales					
A:A	789,5	2	394,75	*****	0,0000
B:B	56,25	1	56,25	*****	0,0000
C:C	2,25	1	2,25	*****	0,0000
Interacciones					
AB	4555,5	2	2277,75	*****	0,0000
AC	1396,5	2	698,25	*****	0,0000
BC	110,25	1	110,25	*****	0,0000
ABC	2206,5	2	1103,25	*****	0,0000
Residuos	3,63798E-12	24	0		
Total (Corregido)	9116,75	35			

*Nota:* Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

La tabla 24 indica la variabilidad de los factores A: variedad de banano, B: grado de madurez, C: cantidad de ácido sulfúrico del % Alcohol. Los valores de probabilidad prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 7 valores de probabilidad son menores que 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre % Alcohol con un 95,0% de nivel de confianza.

**Figura 11**

*Medias de factor A de la variable alcohol*



**Tabla 25***Prueba de rangos múltiples del factor A de la variable alcohol etílico*

Variedad de la cáscara de banano	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
a <sub>1</sub>	12	47,50	1,12392E-7	X
a <sub>3</sub>	12	48,75	1,12392E-7	X
a <sub>2</sub>	12	58,00	1,12392E-7	X

En la figura 11 y tabla 25 se evidencia la comparación de medias del factor A para determinar cuáles son significativamente diferentes de otras. Se identificó que existe grupos heterogéneos en todos los niveles presenta diferencia significativa en la variedad de cáscara de banano.

**Tabla 26***Prueba de rangos múltiples % Alcohol por A*

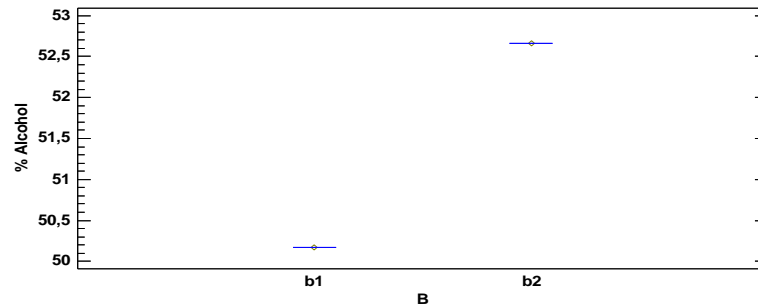
Contrast e	Sig.	Diferencia	+/- Límites
a <sub>1</sub> - a <sub>2</sub>	*	-10,5	3,28049E-7
a <sub>1</sub> - a <sub>3</sub>	*	-1,25	3,28049E-7
a <sub>2</sub> - a <sub>3</sub>	*	9,25	3,28049E-7

\* indica una diferencia significativa.

Esta tabla 28 se aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher.

**Figura 12**

*Medias de factor B de la variable alcohol.*



**Tabla 27**

*Prueba de rangos múltiples del factor B de la variable alcohol etílico*

Grado de madurez	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
b <sub>1</sub>	18	50,1667	9,17674E-8	X
b <sub>2</sub>	18	52,6667	9,17674E-8	X

En la figura 12 y tabla 27 se evidencia la comparación de medias del factor B para determinar cuáles son significativamente diferentes de otras. Se identificó que existe grupos heterogéneos agrupados por los niveles b<sub>1</sub> y b<sub>2</sub> pertenecientes al grado de madurez indiferente de su grado.

**Tabla 28**

*Prueba de rangos múltiples % Alcohol por B*

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
b <sub>1</sub> - b <sub>2</sub>	*	-2,5	2,6785E-7

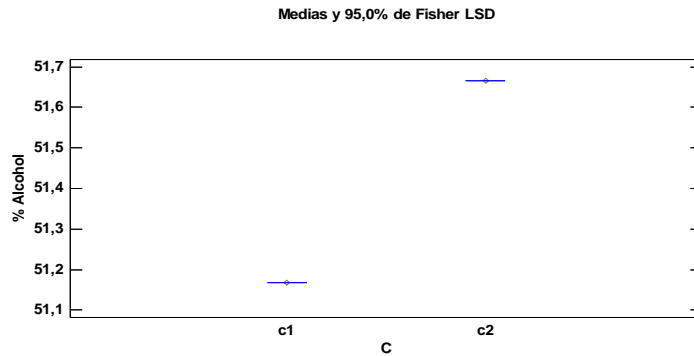
\* indica una diferencia significativa.

Esta tabla 28 se aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que

cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

**Figura 13**

*Medias de factor C de la variable alcohol*



**Tabla 29**

*Prueba de rangos múltiples del factor C de la variable alcohol etílico*

Concentración de ácido sulfúrico	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
c1	18	51,1667	9,17674E-8	X
c2	18	51,6667	9,17674E-8	X

En la figura 13 y tabla 29 se evidencia la comparación de medias del factor C para determinar cuáles son significativamente diferentes de otras. Se identificó que existe grupos heterogéneos agrupados por los niveles c<sub>1</sub> y c<sub>2</sub> perteneciente a la concentración de ácido sulfúrico al 1 y 2%.

**Tabla 30**

*Prueba de rangos múltiples % Alcohol por C*

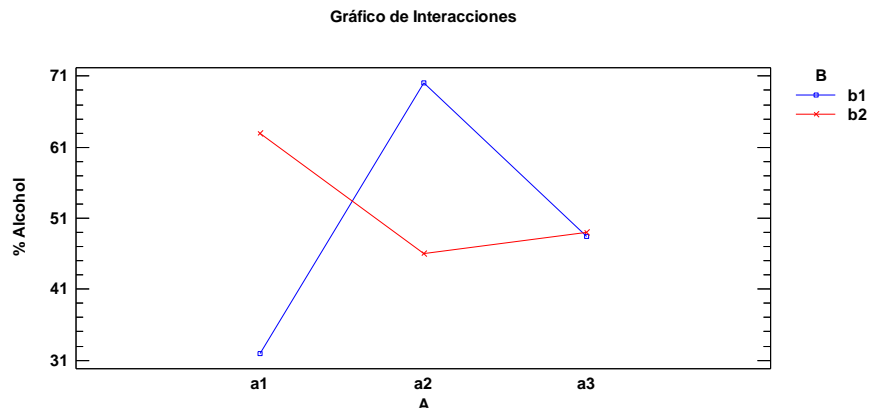
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
c <sub>1</sub> - c <sub>2</sub>	*	-0,5	2,6785E-7

\* indica una diferencia significativa.

Esta tabla 30 se aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

### Figura 14

*Interacción de los niveles del factor AxB de alcohol*



La figura 14 indica que la interacción del factor A con el factor B. El valor menor en el estudio presente fue de 0,31% y el máximo fue de 0,70%. Zapata y Peláez (2018) que trabajó con 500g de residuos en el que obtuvo 1,2% de alcohol etílico. Para Rojas et al. (2019) en cambio obtuvieron en promedio 0,78% al igual que Alvarado (2021) determinaron 0,69% de alcohol etílico.

**Figura 15**

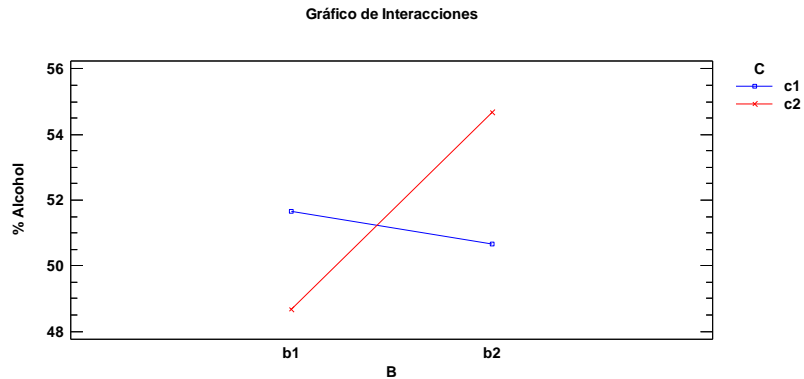
*Interacción de los niveles del factor Ax C de alcohol*



La figura 15 indica que la interacción del factor A con el factor C. El valor menor en el estudio presente fue de 0,41% y el máximo fue de 0,68%. Zapata y Peláez (2018) que trabajó con 500g de residuos en el que obtuvo 0,61% de alcohol etílico. Para Rojas et al. (2019) en cambio obtuvieron en promedio 0,58% al igual que Alvarado (2021) determinaron 0,79% de alcohol etílico.

**Figura 16**

*Interacción de los niveles del factor B x C de alcohol*



La figura 16 indica que la interacción del factor B con el factor C. El valor menor en el estudio presente fue de 0,48% y el máximo fue de 0,66%. Zapata y Peláez (2018) que trabajó con 500g de residuos en el que obtuvo 0,64% de alcohol etílico. Para Rojas et

al. (2019) en cambio obtuvieron en promedio 0,68% al igual que Alvarado (2021) determinaron 0,59% de alcohol etílico.

#### 4.2.3. Análisis de Varianza de la variable del rendimiento

Se presenta los datos obtenidos del análisis de varianza correspondiente a la variable del rendimiento con lo resultante a continuación:

**Tabla 31**

*Análisis de varianza para la variable del rendimiento*

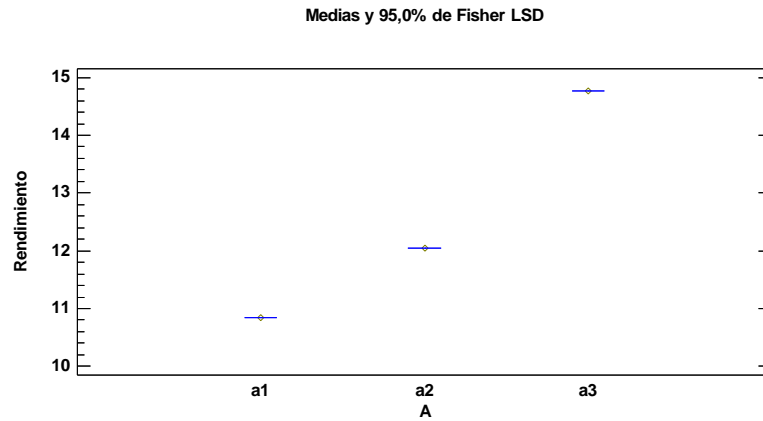
<b>Análisis de Varianza para % de rendimiento</b>					
<b>Fuente</b>	<b>Suma De Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Efectos Principales					
A:A	97,085	2	48,5425	*****	0,0000
B:B	26,5225	1	26,5225	*****	0,0000
C:C	8,1225	1	8,1225	*****	0,0000
Interacciones					
AB	378,605	2	189,302	*****	0,0000
AC	298,935	2	149,467	*****	0,0000
BC	0,4225	1	0,4225	*****	0,0000
ABC	560,015	2	280,008	*****	0,0000
Residuos	0	24	0		
Total (Corregido)	1369,71	35			

*Nota:* Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

La tabla descompone la variabilidad de los factores A: variedad de banano, B: grado de madurez, C: cantidad de ácido sulfúrico del rendimiento. Los valores de probabilidad prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 7 valores de probabilidad son menores que 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre Rendimiento con un 95,0% de nivel de confianza.

**Figura 17**

*Medias de factor A de la variable del rendimiento*



**Tabla 32**

*Prueba de rangos múltiples del factor A de la variable de rendimiento*

Variedad de cáscara de banano	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
a1	12	10,85	2,65894E-8	X
a2	12	12,05	2,65894E-8	X
a3	12	14,78	2,65894E-8	X

En la figura 17 y tabla 32 se evidencia la comparación de medias del factor A para determinar cuáles son significativamente diferentes de otras. Se identificó que existe grupos heterogéneos agrupados por los niveles a1, a2, y a3 con diferencia significativa entre variedades de cáscara de banano.

**Tabla 33**

*Prueba de rangos múltiples % de rendimiento por A*

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
a1 - a2	*	-1,200	7,76091E-8
a1 - a3	*	-3,925	7,76091E-8
a2 - a3	*	-2,725	7,76091E-8

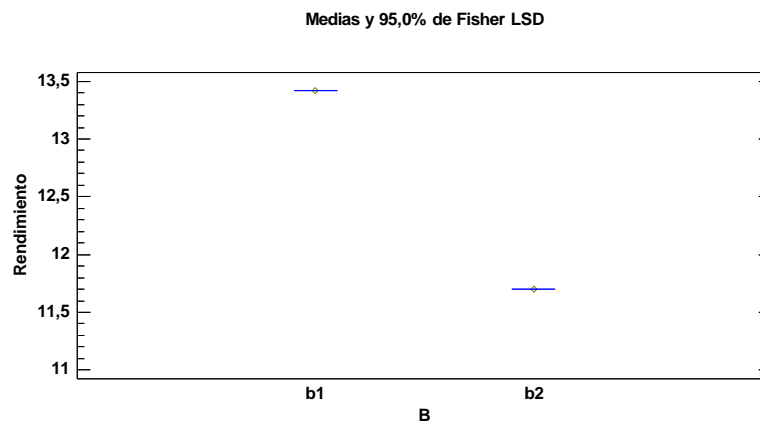
\* indica una diferencia significativa.



Esta tabla 33 se aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. El método empleado es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

**Figura 18**

*Medias de factor B de la variable del rendimiento*



**Tabla 34**

*Prueba de rangos múltiples del factor B de la variable de rendimiento*

Grado de madurez	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
b <sub>2</sub>	18	11,7	2,17102E-8	X
b <sub>1</sub>	18	13,4167	2,17102E-8	X

En la figura 18 y tabla 34 se evidencia la comparación de medias del factor B para determinar cuáles son significativamente diferentes de otras. Se identificó que existe grupos heterogéneos agrupados por los niveles b<sub>1</sub> y b<sub>2</sub> pertenecientes al grado de madurez indiferente de su grado.

**Tabla 35**

*Prueba de rangos múltiples % de rendimiento por B*

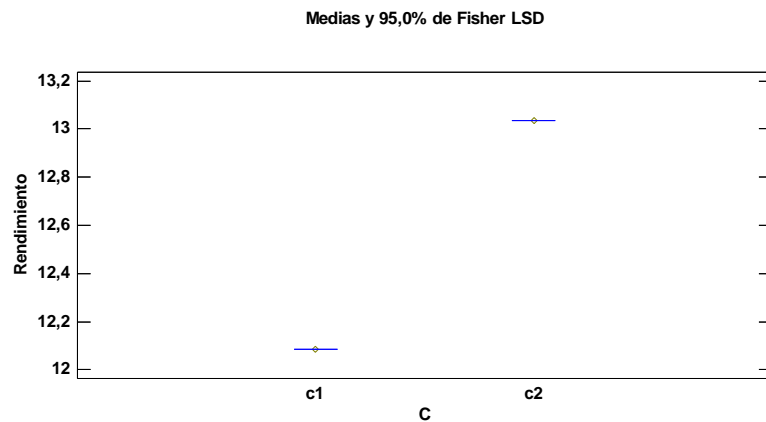
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
$b_1 - b_2$	*	1,71667	6,33676E-8

\* indica una diferencia significativa.

Esta tabla 35 se aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. El método empleado es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

**Figura 19**

*Medias de factor B de la variable del rendimiento*



**Tabla 36**

*Prueba de rangos múltiples del factor C de la variable de rendimiento*

Concentración de ácido sulfúrico	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
c1	18	12,0833	2,17102E-8	X
c2	18	13,0333	2,17102E-8	X

En la figura 19 y tabla 36 se evidencia la comparación de medias del factor C para determinar cuáles son significativamente diferentes de otras. Se identificó que existe grupos homogéneos agrupados por los niveles  $c_1$  y  $c_2$  perteneciente a la concentración de ácido sulfúrico al 1 y 2%.

**Tabla 37**

*Prueba de rangos múltiples % de rendimiento por C*

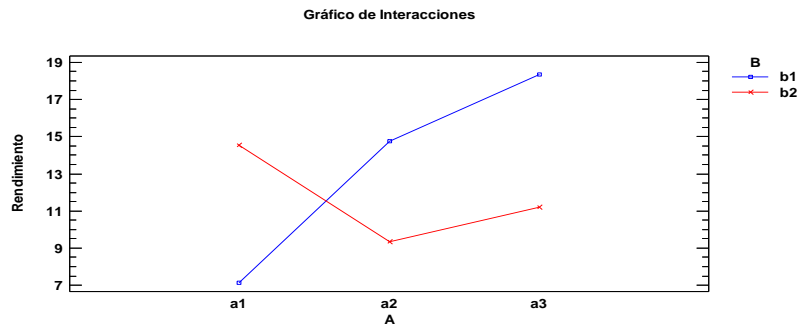
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
$c_1 - c_2$	*	-0,95	6,33676E-8

\* indica una diferencia significativa.

Esta tabla 37 se aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

**Figura 20**

*Interacción de los niveles del factor Ax B de rendimiento*

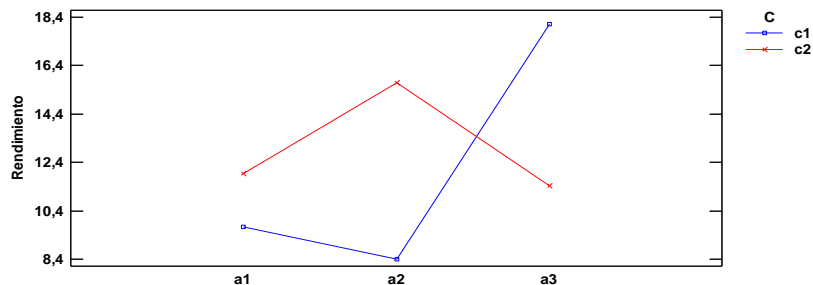


La figura 20 indica que la interacción del factor A con el factor B demuestra que, el valor menor en el estudio presente fue de 0,07% y el máximo fue de 0,18%. Zapata y Peláez (2018) que trabajó con 500g de residuos en el que obtuvo 0,12% de rendimiento

de alcohol etílico. Para Rojas et al. (2019) en cambio obtuvieron en promedio 0,08% al igual que Alvarado (2021) determinaron 0,19% al rendimiento de alcohol etílico.

### Figura 21

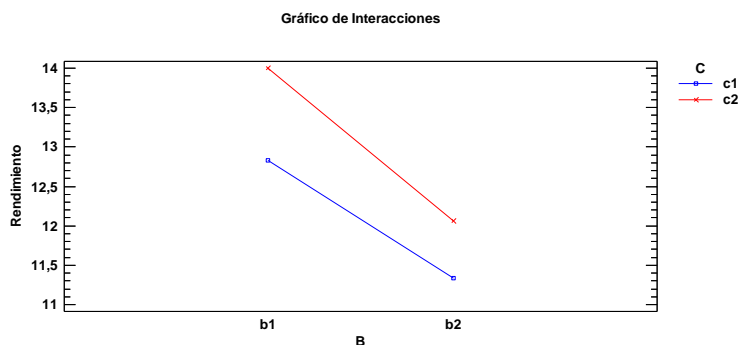
*Interacción de los niveles del factor AxC de rendimiento*



La figura 21 indica que la interacción del factor A con el factor C demuestra que, el valor menor en el estudio presente fue de 8,40% y el máximo fue de 18,40%. Zapata y Peláez (2018) que trabajó con 500g de residuos en el que obtuvo 7,25% al rendimiento de alcohol etílico. Para Rojas et al. (2019) en cambio obtuvieron en promedio 9,58% al igual que Alvarado (2021) determinaron 9,79% al rendimiento de alcohol etílico.

### Figura 22

*Interacción de los niveles del factor BxC de rendimiento*



La figura 22 indica que la interacción del factor B con el factor C, demuestra que el grado de madurez con una concentración de ácido sulfúrico del 2% se obtiene un mayor

rendimiento de alcohol etílico. El valor menor en el estudio presente fue de 11,3% y el máximo fue de 14,0%. Peláez (2018) que trabajó con 500g de residuos en el que obtuvo 10,4% de un mayor rendimiento de alcohol etílico. Para Rojas et al. (2019) en cambio obtuvieron en promedio 11,8% al igual que Alvarado (2021) determinaron 12,5% de un mayor rendimiento de alcohol etílico.

### 4.3. Proceso para la obtención de alcohol etílico

#### 4.3.1. Proceso de destilación simple

**Tabla 38**

*Proceso de destilación simple*

Tratamientos	volumen ml	Alc.% vol.
T1	44	Alc.26 % vol.
T2	20	Alc.56 % vol.
T3	55	Alc.22 % vol.
T4	85	Alc.25 % vol.
T5	56	Alc.17 % vol.
T6	41	Alc.23 % vol.
T7	51	Alc.27 % vol.
T8	75	Alc.30 % vol.
T9	45	Alc.26 % vol.
T10	47	Alc.29 % vol.
T11	56	Alc.31 % vol.
T12	42	Alc.27 % vol.

En la tabla 38 indica los tratamientos que utilizamos en el proceso de destilación para obtener alcohol. El mayor grado alcohólico es el tratamiento 2 que corresponde a Barraganete maduro con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 2%, que se obtuvo mediante la destilación simple con un valor de 20ml y 56% vol.

### 4.3.2. Proceso de destilación fraccionada

**Tabla 39**

*Proceso de destilación fraccionada*

<b>Tratamientos</b>	<b>Volumen ml</b>	<b>Alc.% vol.</b>
T1	38	Alc.44% vol.
T2	35	Alc.50 % vol.
T3	41	Alc.43 % vol.
T4	48	Alc.46 % vol.
T5	18	Alc.40 % vol.
T6	19	Alc.52 % vol.
T7	46	Alc.37 % vol.
T8	36	Alc.54 % vol.
T9	30	Alc.39 % vol.
T10	28	Alc.59 % vol.
T11	28	Alc.60 % vol.
T12	32	Alc.53 % vol.

En la tabla 39 indica los 12 tratamientos que utilizamos en el proceso de destilación para obtener alcohol. El tratamiento 11 que corresponde al Orito maduro pasado con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 1%, se obtuvo mediante la destilación fraccionada con un valor de 28ml y Alc.60 % vol. Es el mejor tratamiento de investigación desarrollada.

### 4.4. Cinética de reacción que tiene el procesamiento agroindustrial en la obtención de alcohol (Contenido de bioetanol)

#### 4.4.1. Modelamiento matemático

El contenido de glucosa a partir de residuos biomásicos de cáscaras de banano (Barraganete, Seda y Orito), a dos grados de madurez (maduro y maduro pasado) con concentración de ácido sulfúrico (1 y 2%).

**Tabla 40***Valores obtenidos del °Brix*

Tiempo/Días	°Brix											
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
0	17,0	16,0	10,0	12,0	15,0	15,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	12,0
7	8,0	14,0	6,0	7,0	9,0	13,0	8,0	8,0	8,0	8,0	4,5	6,0
13	7,5	12,0	5,0	6,5	7,0	11,0	7,0	7,0	7,0	7,0	2,0	3,0
20	7,0	11,0	4,0	5,0	5,0	8,0	6,0	6,0	5,0	5,0	2,0	3,0

En la tabla 40 se evidencia los valores obtenidos de los °Brix, mediante el modelamiento matemático desde el día 0 hasta el día 20. El rendimiento del contenido de glucosa a partir de los °Brix se relaciona la máxima cantidad para producción de alcohol etílico que se puede extraer es en el día 20 para el tratamiento 2 (Barraganete en estado maduro al 2% de concentración de ácido sulfúrico). Y para el día 13 el tratamiento 6 (Seda en estado maduro al 2% de concentración de ácido sulfúrico).

**Tabla 41**

*Modelos matemáticos*

Nombre del modelo	Ecuación	T1		T2		T3		T4	
		Parámetro	Estadística	Parámetro	Estadística	Parámetro	Estadística	Parámetro	Estadística
Lineal	$°B = a + k * t$	$k = 0,4656$	$R^2 = 0,6931$	$k = 0,2569$	$R^2 = 0,9753$	$k = 0,2890$	$R^2 = 0,8774$	$k = 0,3280$	$R^2 = 0,8470$
		$a = 14,5310$	RMSE = 3,2349	$a = 15,8188$	RMSE = 0,4270	$a = 9,1399$	RMSE = 1,1277	$a = 10,9048$	RMSE = 1,4555
Henderson and Pabis	$°B = a * e^{-k*st}$	$k = 0,0573$	$R^2 = 0,8241$	$k = 0,0196$	$R^2 = 0,9870$	$k = 0,0508$	$R^2 = 0,9537$	$k = 0,0473$	$R^2 = 0,9206$
		$a = 15,8557$	RMSE = 2,4491	$a = 15,9553$	RMSE = 0,3101	$a = 9,6542$	RMSE = 0,6929	$a = 11,4748$	RMSE = 1,0484
Exponencial	$°B = e^{a-k*st}$	$k = 0,0573$	$R^2 = 0,8241$	$k = 0,0196$	$R^2 = 0,9870$	$k = 0,0508$	$R^2 = 0,9537$	$k = 0,0473$	$R^2 = 0,9206$
		$a = 2,7635$	RMSE = 2,4491	$a = 2,7698$	RMSE = 0,3101	$a = 2,2674$	RMSE = 0,6929	$a = 2,4402$	RMSE = 1,0484
Von Bertalanffy	$°B = a * e^{-k*st} + b$	$k = 0,3449$	$R^2 = 0,9988$	$k = 0,0002$	$R^2 = 0,9752$	$k = 0,1357$	$R^2 = 0,9961$	$k = 0,1597$	$R^2 = 0,9802$
		$a = 9,8308$	RMSE = 0,2034	$a = 1689,2889$	RMSE = 0,4281	$a = 6,2825$	RMSE = 0,2009	$a = 6,9201$	RMSE = 0,5237
Sigmoid	$°B = \frac{a}{1 + e^{\frac{t-b}{c}}}$	$b = 7,1673$		$b = 1705,1061$		$b = 3,6987$		$b = 5,0411$	
		$a = 10,8373$	$R^2 = 0,1622$	$a = 14,0021$	$R^2 = 0,4586$	$a = 7,0031$	$R^2 = 0,3262$	$a = 7,6250$	$R^2 = 0,3262$
		$b = 3,3121$	RMSE = 5,3446	$b = 9,1806$	RMSE = 1,9983	$b = 6,6299$	RMSE = 2,6439	$b = 3,5596$	RMSE = 2,6439
Inversa de Y	$°B = \frac{1}{a + k * t}$	$c = 0,1608$	$R^2 = 0,9194$	$c = 0,4311$	$R^2 = 0,9904$	$c = 0,3269$	$R^2 = 0,9909$	$c = 0,0595$	$R^2 = 0,9663$
		$k = 0,0061$	RMSE = 1,6579	$k = 0,0015$	RMSE = 0,2665	$k = 0,0081$	RMSE = 0,3066	$k = 0,0063$	RMSE = 0,6826
Logarítmica de Y	$°B = e^{a+k*\sqrt{t}}$	$a = 0,0601$	$R^2 = 0,9655$	$a = 0,0623$	$R^2 = 0,9359$	$a = 0,1008$	$R^2 = 0,9985$	$a = 0,0846$	$R^2 = 0,9897$
		$k = 0,2272$	RMSE = 1,0841	$k = 0,0793$	RMSE = 0,6878	$k = 0,1979$	RMSE = 0,1247	$k = 0,1880$	RMSE = 0,3770

*Nota.* s/a: sin ajuste;  $R^2$ : coeficiente de determinación; RMSE: error cuadrático medio



**Tabla 42**

*Modelos matemáticos*

Nombre del modelo	Ecuación	T5		T6		T7		T8	
		Parámetro	Estadística	Parámetro	Estadística	Parámetro	Estadística	Parámetro	Estadística
Lineal	${}^{\circ}B = a + k * t$	$k = 0,4862$	$R^2 = 0,9204$	$k = 0,3486$	$R^2 = 0,9905$	$k = 0,1972$	$R^2 = 0,9693$	$k = 0,1972$	$R^2 = 0,9693$
		$a = 13,8624$	RMSE = 1,4931	$a = 15,2362$	RMSE = 0,3568	$a = 9,7225$	RMSE = 0,3663	$a = 9,7225$	RMSE = 0,3663
Henderson and Pabis	${}^{\circ}B = a * e^{-k*t}$	$k = 0,0585$	$R^2 = 0,9843$	$k = 0,0290$	$R^2 = 0,9657$	$k = 0,0260$	$R^2 = 0,9900$	$k = 0,0260$	$R^2 = 0,9900$
		$a = 14,6946$	RMSE = 0,6620	$a = 15,3563$	RMSE = 0,6777	$a = 9,8696$	RMSE = 0,2093	$a = 9,8696$	RMSE = 0,2093
Exponencia 1	${}^{\circ}B = e^{a-k*t}$	$k = 0,0585$	$R^2 = 0,9843$	$k = 0,0290$	$R^2 = 0,9657$	$k = 0,0260$	$R^2 = 0,9900$	$k = 0,0260$	$R^2 = 0,9900$
		$a = 2,6875$	RMSE = 0,6620	$a = 2,7315$	RMSE = 0,6777	$a = 2,2895$	RMSE = 0,2093	$a = 2,2895$	RMSE = 0,2093
Von Bertalanffy	${}^{\circ}B = a * e^{-k*t} + b$	$k = 0,0001$	$R^2 = 0,9202$	$k = 0,0005$	$R^2 = 0,9902$	$k = 0,0587$	$R^2 = 0,9989$	$k = 0,0587$	$R^2 = 0,9989$
		$a = 4199,027$ $b = 4212,885$	RMSE = 1,4948	$a = 759,4785$ $b = 744,2381$	RMSE = 0,3619	$a = 5,7333$ $b = 4,2540$	RMSE = 0,0680	$a = 5,7333$ $b = 4,2540$	RMSE = 0,0680
Sigmoid	${}^{\circ}B = \frac{a}{1 + e^{\frac{t-b}{c}}}$	$a = 12,0152$	$R^2 = 0,2371$	$a = 11,7500$	$R^2 = 0,0000$	$a = 2,4596$	$R^2 = s/a$	$a = 2,4596$	$R^2 = s/a$
		$b = 9,9833$ $c = 0,7487$	RMSE = 4,6217	$b = 19,1491$ $c = 0,4036$	RMSE = 3,6572	$b = 0,1699$ $c = 0,0000$	RMSE = s/a	$b = 0,1699$ $c = 0,0000$	RMSE = s/a
Inversa de Y	${}^{\circ}B = \frac{1}{a + k * t}$	$k = 0,0063$	$R^2 = 0,9981$	$k = 0,0023$	$R^2 = 0,9321$	$k = 0,0033$	$R^2 = 0,9988$	$k = 0,0033$	$R^2 = 0,9988$
		$a = 0,0666$	RMSE = 0,2320	$a = 0,0650$	RMSE = 0,9532	$a = 0,1003$	RMSE = 0,0714	$a = 0,1003$	RMSE = 0,0714
Logarítmica de Y	${}^{\circ}B = e^{a+k*\sqrt{t}}$	$k = 0,2205$	$R^2 = 0,9862$	$k = 0,1094$	$R^2 = 0,8220$	$k = 0,1053$	$R^2 = 0,9728$	$k = 0,1053$	$R^2 = 0,9728$
		$a = 2,7173$	RMSE = 0,6205	$a = 2,7408$	RMSE = 1,5428	$a = 2,3142$	RMSE = 0,3452	$a = 2,3142$	RMSE = 0,3452

*Nota.* s/a: sin ajuste;  $R^2$ : coeficiente de determinación; RMSE: error cuadrático medio

**Tabla 43**

*Modelos matemáticos*

Nombre del modelo	Ecuación	T9		T10		T11		T12	
		Parámetro	Estadística	Parámetro	Estadística	Parámetro	Estadística	Parámetro	Estadística
	$^{\circ}B = a + k * t$	$k = 0,2431$	$R^2 = 0,9912$	$k = 0,2431$	$R^2 = 0,9912$	$k = 0,4014$	$R^2 = 0,8227$	$k = 0,4541$	$R^2 = 0,8326$
		$a = 9,9312$	RMSE = 0,2395	$a = 9,9312$	RMSE = 0,2395	$a = 8,6388$	RMSE = 1,9451	$a = 10,5413$	RMSE = 2,1262
Henderson and Pabis	$^{\circ}B = a * e^{-k*t}$	$k = 0,0322$	$R^2 = 0,9823$	$k = 0,0322$	$R^2 = 0,9823$	$k = 0,1077$	$R^2 = 0,9776$	$k = 0,0909$	$R^2 = 0,9693$
		$a = 10,0679$	RMSE = 0,3389	$a = 10,0679$	RMSE = 0,3389	$a = 9,9111$	RMSE = 0,6908	$a = 11,8409$	RMSE = 0,9104
Exponencial	$^{\circ}B = e^{a-k*t}$	$k = 0,0322$	$R^2 = 0,9823$	$k = 0,0322$	$R^2 = 0,9823$	$k = 0,1077$	$R^2 = 0,9776$	$k = 0,0909$	$R^2 = 0,9693$
Von Bertalanffy	$^{\circ}B = a * e^{-k*t} + b$	$a = 2,3094$	RMSE = 0,3389	$a = 2,3094$	RMSE = 0,3389	$a = 2,2937$	RMSE = 0,6908	$a = 2,4716$	RMSE = 0,9104
		$k = 0,0011$	$R^2 = 0,9912$	$k = 0,0011$	$R^2 = 0,9912$	$k = 0,1571$	$R^2 = 0,9913$	$k = 0,1480$	$R^2 = 0,9892$
Sigmoid	$^{\circ}B = \frac{a}{1 + e^{-\frac{t-b}{c}}}$	$a = 225,1281$	RMSE = 0,2396	$a = 225,1281$	RMSE = 0,2396	$a = 8,6719$	RMSE = 0,4304	$a = 9,8795$	RMSE = 0,5403
		$b = 235,0538$		$b = 235,0538$		$b = 1,3607$		$b = 2,1654$	
		$c = 0,0000$		$c = 0,0000$		$c = 2,1085$		$c = 2,2076$	
Inversa de Y	$^{\circ}B = \frac{1}{a + k * t}$	$a = 1,8033$	$R^2 = s/a$	$a = 1,8033$	$R^2 = s/a$	$a = 10,0078$	$R^2 = 0,8145$	$a = 12,0034$	$R^2 = 0,6700$
		$b = 0,1699$	RMSE = s/a	$b = 0,1699$	RMSE = s/a	$b = 14,3472$	RMSE = 1,9899	$b = 15,4737$	RMSE = 2,9851
Logarítmica de Y	$^{\circ}B = e^{a+k*\sqrt{t}}$	$k = 0,0041$	$R^2 = 0,9614$	$k = 0,0041$	$R^2 = 0,9614$	$k = 0,0213$	$R^2 = 0,9843$	$k = 0,0140$	$R^2 = 0,9836$
		$a = 0,0987$	RMSE = 0,5009	$a = 0,0987$	RMSE = 0,5009	$a = 0,0997$	RMSE = 0,5792	$a = 0,0831$	RMSE = 0,6657
		$k = 0,1242$	$R^2 = 0,8902$	$k = 0,1242$	$R^2 = 0,8902$	$k = 0,3641$	$R^2 = 0,9780$	$k = 0,3173$	$R^2 = 0,9751$
		$a = 2,3264$	RMSE = 0,8448	$a = 2,3264$	RMSE = 0,8448	$a = 2,3091$	RMSE = 0,6858	$a = 2,4920$	RMSE = 0,8195

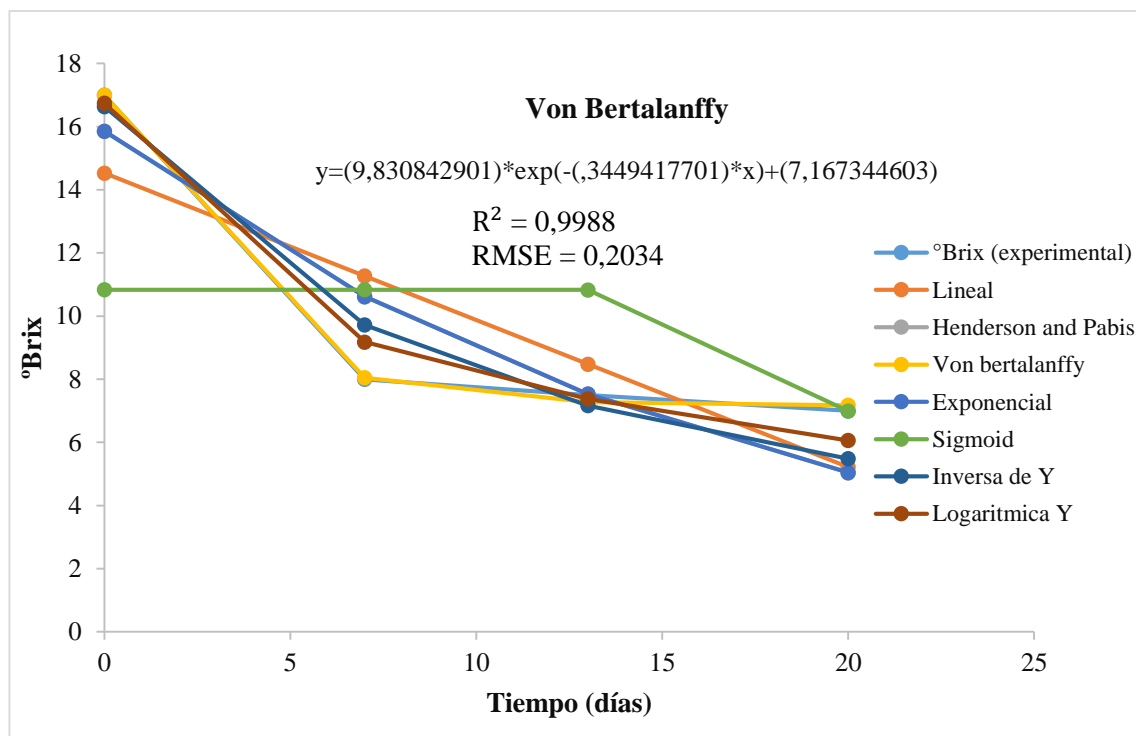
*Nota.* s/a: sin ajuste;  $R^2$ : coeficiente de determinación; RMSE: error cuadrático medio

Se da a conocer los valores del coeficiente de determinación  $R^2$ , y del error cuadrático medio RMSE, en función de los modelos matemáticos aplicados a cada tratamiento. El modelo matemático de Von Bertalanffy, es el más adecuado para describir la cinética de reacción del estudio, por lo que presenta un  $R^2 = 0,9989$  y  $RMSE = 0,0680$ , dichos valores corresponden al tratamiento 8.

#### 4.4.2. Modelos matemáticos

**Figura 23**

*Comparación de modelos matemáticos en relación a los °Brix*



En la figura 23 se indica el ajuste de los modelos matemáticos usados en relación a los valores de los °Brix. Se observa que el modelo que mejor ajuste presenta, es el de Von Bertalanffy  $R^2 = 0,9988$  y,  $RMSE = 0,2034$ . Rojas *et al.* (2019) indica que el modelo Sigmoid aplicado en el estudio de banana y yuca, presentó valores de aceptable con  $R^2 = 0,9993$  y  $RMSE = 0,1368$ .

#### 4.4.3. Los Congéneres por cromatografía de gases

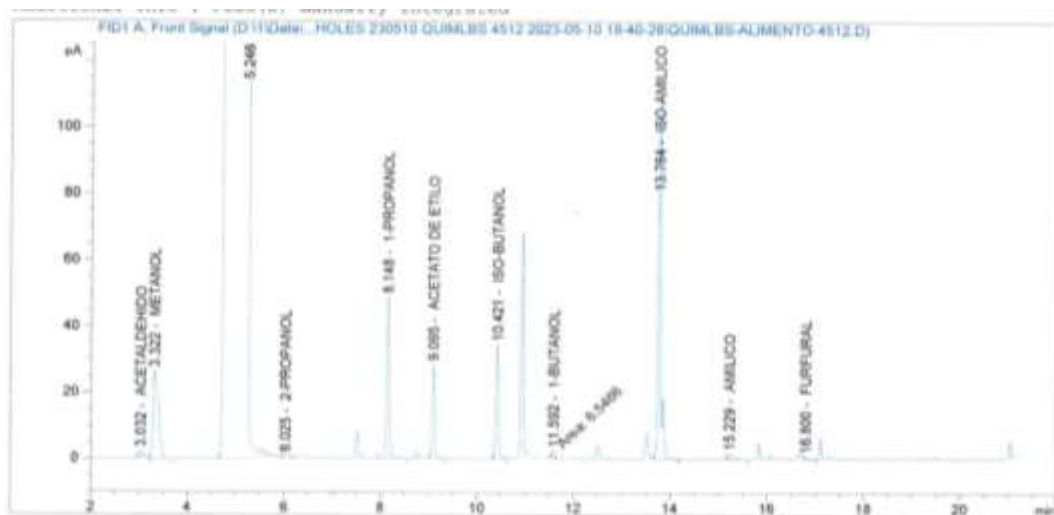
La detección de los congéneres se realizó por cromatografía de gases con un detector de ionización de llama (GC-FID); se empleó una columna capilar compuesta por 6 % de cianopropil- fenil y 94 % de dimetil polixilosano de 60 m x 0,25 mm de diámetro interno(d.i.), con una película de 1,40  $\mu\text{m}$  de espesor.

Las condiciones de operación del equipo fueron las siguientes:

- Se inyectó 1 microlitro de muestra en modo Split 40.1, flujo del gas de arrastre (He) de 2,01 ml/min., temperatura del inyector 180°C, temperatura del detector FID 300°C.
- La temperatura del horno fue 45 °C durante 7,73 min;
- Se incrementó de 45 °C hasta 100 °C a razón de 7 °C/min;
- Se incrementó de 100 °C a 180 °C con rampa a razón de 12 °C/min.

**Figura 24**

*Análisis cromatográfico*



La figura 24 indica los resultados del análisis cromatográfico. Presenta el tiempo de retención y la abundancia de los diversos compuestos volátiles registrados en los 9 picos: acetaldehído, metanol, propanol, acetato de etilo, iso-butanol, butanol, iso-amilico, amílico y furfural.

**Tabla 44**

Compuestos volátiles del alcohol etílico de las cáscaras de banano

N°	Compuesto	TR-min	Concentración %	Fórmula
1	Acetaldehído	3,022	0,4	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O
2	Metanol	3,222	25,0	CH <sub>3</sub> OH
3	Propanol	6,025	0,3	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O
4	Acetato de etilo	9,095	30,0	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>
5	Iso-butanol	10,421	35,0	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O
6	Butanol	11,592	0,1	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O
7	Iso-amílico	13,764	105,0	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O
8	Amílico	15,229	0,2	C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> O
9	Furfural	16,800	0,1	C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>

En la tabla 44 se detalla los nueve compuestos encontrados. Los compuestos que presentan mayor concentración corresponde al iso-amílico con un tiempo de retención de 13,76 min y una abundancia de 105,0%. Metanol con un tiempo de retención de 3,22 min y una abundancia de 25,0%. Rojas *et al.* (2019) en su estudio evidencia metanol con el tiempo de retención de 14,56 min y la abundancia de 102,22% y propanol con un tiempo de retención de 0,02 min y una abundancia de 2,22%.

**Tabla 45***Resultados del análisis de cromatografía de gases.*

Parámetro	Unidad	Resultados
Alcoholes superiores	mg/100cc	290,3
Aldehídos	mg/100cc	5,6
Esteres	mg/100cc	74,8
Furfural	mg/100cc	<0,01
Metanol	mg/100cc	165,9

En la tabla 45 muestra los valores obtenidos del análisis de cromatografía de gases del mejor tratamiento. Existe mayor presencia de alcoholes superiores con un valor de 290,3 mg/100cc, metanol 165,9 mg/100cc. Rojas *et al.* (2019) determina que los valores de alcoholes superiores de 282,34 mg/100cc y metanol 145,6 mg/100cc.

#### **4.5. Comprobación de la hipótesis**

##### **4.5.1. Hipótesis Nula ( $H_0$ )**

$H_0$ : Las variedades de cáscara de banano, grado de madures y concentraciones de ácido sulfúrico no influyen en la concentración de glucosa y rendimiento en la obtención del bioetanol.

##### **4.5.2. Hipótesis Alterna ( $H_a$ )**

$H_a$ : Las variedades de cáscara de banano, grado de madures y concentraciones de ácido sulfúrico influyen en la concentración de glucosa y rendimiento en la obtención del bioetanol.

##### **4.5.3. Comprobación de hipótesis**

De acuerdo a los resultados obtenidos por el análisis de varianza de cada una de las variables experimentales, existe influencia de los tres factores de estudio en las variables de respuesta; por lo tanto, existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y aceptar la alterna.

## CAPÍTULO V

### 5.1. CONCLUSIONES

- La caracterización fisicoquímica determinó que los valores presentan variaciones debido a las condiciones climáticas y al estado de madurez de la cáscara para la fermentación.
- Las variedades de Barraganete y Orito presentan resultados similares en lo relacionado a los análisis proximal, elemental y estructural, lo cual le convierte en residuos biomásicos óptimos para la obtención de alcohol.
- La combinación de residuos biomásicos que presenta los mejores resultados en la obtención de jarabe glucosilado para la producción de alcohol etílico fue el tratamiento 11 que corresponde al Orito, seguido del tratamiento 2 que corresponde al Barraganete, ambos considerando su estado de madurez. Se observó que el Orito presentó una concentración de 0,21 g/l, mientras que el Barraganete obtuvo una concentración de 0,90 g/l.
- La fruta del banano se puede considerar como una materia prima energéticamente viable en la producción de etanol al ser mayor la energía obtenida que la usada en el proceso.
- El método de destilación que presentó mejores valores fue la destilación fraccionada que corresponde a la variedad Orito maduro pasado. La variedad que permitió la mejor conversión de glucosa a etanol y con un alto grado alcohólico de Alc.60 % vol.

- El mejor ajuste a los datos presento el modelo matemático de Von Bertalanffy, que corresponde al tratamiento 8,  $R^2= 0,9989$  y  $RME= 0,0680$ .

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Reducir el tamaño de partícula de las cascara de banano, ya que ha menor tamaño de partícula existe mayor área de contacto del sustrato de los pretratamientos y microorganismos.
- Se debe controlar estrictamente el pH ya que este factor influye directamente en la producción de biocombustible.
- Utilizar biodigestores con cerradura hermética para evitar la fuga de aire y así poder obtener una buena fermentación.
- Se recomienda la destilación fraccionada dado que proporciona un contenido más alto proveniente del aprovechamiento de los desechos orgánicos como el caso de las cáscaras de banano. Además, permite controlar de mejor manera la temperatura y el tiempo.



## BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, G. (2021). *Obtención de bioetanol a partir del bagazo de la caña de azúcar mediante hidrólisis enzimática*. Sede Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21229/1/UPS-CT009334.pdf>
- Badaracco, R. D., & Veintimilla, G. F. (2019). *Cinética de sacarificación y fermentación para producción de bioetanol a partir de cáscara de banano maduro mediante pretratamiento de secado*. Machala: Universidad Técnica de Machala. Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/14088>
- CEPAL. (2017). *Especificaciones de la calidad del etanol carburante y de la gasohol (mezcla de gasolina y etanol) y normas técnicas para la infraestructura*. América Latina y El Caribe: LC/MEX/L 741/REV.1.
- Chávez, M. (2019). La biomasa: fuente alternativa de combustibles y compuestos químicos. *Red Social Española de Química*, 399-407. Obtenido de <http://analesdequimica.com/1155/1155-chavez.pdf>
- Cifuentes, M. E. (2018). *Determinación y cuantificación de metanol y congéneres en alcohol etílico, mediante la estandarización de una metodología cromatográfica en la industria licorera del Cauca*. Universidad del Cauca.
- Cury, K., Aguas, Y., Martínez, A., Olivero, R., & Chams, L. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 9(9), 122-134. doi:<https://doi.org/10.24188/recia.v9.ns.2017.530>
- De Bari, I., De Canio, P., Cuna, D., Liuzzi, F., Capece, A., & Romano, P. (2017). Bioethanol production from mixed sugars by *Scheffersomyces stipitis* free and immobilized cells, and co-cultures with *Saccharomyces cerevisiae*. *New Biotechnology*, 30(6), 591-597. doi:<https://doi.org/10.1016/j.nbt.2013.02.003>

- De la Cerna, A. (2018). Producción de biodiesel y bioetanol: ¿Una alternativa sustentable a la crisis energética? *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*, 8(3), 93-100.
- De la Cerna, H. C. (2018). Fabricando bioetanol. *Energías Renovables*, 15, 16-20.
- Decheco Egúsqüiza, A. (2019). Obtención de jarabes glucosados a partir de cáscaras de banano (*Musa paradisiaca* L.) mediante hidrólisis enzimática de celulasas. *Universidad Le Cordon Bleu*, 1 -11.
- Garay, B. A. (2018). *Exportación de cáscara de banano procesada a china, para la purificación de agua de ríos*. Universidad Espiritu Santo.
- Girón, M. G., & Funes, F. L. (2017). *Obtención de alcohol etílico por medio de fermentación alcohólica de las cáscaras de Musa paradisiaca utilizando como microorganismo productor Saccharomyces cerevisiae*. Salvador: Universidad de El Salvador.
- Gómez Peña, Á. (2019). *Catálisis heterogénea para el aprovechamiento energético de la biomasa*. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/76973/10232529.2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Grande Verdugo, C., & Ortiz Blanco, S. (2019). *Destilación simple y fraccionada: método de purificación de líquidos*. Bucaramanga, Colombia: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.
- Haro, A., Borja, A., & Triviño, S. (2017). Análisis sobre el aprovechamiento de los residuos del banano, como materia prima para la producción de materiales plásticos biodegradables. *Dominio de Las Ciencias*, 3(2), 506-525.
- INEC. (2021). *Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua*.
- León Ajila, J. P., Espinosa Aguilar, M. A., Carvajal Romero, H. R., & Quezada Campoverde, J. (2023). Análisis de la producción y comercialización de

banano. *Josué Paúl León Ajilay otros* *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria*, 7(1), 7499. doi:[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i1.4981](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4981)

Llangari, A. M. (2018). *Comparación Del Rendimiento Y Calidad De Bioetanol Obtenido a Partir De La Biomasa Lignocelulósica De Los Pseudotallos De Banano*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15682/4/UPS-CT007695.pdf>

Martínez, G., & Rey, J. (2021). Bananos (Musa AAA): Importancia, producción y comercio en tiempos de Covid-19. *Agronomía Mesoamericana*, 1034-1046.

Mendoza, G. G., & Torres, J. C. (2021). *Cinética de hidrólisis enzimática del raquis de banano para la producción de azúcares fermentables*. Machala - Ecuador: UTMACH.

Monsalve, J., Medina, V., & Ruíz, A. (2016). *Producción de etanol a partir de la cáscara de banano y de almidón de yuca*.

Muñoz Gómez, M. J. (2022). *La Biometanización como energía renovable (experimentación con residuos alimentarios)*.

Norma Española, AENOR. (1997). *Procedimiento aplicable a la fermentación*. UNE-EN 12075.

Norma Española, AENOR. (2015). *Determinación del contenido total de carbono, hidrógeno y nitrógeno*. UNE-EN ISO 16948.

Norma española, AENOR. (2016). *Cuantificación de meclas de alcohol etílico de síntesis y de fermentación*. UNE 84076.

Norma Española, AENOR. (2016). *Determinación del contenido de ceniza*. UNE-EN ISO 18122.

Norma Española, AENOR. (2016). *Determinación del contenido de humedad, método de secado en estufa*. UNE-EN ISO 18134-3.

- Norma española, AENOR. (2016). *Determinación del contenido en materia volátil*. UNE-EN ISO 18123.
- Pérez, J. C., Altamirano, M., Nejer, J. M., & Castelo, D. F. (2017). Potencialidad de la provincia de Chimborazo para la producción de bioetanol a partir de la papa. *Revista Bases de La Ciencia*, 2(1), 17-32.
- Ramírez, C., & Solórzano, S. A. (2016). *Banano rechazado para exportación en Ecuador: Propuesta de creación de valor para lograr su introducción al mercado internacional*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2840/1/UPS-GT000315.pdf>
- Rojas, A., Rodríguez, S., & Montoya, J. (2019). Evaluación de Alternativas de Aprovechamiento Energético y Bioactivo de la Cáscara de Banano. *Información tecnológica*, 30 - 35. Obtenido de [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642019000500011&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642019000500011&script=sci_arttext)
- Romero Bonilla, H., Ayala Armijos, H., & Lapo Calderón, B. (2018). Efecto de tres pre-tratamientos de cáscara de banano para la obtención de jarabe. *Universidad de los Andes*, 79 - 82.
- Romero, H., Macías, C., Palacios, A., & Redrovan, F. (2019). Estudio cinético de la producción de bioetanol a partir de residuos agroindustriales de la cascara de banano maduro. *Industrial Data*, 22(1). Obtenido de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/816/81661270012/html/index.html>
- Vargas, A., Watler, W., Morales, M., & Vignola, R. (2017). *PRÁCTICAS EFECTIVAS PARA LA REDUCCIÓN DE IMPACTOS POR EVENTOS CLIMÁTICOS EN EL CULTIVO DE BANANO*. CATIE.
- Vargas, C. Y., & Pérez, P. L. (2018). *APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AMBIENTE*. Yopal - Casanare.: Revista Facultad de Ciencias Básicas.

- Vásquez, S. M. (2019). *Obtención de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica presente en la cascarilla del arroz para ser utilizados en equipos motorizados*. Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17633/4/UPSCT008382.pdf>
- Zapata, A. M., & Peláez, C. (2018). Producción en continuo de etanol a partir de banano de rechazo (cáscara y pulpa) empleando células inmovilizadas. *Ciencias - Química, I(2)*, 1-12.
- Zhiminaicela Cabrera, J. B., Quevedo Guerrero, J. N., & García Batista, R. M. (2020). La producción de banano. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas, 3(3)*, 189-195.
- Zola, M. G., Barranzuela, M. P., Girón, C. E., & Guerrero, D. C. (2017). Estudio experimental de la obtención de bioetanol a partir de la cáscara de banano en piura. *I Congreso Internacional de Ingeniería y Dirección de Proyectos III Congreso Regional IPMA-LATNET, I(I)*, 105-117.

## ANEXOS

**Anexo 1.** Mapa de ubicación de la investigación



## Anexo 2. Presupuesto

<b>COSTOS DE PRODUCCIÓN</b>				
<b>Detalle</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario \$</b>	<b>Valor parcial \$</b>
<b>Materias primas</b>				
Banano Maqueño	Libras	20	0,50	10,00
Banano Seda	Libras	20	0,50	10,00
Banano Orito	Libras	20	0,50	10,00
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Kilogramos	2	7,00	14,00
<b>Insumos</b>				
Envases de vidrio herméticos	Unidad	36	3,00	108,00
Manguera para suero	Unidades	10	3,00	30,00
Papel filtro	Unidades	10	1,00	10,00
Papel aluminio	Rollo	3	2,50	7,50
<b>Reactivos</b>				
Hidróxido de sodio	Litros	1	59,00	59,00
Ácido sulfúrico	Litros	1	13,90	13,90
Fosfato de amonio	Litro	1		
Agua destilada	Galón	2	2,00	4,00
<b>Análisis de laboratorio</b>				
Análisis proximal (H, C Y VT)	Unidad	3	30,00	90,00
Análisis elemental (C, H, N y S)	Unidad	3	30,00	90,00
Análisis estructural	Unidad	3	30,00	90,00
Análisis espectrofotometría	Unidad	36	15,00	540,00
<b>Costo total (\$)</b>				<b>1086,40</b>

### Anexo 3. Análisis físico de las tres variedades

 <b>VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b>	<b>LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b> <small>Laguacá 8, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador</small>	<b>Código</b>	FPG12-01
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	<b>Versión</b>	1
		<b>Año</b>	2023
		<b>Página</b>	Página 1 de 1

#### INFORME DE ENSAYOS Nº061-2023

Descripción de la muestra					
<b>Solicitantes</b>	Cristian Stalin Asas Chimborazo - Byron Fernando Navarro Merino				
<b>Muestra</b>	Cascara de Barraganete maduro				
<b>Código asignado UEB</b>	INV 124				
<b>Estado de la muestra</b>	Solido triturado				
<b>Envase de recepción</b>	Funda plástica con aprox. 1 Kg de contenido de muestra				
<b>Análisis requerido(s)</b>	Humedad - Cenizas - Volátiles - Poder calorífico superior (PCS) Nitrógeno - Carbono - Hidrogeno - Azufre - C/N - C/H - Oxigeno				
<b>Fecha de recepción</b>	20 de marzo de 2023				
<b>Fecha de análisis</b>	20 de marzo al 24 de abril de 2023				
<b>Fecha de informe</b>	27 de abril de 2023				
<b>Técnico asignado</b>	ECCR - MIPV				
RESULTADOS OBTENIDOS					
Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado Base Seca	Resultado Base Fresca / Recibida
Cascara de Barraganete maduro INV 124	Humedad	%	UNE-EN-ISO 18134-3	—	84,71
	Cenizas	%	UNE-EN-ISO 18122	16,83	—
	Volátiles	%	UNE-EN-ISO 18123	91,22	—
	Poder calorífico superior (PCS)	MJ/Kg	UNE-EN ISO 18125	17,2855	—
	Nitrógeno	%	UNE-EN-ISO 16948	6,91	1,06
	Carbono	%	UNE-EN-ISO 16948	51,29	7,84
	Hidrogeno	%	UNE-EN-ISO 16948	—	6,57
	Azufre	%	UNE-EN-ISO 16948	—	0,01
	C/N	%	UNE-EN-ISO 16948	—	7,61
	C/H	%	UNE-EN-ISO 16948	—	1,23
	Oxigeno	%	CALCULADO	—	68,10

Los resultados de los análisis corresponden a 3 determinaciones por muestra



Ing. Favian Bayas Morejón PhD.  
**Director DIVIUEB**  
 Telef. (+593) 99 031 6224



 <b>VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b>	<b>LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b> <small>Lagunas 8, Km 1 1/2, vía a San Isidro, Cantón Durán, Provincia Bolívar, Ecuador</small>	<b>Código</b>	FPG12-01
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	<b>Versión</b>	1
		<b>Año</b>	2023
		<b>Página</b>	Página 1 de 1

**INFORME DE ENSAYOS N°062-2023**


Descripción de la muestra					
<b>Solicitantes</b>	Cristian Stalin Asas Chimborazo - Byron Fernando Navarro Merino				
<b>Muestra</b>	Cascara de Orito maduro				
<b>Código asignado UEB</b>	INV 125				
<b>Estado de la muestra</b>	Sólido triturado				
<b>Envase de recepción</b>	Funda plástica con aprox. 1 Kg de contenido de muestra				
<b>Análisis requerido(s)</b>	Humedad - Cenizas - Volátiles - Poder calorífico superior (PCS) Nitrógeno - Carbono - Hidrogeno - Azufre - C/N - C/H - Oxígeno				
<b>Fecha de recepción</b>	20 de marzo de 2023				
<b>Fecha de análisis</b>	20 de marzo al 24 de abril de 2023				
<b>Fecha de informe</b>	27 de abril de 2023				
<b>Técnico asignado</b>	ECCR - MIPV				
RESULTADOS OBTENIDOS					
Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado Base Seca	Resultado Base Fresca / Recibida
Cascara de Orito maduro INV 125	Humedad	%	UNE-EN-ISO 18134-3	—	84,19
	Cenizas	%	UNE-EN-ISO 18122	17,30	—
	Volátiles	%	UNE-EN-ISO 18123	88,54	—
	Poder calorífico superior (PCS)	MJ/Kg	UNE-EN ISO 18125	17,3844	—
	Nitrógeno	%	UNE-EN-ISO 16948	7,32	1,16
	Carbono	%	UNE-EN-ISO 16948	49,67	7,85
	Hidrogeno	%	UNE-EN-ISO 16948	—	5,24
	Azufre	%	UNE-EN-ISO 16948	—	0,01
	C/N	%	UNE-EN-ISO 16948	—	6,78
	C/H	%	UNE-EN-ISO 16948	—	1,50
	Oxígeno	%	CALCULADO	—	68,92

Los resultados de los análisis corresponden a 3 determinaciones por muestra.



VERIFICAR FIRMAS  
EN: UEB

Ing. Favian Bayas Morejón PhD.  
**Director DIVIUEB**  
 Teléf. (+593) 99 031 6224

 <b>VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b>	<b>LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b> <small>Lagunillo E. No. 1 10, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador</small>	<b>Código</b>	FPG12-01
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	<b>Versión</b>	1
		<b>Año</b>	2023
		<b>Página</b>	Página 1 de 1


**INFORME DE ENSAYOS N°063-2023**

Descripción de la muestra					
<b>Solicitantes</b>	Cristian Stalin Asas Chimborazo - Byron Fernando Navarro Merino				
<b>Muestra</b>	Cascara de Seda maduro pasado				
<b>Código asignado UEB</b>	INV 126				
<b>Estado de la muestra</b>	Sólido triturado				
<b>Envase de recepción</b>	Funda plástica con aprox. 1 Kg de contenido de muestra				
<b>Análisis requerido(s)</b>	Humedad - Cenizas - Volátiles - Poder calorífico superior (PCS)				
<b>Fecha de recepción</b>	Nitrógeno - Carbono - Hidrogeno - Azufre - C/N - C/H - Oxígeno				
<b>Fecha de análisis</b>	20 de marzo de 2023				
<b>Fecha de informe</b>	20 de marzo al 24 de abril de 2023				
<b>Técnico asignado</b>	27 de abril de 2023 ECCR - MIPV				
RESULTADOS OBTENIDOS					
Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado Base Seca	Resultado Base Fresca / Recibida
Cascara de Seda maduro pasado INV 126	Humedad	%	UNE-EN-ISO 18134-3	—	87,29
	Cenizas	%	UNE-EN-ISO 18122	22,94	—
	Volátiles	%	UNE-EN-ISO 18123	88,46	—
	Poder calorífico superior (PCS)	MJ/Kg	UNE-EN ISO 18125	17,3045	—
	Nitrógeno	%	UNE-EN-ISO 18948	8,29	1,05
	Carbono	%	UNE-EN-ISO 18948	80,63	10,25
	Hidrogeno	%	UNE-EN-ISO 18948	—	7,31
	Azufre	%	UNE-EN-ISO 18948	—	0,02
	C/N	%	UNE-EN-ISO 18948	—	10,63
	C/H	%	UNE-EN-ISO 18948	—	1,41
	Oxígeno	%	CALCULADO	—	58,61

Los resultados de los análisis corresponden a 3 determinaciones por muestra.



**Ing. Favian Bayas Morejón PhD.**  
**Director DIVIUEB**  
**Teléf. (+593) 99 031 6224**

 <b>VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b>	<b>LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b> Leguaco II, Km 1 1/2, vía a San Brún, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador	<b>Código</b>	FPG12-01
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	<b>Versión</b>	1
		<b>Año</b>	2023
		<b>Página</b>	Página 1 de 1


**INFORME DE ENSAYOS N°064-2023**

Descripción de la muestra					
<b>Solicitantes</b>	Cristian Stalin Asas Chimborazo - Byron Fernando Navarro Merino				
<b>Muestra</b>	Cascara de Barraganete maduro pasado				
<b>Código asignado UEB</b>	INV 127				
<b>Estado de la muestra</b>	Sólido triturado				
<b>Envase de recepción</b>	Funda plástica con aprox. 1 Kg de contenido de muestra				
<b>Análisis requerido(s)</b>	Humedad - Cenizas - Volátiles - Poder calorífico superior (PCS) Nitrógeno - Carbono - Hidrogeno - Azufre - C/N - C/H - Oxígeno				
<b>Fecha de recepción</b>	20 de marzo de 2023				
<b>Fecha de análisis</b>	20 de marzo al 24 de abril de 2023				
<b>Fecha de informe</b>	27 de abril de 2023				
<b>Técnico asignado</b>	ECCR - MIPV				
RESULTADOS OBTENIDOS					
Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado Base Seca	Resultado Base Fresca / Recibida
Cascara de Barraganete maduro pasado INV 127	Humedad	%	UNE-EN-ISO 18134-3	—	77,98
	Cenizas	%	UNE-EN-ISO 18122	10,50	—
	Volátiles	%	UNE-EN-ISO 18123	95,61	—
	Poder calorífico superior (PCS)	MJ/Kg	UNE-EN ISO 18125	17,2121	—
	Nitrógeno	%	UNE-EN-ISO 16948	3,78	0,83
	Carbono	%	UNE-EN-ISO 16948	52,27	11,51
	Hidrogeno	%	UNE-EN-ISO 16948	—	6,16
	Azufre	%	UNE-EN-ISO 16948	—	0,03
	C/N	%	UNE-EN-ISO 16948	—	13,89
	C/H	%	UNE-EN-ISO 16948	—	1,90
	Oxígeno	%	CALCULADO	—	70,75

Los resultados de los análisis corresponden a 3 determinaciones por muestra.



Ing. Favian Bayas Morejón PhD.  
**Director DIVIUEB**  
 Teléf. (+593) 99 031 6224

 <b>VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b>	<b>LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b> <small>Lagoaño 8, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador</small>	<b>Código</b>	FPG12-01
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	<b>Versión</b>	1
		<b>Año</b>	2023
		<b>Página</b>	Página 1 de 1

**INFORME DE ENSAYOS N°065-2023**

Descripción de la muestra					
<b>Solicitantes</b>	Cristian Stalin Asas Chimborazo - Byron Fernando Navarro Merino				
<b>Muestra</b>	Cascara de Orto maduro pasado				
<b>Código asignado UEB</b>	INV 128				
<b>Estado de la muestra</b>	Sólido triturado				
<b>Envase de recepción</b>	Funda plástica con aprox. 1 Kg de contenido de muestra				
<b>Análisis requerido(s)</b>	Humedad - Cenizas - Volátiles - Poder calorífico superior (PCS) Nitrógeno - Carbono - Hidrogeno - Azufre - C/N - C/H - Oxígeno				
<b>Fecha de recepción</b>	20 de marzo de 2023				
<b>Fecha de análisis</b>	20 de marzo al 24 de abril de 2023				
<b>Fecha de informe</b>	27 de abril de 2023				
<b>Técnico asignado</b>	ECCR - MIPV				
RESULTADOS OBTENIDOS					
Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado Base Seca	Resultado Base Fresca / Recibida
Cascara de Orto maduro pasado INV 128	Humedad	%	UNE-EN-ISO 18134-3	—	62,09
	Cenizas	%	UNE-EN-ISO 18122	13,76	—
	Volátiles	%	UNE-EN-ISO 18123	92,97	—
	Poder calorífico superior (PCS)	MJ/Kg	UNE-EN ISO 18125	16,8212	—
	Nitrógeno	%	UNE-EN-ISO 16948	2,39	0,91
	Carbono	%	UNE-EN-ISO 16948	33,14	12,56
	Hidrogeno	%	UNE-EN-ISO 16948	—	5,20
	Azufre	%	UNE-EN-ISO 16948	—	0,02
	C/N	%	UNE-EN-ISO 16948	—	15,37
	C/H	%	UNE-EN-ISO 16948	—	2,47
	Oxígeno	%	CALCULADO	—	67,96

Los resultados de los análisis corresponden a 3 determinaciones por muestra.



Ing. Favian Bayas Morejón PhD.  
 Director DIVIUEB  
 Telef. (+593) 99 031 6224

## Anexo 4. Análisis químico

 <b>UNIVERSIDAD DEL ECUADOR</b> <b>VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b>	<b>LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b> <small>Lagunillo E, Km 1 1/2, vía a San Andrés, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.</small>	<b>Código</b>	<b>IR-PM</b>
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	<b>Versión</b>	<b>1</b>
		<b>Año</b>	<b>2023</b>
		<b>Página</b>	<b>Página 1 de 2</b>

### INFORME DE ENSAYOS N° 058

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA					
<b>Solicitante</b>	Cristian Asas, Byron Navarro				
<b>Muestra</b>	Cáscara de seda maduro, cáscara de barraganete maduro, cáscara de orito maduro, cáscara de seda maduro pasado, cáscara de barraganete maduro pasado, cáscara de orito maduro pasado				
<b>Código asignado UEB</b>	INV 123, INV 124, INV 125; INV 126; INV 127; INV 128				
<b>Estado de la muestra</b>	Fresco				
<b>Envase de recepción</b>	Bolsa plástica, 1 kg de contenido de muestra				
<b>Análisis requerido(s)</b>	pH, acidez, °Brix				
<b>Fecha de recepción</b>	06 de febrero de 2023				
<b>Fecha de análisis</b>	06 al 10 de febrero de 2023				
<b>Fecha de informe</b>	25 de abril de 2023				
<b>Técnico (s) asignado</b>	MFQM				
RESULTADOS OBTENIDOS					
Código de laboratorio	Muestra	Análisis	Método de análisis	Unidad	Resultado
INV 123	Cáscara de seda maduro	pH	Potenciómetro	pH	6,08
INV 124	Cáscara de barraganete maduro				4,90
INV 125	Cáscara de orito maduro				5,97
INV 126	Cáscara de seda maduro pasado				4,94
INV 127	Cáscara de barraganete maduro pasado				4,98
INV 128	Cáscara de orito maduro pasado				5,09
INV 123	Cáscara de seda maduro	Contenido de sólidos solubles totales	Brixómetro	°Brix	7,00
INV 124	Cáscara de barraganete maduro				13,00
INV 125	Cáscara de orito maduro				13,67
INV 126	Cáscara de seda maduro pasado				15,83
INV 127	Cáscara de barraganete maduro pasado				9,83
INV 128	Cáscara de orito maduro pasado				22,83

<b>VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b>	<b>LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b> <small>Lagunado II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador</small>	<b>Código</b>	<b>IR-PM</b>
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	<b>Versión</b>	<b>1</b>
		<b>Año</b>	<b>2023</b>
		<b>Página</b>	<b>Página 2 de 2</b>

INV 123	Cáscara de seda maduro	Acidez	NTE INEN-ISO 750:2013	% Acidez	0,08
INV 124	Cáscara de barraganete maduro				0,24
INV 125	Cáscara de orito maduro				0,14
INV 126	Cáscara de seda maduro pasado				0,33
INV 127	Cáscara de barraganete maduro pasado				0,33
INV 128	Cáscara de orito maduro pasado				0,24


Los resultados de los análisis corresponden a 3 determinaciones por muestra.



Firma digitalizada por  
**ISIDRO FAVIAN BAYAS**  
 M0252308

Ing. Favian Bayas PhD.  
**Director DIVIUEB**

## Anexo 5. Análisis estructural

 <b>UNIVERSIDAD ESTADAL BOLÍVAR</b> <b>VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b>	<b>LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b> <small>Lagunaco II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.</small>	<b>Código</b>	<b>IR-PM</b>
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	<b>Versión</b>	1
		<b>Año</b>	2023
		<b>Página</b>	Página 1 de 1

### INFORME DE ENSAYOS N° 059


DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA					
<b>Solicitante</b>	Cristian Asas, Byron Navarro				
<b>Muestra</b>	Cáscara de seda maduro, cáscara de barraganete maduro, cáscara de orito maduro, cáscara de seda maduro pasado, cáscara de barraganete maduro pasado, cáscara de orito maduro pasado				
<b>Código asignado UEB</b>	INV 123, INV 124, INV 125; INV 126; INV 127; INV 128				
<b>Estado de la muestra</b>	Fresco				
<b>Envase de recepción</b>	Bolsa plástica, 1 kg de contenido de muestra				
<b>Análisis requerido(s)</b>	Azúcares reductores				
<b>Fecha de recepción</b>	01 de febrero de 2023				
<b>Fecha de análisis</b>	01 al 03 de febrero de 2023				
<b>Fecha de informe</b>	25 de abril de 2023				
<b>Técnico (s) asignado</b>	MFQM				
RESULTADOS OBTENIDOS					
Código de laboratorio	Muestra	Análisis	Método de análisis	Unidad	Resultado
INV 123	Cáscara de seda maduro	Azúcares reductores	Somogyi - Nelson	mg glucosa/g muestra	0,73
INV 124	Cáscara de barraganete maduro				0,71
INV 125	Cáscara de orito maduro				2,06
INV 126	Cáscara de seda maduro pasado				7,80
INV 127	Cáscara de barraganete maduro pasado				8,96
INV 128	Cáscara de orito maduro pasado				7,82

Los resultados de los análisis corresponden a 3 determinaciones por muestra.



VICTOR FAVIAN BAYAS  
MORSON

Ing. Favian Bayas PhD.  
Director DIVIUEB

 <b>VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b>	<b>LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b> <small>Lagunado II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador</small>		<b>Código</b>	FPG12-01
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>		<b>Versión</b>	1
			<b>Año</b>	2023
			<b>Página</b>	Página 1 de 1

**INFORME DE ENSAYOS N°070-2023**

Descripción de la muestra				
<b>Solicitantes</b>	Cristian Stalin Asas Chimborazo - Byron Fernando Navarro Merin			
<b>Muestra</b>	Cascara de Seda maduro - Cascara de Barraganete maduro - Cascara de Orito maduro			
<b>Código asignado UEB</b>	INV 123 - INV 124 - INV 125			
<b>Estado de la muestra</b>	Sólido triturado			
<b>Envase de recepción</b>	Frasco plástico con aprox. 10 g de contenido de muestra			
<b>Análisis requerido(s)</b>	Fibra Detergente Neutra - Fibra Detergente Ácida - Lignina - Celulosa - Hemicelulosa			
<b>Fecha de recepción</b>	20 de marzo de 2023			
<b>Fecha de análisis</b>	20 de marzo al 24 de 20 de abril de 2023			
<b>Fecha de informe</b>	27 de abril de 2023			
<b>Técnico asignado</b>	ECCR - MIPV			
RESULTADOS OBTENIDOS				
Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado
Cascara de Seda maduro INV 123	Fibra Detergente Neutra	%	Van Soest (Sistema ANKOM)	38,98
	Fibra Detergente Ácida	%	Van Soest (Sistema ANKOM)	24,63
	Lignina	%	Van Soest (Sistema ANKOM)	7,59
	Celulosa	%	CALCULADO	17,04
	Hemicelulosa	%	CALCULADO	14,35
Cascara de Barraganete maduro INV 124	Fibra Detergente Neutra	%	Van Soest (Sistema ANKOM)	32,46
	Fibra Detergente Ácida	%	Van Soest (Sistema ANKOM)	14,33
	Lignina	%	Van Soest (Sistema ANKOM)	5,37
	Celulosa	%	CALCULADO	8,96
	Hemicelulosa	%	CALCULADO	18,13
Cascara de Orito maduro INV 125	Fibra Detergente Neutra	%	Van Soest (Sistema ANKOM)	37,35
	Fibra Detergente Ácida	%	Van Soest (Sistema ANKOM)	26,84
	Lignina	%	Van Soest (Sistema ANKOM)	9,42
	Celulosa	%	CALCULADO	17,49
	Hemicelulosa	%	CALCULADO	10,51

Los resultados de los análisis corresponden a 3 determinaciones por muestra.  
Las muestras usadas en el análisis fueron secadas a 105 °C y pulverizadas.



Ing. Favian Bayas Morejón PhD.  
**Director DIVIUEB**  
 Teléf. (+593) 99 031 6224



## Anexo 6. Análisis de cromatografía



INFORME DE RESULTADOS

INE-AQ

4512

Cliente	NAVARRO MERINO BYRON FERNANDO	Lote	---
Dirección	Guaranda	Fecha Elaboración	4/4/2023
		Fecha Vencimiento:	4/4/2024
Muestrado por	Cliente	Fecha Recepción:	9/5/2023
Muestra de	Bebida alcohólica	Hora Recepción:	12:04:00
		Fecha Análisis:	9/5/2023
Descripción	Alcohol etílico de cascara de banana variedad Barraganete	Fecha Entrega:	18/5/2023
		Código# Control:	---

Color:	Característico
Olor:	Característico
Estado:	Líquido
Contenido Declarado:	100ml
Material de Empaque:	Vidrio

### RESULTADOS AREA QUIMICA

SUB OT	4512
--------	------

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO	METODO
ALCOHOLES SUPERIORES	mg/100cc	290.3	MS/INEN 2014
ALDEHIDOS	mg/100cc	5.6	MS/INEN 2014
ESTERES	mg/100cc	74.8	MS/INEN 2014
FURFURAL	mg/100cc	<0,01	MS/INEN 2014
GRADO ALCOHOLICO	%(v/v)	45	IE-AQ-18/INEN 340
METANOL	mg/100cc	165.9	MS/INEN 2014

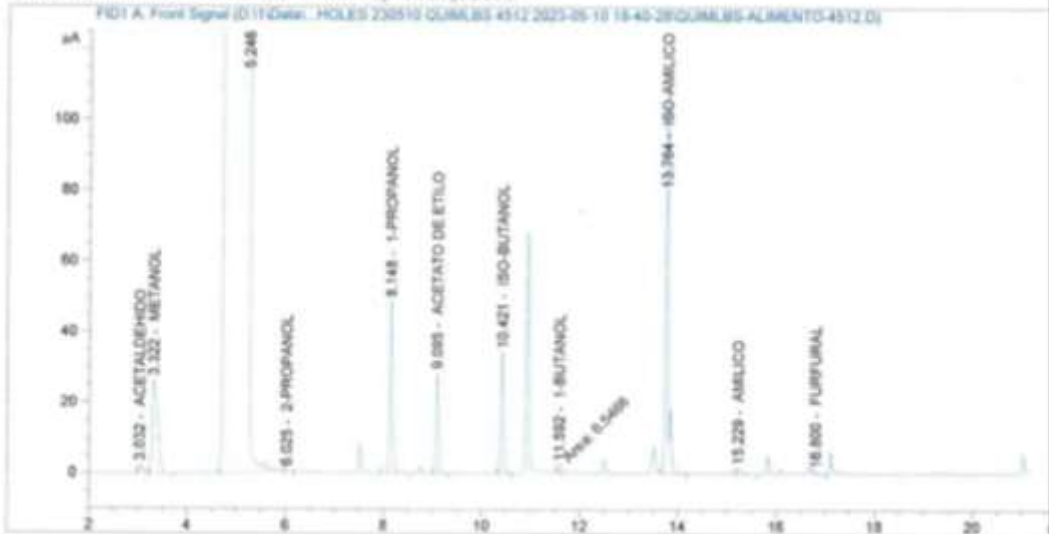
(MS) Método subsecuente

  
Dra. Pamela Jacome  
DIRECTOR DEL LABORATORIO



Activar Windows  
Ve a Configuración |

-----  
Acq. Operator : SYSTEM                               Seq. Line : 6  
Sample Operator : SYSTEM  
Acq. Instrument : 7890                              Location : 106 (F)  
Injection Date : 5/10/2023 9:48:31 PM            Inj : 1  
  Inj Volume : 1 µl  
Different Inj Volume from Sample Entry: Actual Inj Volume : 2 µl  
Acq. Method : D:\1\Data\ALCOHOLES 230510 QUIMLAB 4512\ALCOHOLES 230510 QUIMLAB 4512 2023-  
05-10 18-40-28\ALCOHOLES INEN 2014 VF1.M  
Last changed : 2/12/2023 4:00:50 PM by SYSTEM  
Analysis Method : D:\1\METHODS\ALCOHOLES INEN 2014 cuantificar191202.M  
Last changed : 11/13/2022 6:47:58 PM by SYSTEM  
Additional Info : Peak(s) manually integrated



-----  
External Standard Report (Sample Amount in 01)  
-----

Sorted By : Signal  
Calib. Data Modified : 11/13/2022 3:47:08 PM  
Multiplier : 1.0000  
Dilution : 1.0000  
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs

Signal 1: FID1 A, Front Signal

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Ant/Area	Amount [mg/L]	Grp	Name
3.032	BB	11.03154	4.55117	50.20651		ACETALDEHIDO
3.322	BB	199.19890	3.70666	738.36337		METANOL
6.025	BB	9.15664e-1	7.08024e-2	6.48312e-2		2-PROPANOL

**Anexo 7. Obtención de la materia prima**



Lugar donde se obtuvo la materia prima  
(Echeandía - Bolívar)



Recorrido por la finca de señor Daniel Paz  
ubicado en el sector Purhuay



Lugar donde se desarrolló la investigación  
DIUEB



Recepción de la materia prima lavado



Pelado y picado de la cascara de banano

**Anexo 8. Práctica desarrollada en el laboratorio**



Análisis elemental (volátiles)



Análisis elemental (humedad)



Análisis de cenizas



Análisis de PH de la cascara de banano



Análisis de grados °Brix



Análisis de acidez titulable



Pesaje de materia prima para realizar el análisis de azúcares reductores.



Toma de muestras para aforar



Colocación de las muestras en una gradilla.



Espectrofotómetro NANODROP



Análisis de muestras en el espectrofotómetro NANODROP



Secado de la cascara de banano para realizar otros análisis



Molienda de la materia prima en estado seco



Equipo para realizar FAD-FDN



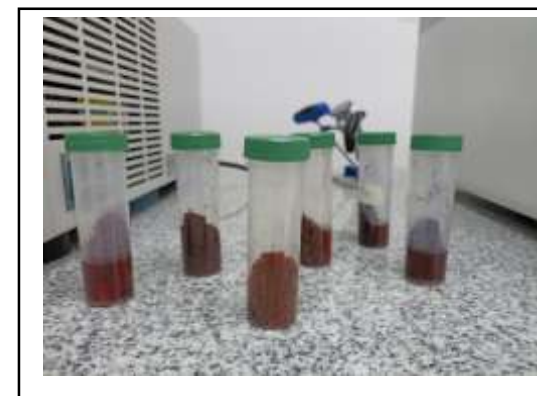
Preparación de reactivos para realizar el análisis de fibra



Análisis de fibra



Análisis de poder calorífico



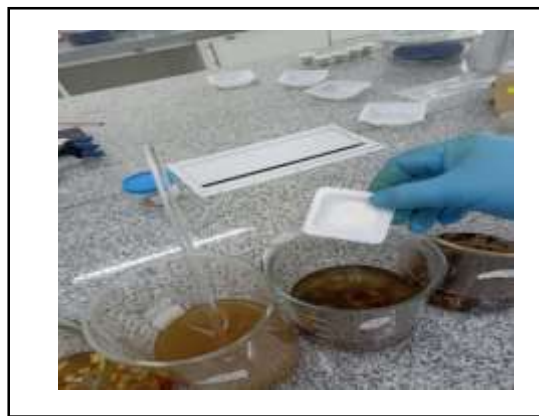
Muestras obtenidas mediante la centrifugación



Equipo para realizar la centrifugación de muestras



Eliminación de lignina



Adición de reactivos



Proceso de filtrado para la eliminación de lignina



Hidrolisis ácido mediante autoclave



Obtención del jarabe glucosilado



Medición de grados °Brix del jarabe glucosilado



Regulación de pH del jarabe glucosilado



Montaje de experimento con la ayuda de un agitador orbital durante 20 días



Control del líquido fermentado cada 7 días



Control de PH del jarabe glucosilado



Destilación simple





Destilación fraccionada



Obtención de bioetanol



Almacenamiento del bioetanol



Producto final



Control de los grados alcohólicos



Mayor grado alcohólico obtenido 60 grados

## **Anexo 9.** Glosario de términos

### **Análisis elemental**

Permite establecer el porcentaje en peso sobre los elementos que está compuesto la materia orgánica como: Carbono, Nitrógeno, Oxígeno y Azufre.

### **Biocombustibles**

Biocombustibles provienen de la biomasa, o materia orgánica presente en el planeta a cuya producción contribuyen todos los seres vivos.

### **Biomasa**

Conjunto de materia orgánica de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma.

### **Bioetanol**

Es un compuesto químico obtenido a partir de la fermentación de los azúcares, que puede utilizarse como combustible puro o bien mezclado en cantidades variadas con gasolina.

### **Destilación simple**

Es una de las técnicas más comunes que permite la separación de sustancias ligeramente volátiles e inmiscibles en agua por medio de vaporización.

### **Espectrofotometría (UV-VISIBLE)**

Es una técnica analítica que permite determinar la concentración de un compuesto en solución.

### **Fermentación**

Describe que la fermentación es un proceso biológico resultante del metabolismo de bacterias, levaduras o mohos.

### **Hemicelulosa**

Carbohidrato complejo y heterogéneo ya que su estructura posee diferentes polímeros como pentosas (como xilosa y arabinosa), hexosas (como manosa, glucosa y galactosa), azúcar y ácidos, entrelazadas entre si glucosidicamente.

**Hidrólisis ácida**

Menciona que la hidrólisis ácida es uno de los métodos más antiguos, en donde se emplean ácidos minerales como el ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, ácido fluorhídrico, y el ácido nítrico.

**Lignina**

Heteropolímero amorfo que consta de tres diferentes unidades de fenilpropano (pcoumaril, coniferil y sinapil alcohol) que se mantienen unidos por diferentes enlaces.

***Saccharomyces cerevisina***

Es una levadura que posee alta actividad metabólica.