



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**COMPARACIÓN DE LA CANTIDAD DE BIOETANOL OBTENIDO A PARTIR  
DE LA HIDRÓLISIS ÁCIDA DE LA CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus sinensis* L.) Y  
LA CÁSCARA DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca*), AL REALIZAR LA VARIACIÓN  
DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA Y EL PORCENTAJE DE ÁCIDO SULFÚRICO  
DURANTE LA FERMENTACIÓN A NIVEL LABORATORIO**

**Jim Jossel Girón Gutiérrez**

Asesorado por la Inga. Hilda Piedad Palma de Martini

Guatemala, junio de 2016



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**COMPARACIÓN DE LA CANTIDAD DE BIOETANOL OBTENIDO A PARTIR  
DE LA HIDRÓLISIS ÁCIDA DE LA CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus sinensis* L.) Y  
LA CÁSCARA DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca*), AL REALIZAR LA VARIACIÓN  
DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA Y EL PORCENTAJE DE ÁCIDO SULFÚRICO  
DURANTE LA FERMENTACIÓN A NIVEL LABORATORIO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**JIM JOSSEL GIRÓN GUTIÉRREZ**

ASESORADO POR LA INGA. HILDA PIEDAD PALMA DE MARTINI

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, JUNIO DE 2016



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. Sergio Alejandro Recinos
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López



## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**COMPARACIÓN DE LA CANTIDAD DE BIOETANOL OBTENIDO A PARTIR DE LA HIDRÓLISIS ÁCIDA DE LA CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus sinensis* L.) Y LA CÁSCARA DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca*), AL REALIZAR LA VARIACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA Y EL PORCENTAJE DE ÁCIDO SULFÚRICO DURANTE LA FERMENTACIÓN A NIVEL LABORATORIO**

Tema que me fue asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 28 de mayo de 2014.



Jim Jossel Girón Gutiérrez



Guatemala, 23 de febrero de 2016

Ingeniero  
Carlos Salvador Wong Davi  
Director Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente.

Estimado Ingeniero Wong:

Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el Informe Final del trabajo de graduación titulado "**COMPARACIÓN DE LA CANTIDAD DE BIOETANOL OBTENIDO A PARTIR DE LA HIDRÓLISIS ÁCIDA DE LA CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus sinensis* L.) Y LA CÁSCARA DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca*), AL REALIZAR LA VARIACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA Y EL PORCENTAJE DE ÁCIDO SULFÚRICO DURANTE LA FERMENTACIÓN A NIVEL LABORATORIO**", el cual fue realizado por el estudiante de Ingeniería Química Jim Jossel Girón Gutiérrez quién se identifica con el carné número 2010-20822.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,



Inga. Qca. Hilda Piedad Palma de Martini.  
Colegiada No. 453

**INGA. HILDA PALMA DE MARTINI**  
**COLEGIADO No. 453**





Guatemala, 25 de abril de 2016.  
Ref. EIQ.TG-IF.022.2016.

Ingeniero  
Carlos Salvador Wong Davi  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo 035-2014 le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

### INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **Jim Jossel Girón Gutiérrez**.  
Identificado con número de carné: **2010-20822**.  
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**COMPARACIÓN DE LA CANTIDAD DE BIOETANOL OBTENIDO A PARTIR DE LA HIDRÓLISIS ÁCIDA DE LA CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus sinensis* L.) Y LA CÁSCARA DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca*), AL REALIZAR LA VARIACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA Y EL PORCENTAJE DE ÁCIDO SULFÚRICO DURANTE LA FERMENTACIÓN A NIVEL LABORATORIO**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera Química: **Hilda Piedad Palma de Martini**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**

  
Ing. Pablo Enrique Morales Paniagua  
COORDINADOR DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.034.2016

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **JIM JOSSEL GIRÓN GUTIÉRREZ** titulado: **“COMPARACIÓN DE LA CANTIDAD DE BIOETANOL OBTENIDO A PARTIR DE LA HIDRÓLISIS ÁCIDA DE LA CÁSCARA DE NARANJA (CITRUS SINENSIS L.) Y LA CÁSCARA DE PLÁTANO (MUSA PARADISIACA), AL REALIZAR LA VARIACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA Y EL PORCENTAJE DE ÁCIDO SULFÚRICO DURANTE LA FERMENTACIÓN A NIVEL LABORATORIO”**.  
Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

*“Id y Enseñad a Todos”*

Ing. Carlos Salvador Wong Davi  
Director  
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, mayo 2016

Cc: Archivo  
CSWD/ale



Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 272.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **COMPARACIÓN DE LA CANTIDAD DE BIOETANOL OBTENIDO A PARTIR DE LA HIDRÓLISIS ÁCIDA DE LA CÁSCARA DE NARANJA (Citrus sinensis L.) Y LA CÁSCARA DE PLÁTANO (Musa paradisiaca), AL REALIZAR LA VARIACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA Y EL PORCENTAJE DE ÁCIDO SULFÚRICO DURANTE LA FERMENTACIÓN A NIVEL LABORATORIO**, presentado por el estudiante universitario: **Jim Jossel Girón Gutiérrez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, junio de 2016

/gdech





## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser mi guía y motor de fuerza ante cualquier adversidad. Sin ti no lo hubiera logrado.
- Mis padres** Carmen de Jesús Gutiérrez Rivera y Mario Arnoldo Girón Castillo, por apoyarme en todo momento.
- Mis hermanos** Yidja y Arnoldo Girón Gutiérrez, por estar a mi lado y hacer que esta experiencia sea inolvidable.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mi casa de estudios e institución que me brindó el conocimiento para lograr ser un profesional.
<b>Escuela de Ingeniería Química</b>	Por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios.
<b>Mis padres</b>	Por apoyarme incondicionalmente en cada momento de mi vida.
<b>Mis hermanos</b>	Por estar a mi lado y ayudarme en todo momento.
<b>Asesora</b>	Inga. Hilda Palma, por apoyarme en la realización del presente trabajo de graduación.
<b>Mis amigos</b>	Jaquelinne López, Lourdes Ozaeta, Mishel Morales, Alejandra Estrada, Joana Estrada, Andrea González, Raisa Vega, Luis Linares, Carlos Arriaga, Aissa Pérez, Fernando López y Nimsi Chiquitó, por hacer de esta experiencia algo inolvidable.
<b>Universidad del Valle de Guatemala</b>	Por su apoyo en la realización de pruebas para el presente trabajo.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. ANTECEDENTES .....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Biocombustibles .....	5
2.1.1. Materia prima de primera generación .....	6
2.1.2. Materia prima de segunda generación .....	6
2.1.3. Materia prima de tercera generación .....	7
2.1.4. Materia prima de cuarta generación .....	8
2.2. Pretratamientos utilizados para materiales lignocelulósicos.....	8
2.2.1. Pretratamientos físicos .....	8
2.2.1.1. Trituración mecánica .....	8
2.2.1.2. Pirólisis .....	9
2.2.2. Pretratamientos fisicoquímicos.....	9
2.2.2.1. Explosión de vapor (autohidrólisis).....	9
2.2.2.2. Fibra de explosión de amoníaco.....	9
2.2.3. Pretratamientos químicos .....	10
2.2.3.1. Ozonólisis .....	10
2.2.3.2. Hidrólisis ácida.....	10

	2.2.3.3.	Hidrólisis alcalina.....	11
	2.2.4.	Pretratamientos biológicos .....	11
2.3.		Compuestos tóxicos generados en la realización de los pretratamientos .....	11
	2.3.1.1.	Derivados del furano .....	12
	2.3.1.2.	Ácidos alifáticos de bajo peso molecular.....	13
	2.3.1.3.	Derivados fenólicos .....	14
2.4.		Reducción o eliminación de la concentración de los compuestos tóxicos generados en el pretratamiento .....	14
	2.4.1.	Métodos biológicos.....	15
	2.4.2.	Métodos químicos y físicos .....	15
	2.4.2.1.	Tratamiento con hidróxidos .....	15
	2.4.2.2.	Evaporación .....	15
	2.4.2.3.	Resinas de intercambio iónico.....	16
2.5.		Azúcares reductores .....	16
2.6.		Pruebas para la determinación de azúcares reductores .....	16
	2.6.1.	Prueba de Benedict.....	16
	2.6.2.	Prueba de Fehling.....	17
2.7.		Fermentación .....	17
2.8.		Levadura .....	19
	2.8.1.	Levadura de panería .....	20
	2.8.1.1.	Levadura fresca o levadura madre .....	20
	2.8.1.2.	Levadura seca o de panadero.....	20
	2.8.2.	Levadura química.....	21
	2.8.3.	Levadura de cerveza o nutricional.....	21
2.9.		Condiciones ambientales requeridas para el crecimiento de las levaduras .....	21
	2.9.1.	Oxígeno.....	21

	2.9.2.	pH.....	22
	2.9.3.	Temperatura .....	22
2.10.		Curva de crecimiento de la levadura .....	22
	2.10.1.	Fase de latencia .....	22
	2.10.2.	Fase de aceleración .....	22
	2.10.3.	Fase de crecimiento exponencial .....	23
	2.10.4.	Fase de ralentización del crecimiento.....	23
	2.10.5.	Fase estacionaria .....	23
	2.10.6.	Fase de declive.....	23
2.11.		<i>Saccharomyces cerevisiae</i> .....	24
2.12.		Destilación .....	25
	2.12.1.	Destilación simple.....	25
	2.12.2.	Destilación fraccionada.....	25
2.13.		Lixiviación .....	26
	2.13.1.	Lixiviación dinámica.....	26
	2.13.2.	Lixiviación estática.....	26
	2.13.3.	Lixiviación estática con reflujo .....	26
	2.13.4.	Lixiviación dinámica con reflujo .....	27
2.14.		Biomasa.....	28
2.15.		Cáscara de naranja ( <i>Citrus sinensis</i> L.).....	28
2.16.		Cáscara de plátano ( <i>Musa paradisiaca</i> ) .....	30
2.17.		Cromatografía de gases .....	31
	2.17.1.	Cromatografía de gases con detector de ionización de llama (FID) .....	31
3.		DISEÑO METODOLÓGICO .....	33
	3.1.	Localización.....	33
	3.2.	Variables.....	33
	3.2.1.	Variables independientes .....	33

3.2.2.	Variables dependientes .....	34
3.2.3.	Variable respuesta .....	35
3.3.	Delimitación del problema .....	35
3.4.	Recurso humano .....	35
3.5.	Recursos materiales disponibles.....	36
3.5.1.	Materia prima .....	36
3.5.2.	Reactivos.....	36
3.5.3.	Microorganismos .....	36
3.5.4.	Cristalería .....	36
3.5.5.	Equipo .....	37
3.6.	Técnica cualitativa y cuantitativa .....	38
3.7.	Recolección y ordenamiento de la información .....	40
4.	RESULTADOS.....	45
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	55
	CONCLUSIONES.....	59
	RECOMENDACIONES .....	61
	BIBLIOGRAFÍA.....	63
	APÉNDICES.....	67
	ANEXOS.....	79

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Estructura molecular del furfural .....	12
2.	Estructura molecular del 5-hidroximetilfurfural .....	13
3.	Estructura molecular del ácido fórmico .....	13
4.	Estructura molecular del ácido acético.....	14
5.	Reacción positiva para la prueba de Benedict .....	17
6.	Diagrama de la estructura de una levadura .....	20
7.	Curva de crecimiento de la levadura.....	24
8.	Montaje para la lixiviación dinámica con reflujo .....	27
9.	Detector de ionización de llama .....	32
10.	Volumen promedio de bioetanol obtenido de la cáscara de naranja ( <i>Citrus sinensis</i> L.) en función de los tratamientos.....	47
11.	Volumen promedio de bioetanol obtenido de la cáscara de plátano ( <i>Musa paradisiaca</i> ) en función de los tratamientos .....	48
12.	Masa promedio de bioetanol para la cáscara de naranja ( <i>Citrus sinensis</i> L.) en función de los tratamientos .....	49
13.	Masa promedio de bioetanol para la cáscara de plátano ( <i>Musa paradisiaca</i> ) en función de los tratamientos.....	50
14.	Porcentaje de rendimiento promedio de bioetanol de la cáscara de naranja ( <i>Citrus sinensis</i> L.) en función de los tratamientos .....	51
15.	Porcentaje de rendimiento promedio de bioetanol de la cáscara de plátano ( <i>Musa paradisiaca</i> ) en función de los tratamientos .....	52

16.	Comparación del porcentaje de rendimiento promedio de la cáscara de naranja ( <i>Citrus sinensis</i> L.) y de plátano ( <i>Musa paradisiaca</i> ) en función de los tratamientos.....	53
-----	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

## TABLAS

I.	Composición química de la cáscara de naranja .....	28
II.	Composición fisicoquímica de la cáscara de naranja .....	29
III.	Composición química de la cáscara de plátano ( <i>Musa paradisiaca</i> ) en dos estados de maduración .....	30
IV.	Variables independientes de la investigación .....	34
V.	Variables dependientes de la investigación .....	34
VI.	Gasto ácido y básico en la eliminación de compuestos inhibidores de la fermentación para la cáscara de naranja .....	40
VII.	Gasto ácido y básico en la eliminación de compuestos inhibidores de la fermentación para la cáscara de plátano .....	41
VIII.	pH del jarabe glucosado obtenido de la cáscara de naranja .....	41
IX.	pH del jarabe glucosado obtenido de la cáscara de plátano.....	42
X.	Volumen de destilado obtenido de la cáscara de naranja.....	42
XI.	Volumen de destilado obtenido de la cáscara de plátano.....	43
XII.	Porcentaje de bioetanol obtenido de la cáscara de naranja .....	43
XIII.	Porcentaje de bioetanol obtenido de la cáscara de plátano.....	44
XIV.	Prueba de Fehling en los hidrolizados de la cáscara de naranja ( <i>Citrus sinensis</i> L.).....	45
XV.	Prueba de Fehling en los hidrolizados de la cáscara de plátano ( <i>Musa paradisiaca</i> ).....	46
XVI.	Volumen de bioetanol obtenido de la cáscara de naranja ( <i>Citrus sinensis</i> L.) .....	46

XVII.	Volumen promedio de bioetanol obtenido de la cáscara de plátano ( <i>Musa paradisiaca</i> ).....	48
XVIII.	Masa promedio de bioetanol obtenido de la cáscara de naranja ( <i>Citrus sinensis</i> L.).....	49
XIX.	Masa promedio de bioetanol obtenido de la cáscara de plátano ( <i>Musa paradisiaca</i> ).....	50
XX.	Comparación del porcentaje de rendimiento de bioetanol de la cáscara de naranja ( <i>Citrus sinensis</i> L.).....	51
XXI.	Comparación del porcentaje de rendimiento de bioetanol de la cáscara de plátano ( <i>Musa paradisiaca</i> ).....	52



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
$\sigma$	Desviación estándar
°C	Grado centígrado
g	Gramo
h	Hora
mg	Miligramo
mL.	Mililitro
mm.	Milímetro
min	Minuto
núm	Número
ppm	Partes por millón
%	Porcentaje
pH	Potencial de hidrógeno
V	Volumen



## GLOSARIO

<b>Biomasa</b>	Todo material orgánico degradable y no fosilizado que es originado de plantas, animales y microorganismos.
<b>Cáscara</b>	Capa o cubierta exterior, resistente, dura o quebradiza, que envuelve algunas cosas, especialmente huevos, frutas y frutos secos.
<b>Celulosa</b>	Polímero natural compuesto exclusivamente por moléculas de glucosa.
<b>Cromatografía</b>	Método de análisis que permite la separación de gases o líquidos de una mezcla por adsorción selectiva, produciendo manchas diferentemente coloreadas en el medio adsorbente.
<b>Destilación</b>	Método usado para la separación y purificación de líquidos, consiste en la evaporación parcial de un líquido y su posterior condensación en una parte diferente del aparato de destilación.
<b>Hidrólisis</b>	Proceso por el cual se transforman moléculas de gran tamaño en productos más sencillos y fácilmente degradables.

<b>Hidrólisis ácida</b>	Proceso químico que utiliza catalizadores ácidos para transformar cadenas de polisacáridos en sus monómeros elementales.
<b>Leudado</b>	Proceso de fermentación de la masa por efecto de la levadura.
<b>Lignocelulosa</b>	Principal componente de la pared celular de las plantas.
<b>pH</b>	Parámetro usado para medir el grado de acidez o alcalinidad de las sustancias.
<b>Pretratamiento</b>	Procesos cuya función es hacer al material más susceptible y accesible para una etapa posterior.

## RESUMEN

El objetivo de la investigación fue comparar la cantidad de bioetanol obtenido a partir de la hidrólisis ácida de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) y la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), al realizar la variación del tamaño de partícula y el porcentaje de ácido sulfúrico durante la fermentación utilizando *Saccharomyces cerevisiae* a nivel laboratorio.

En la experimentación se realizaron diferentes pretratamientos físicos y químicos, los cuales fueron la disminución del tamaño de partícula y la hidrólisis alcalina de los sustratos para facilitar la obtención de azúcares reductores en la hidrólisis ácida a partir de una lixiviación estática con reflujo.

Al finalizar la hidrólisis ácida se realizó la eliminación de los compuestos inhibidores de la fermentación, elevando el pH del jarabe glucosado a un pH de 10 y luego se disminuyó en un rango de pH entre 5 y 5,8 dejándolo reposar durante 20 minutos para que los compuestos inhibidores como derivados del furano, ácidos alifáticos de bajo peso molecular y derivados fenólicos precipitaran, para posteriormente realizar la filtración del jarabe glucosado.

A partir de la prueba de Fehling se determinó cualitativamente la presencia de azúcares reductores, para posteriormente realizar la fermentación con *Saccharomyces cerevisiae* y obtener una solución etanólica. Realizando una destilación simple a la solución para la obtención del bioetanol.

Uno de los puntos de control durante la destilación fue la temperatura, debido a que el etanol posee un punto de ebullición de 78,9 °C, se estableció

una temperatura máxima de 84 °C para evitar obtener otros subproductos de la fermentación en el destilado. A las muestras del destilado obtenido se les realizó una cromatografía de gases FID para determinar el porcentaje masa por volumen de bioetanol obtenido en cada una de las repeticiones realizadas. Los datos obtenidos durante la experimentación se organizaron en diferentes tablas y figuras para realizar la comparación de resultados entre cada uno de los sustratos.

Se determinó que al realizar la experimentación para la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) con un tamaño de partícula de 1,68 mm y un porcentaje de ácido sulfúrico del 4 % se obtuvo el mayor porcentaje de rendimiento en la repetición número dos, la cual fue del 10,45 %, mientras que para la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) el mayor porcentaje de rendimiento se obtuvo utilizando un tamaño de partícula de 2 mm y un porcentaje de ácido sulfúrico del 4 % en la repetición número uno, la cual fue de 0,51 %.

A partir de los resultados obtenidos se determinó que la obtención de bioetanol en la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) es mayor en comparación al de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.), obteniendo porcentajes de rendimiento promedio del 7,68 y 0,21 % respectivamente.

## OBJETIVOS

### General

Comparar la cantidad de bioetanol que se obtuvo a partir de la hidrólisis ácida de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) y la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), al variar el tamaño de partícula (2 mm y 1,68 mm) y el porcentaje de ácido sulfúrico (4 y 5 %), durante la fermentación utilizando *Saccharomyces cerevisiae* a nivel laboratorio.

### Específicos

1. Determinar el porcentaje de rendimiento obtenido de bioetanol en función del tamaño de partícula (2 y 1,68 mm) de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) y la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*).
2. Establecer el porcentaje de ácido sulfúrico adecuado para obtener la mayor cantidad de azúcares reductores.
3. Identificar azúcares reductores a partir de la prueba de Fehling.
4. Determinar con qué sustrato [cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) o cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*)] se obtiene un mayor porcentaje de rendimiento de bioetanol.



## INTRODUCCIÓN

Los biocombustibles son combustibles de origen biológico que se obtienen de una fuente renovable como restos orgánicos que proceden habitualmente del azúcar, trigo, maíz o semillas oleaginosas. Estos tipos de biocombustibles son mezclados con otros combustibles en pequeños porcentajes (del 5 al 10 %), lo cual proporciona una reducción limitada de gases de efecto invernadero, siendo los biocombustibles más usados y desarrollados el bioetanol y el biodiesel.

El bioetanol se obtiene a partir de distintas clases de materia prima, las cuales se clasifican en cuatro generaciones: la primera es la materia prima de procedencia agrícola, utilizando las partes alimenticias de alto contenido en almidón y azúcares. La segunda lo conforman los residuos agrícolas o forestales compuestos por celulosa como la paja de trigo, aserrín, tallos, hojas, ramas, entre otros. La tercera son los vegetales no alimenticios, de crecimiento rápido y de alta densidad energética, como las algas verdes, por último se encuentran las materias primas de cuarta generación la cual está en desarrollo y es a partir de bacterias genéticamente modificadas.

Actualmente se necesita un tipo de combustible biológico que sea renovable y que no dañe el medio ambiente, como los biocombustibles; los cuales se realizan a partir de biomasa y pueden sustituir parte de los combustibles fósiles como el petróleo y carbón; los cuales ayudan a disminuir la contaminación que estos producen al liberar gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono.

El propósito de este trabajo de graduación es comparar la cantidad de bioetanol obtenido a partir dos tipos de biomasa de segunda generación que son la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) y la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), realizando una variación en el pretratamiento físico de tamaño de partícula (2 y 1,68 mm) y el porcentaje de ácido sulfúrico (4 y 5 %) empleado en la realización de la hidrólisis ácida.

## 1. ANTECEDENTES

Estudios sobre la obtención de biocombustibles se han realizado a lo largo de la historia, siendo estos a nivel laboratorio y de planta piloto para su obtención. A continuación se citan estudios de gran importancia para la elaboración del trabajo de investigación:

En la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Complutense de Madrid, en 2003, José Miguel Oliva Domínguez, realizó el trabajo de graduación para optar al grado de doctor titulado: *Efecto de los productos de degradación originados en la explosión por vapor de biomasa de Chopo sobre Kluyveromyces marxianus*, cuyo objetivo del estudio fue identificar los compuestos de degradación originados en la explosión por vapor de biomasa de chopo que pudieran actuar como inhibidores potenciales de la fermentación.

En la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Istmo (México), en 2009, Santiago Esteva Gutiérrez, realizó el trabajo de graduación titulado: *Obtención de bioetanol a partir del mango criollo del istmo de Tehuantepec*, donde el objetivo general del estudio fue obtener el bioetanol a partir de la fermentación a nivel laboratorio del jugo (mosto) de mango criollo del municipio de Santo Domingo Tehuantepec.

El artículo científico titulado: *Producción de bioetanol a partir de la fermentación alcohólica de jarabes glucosados derivados de cáscaras de naranja y piña*, realizado en la Universidad de Cartagena, Cartagena de las Indias, Colombia por Lesly P. Tejeda, Candelaria Tejeda, Ángel Villabona, Mario R. Alvear, Carlos R. Castillo, Daniela L. Henao, Wilfredo Marimón, Natali

Madariaga y Arnulfo Tarón; se realizó obtención de bioetanol a partir de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) y piña (*Ananás sativus*).

De dos diferentes biomásas se determinó el contenido de azúcares reductores, esto se realizó a partir de un pretratamiento físico de reducción de tamaño de las muestras y la remoción de lignina mediante hidróxido de sodio y sulfato de calcio, además se utilizó hidrólisis ácida a partir de ácido sulfúrico al 5 % a 125 °C y 15 psi para la obtención del jarabe azucarado.

El etanol que se obtuvo fue separado por microdestilación y se determinó el contenido a partir de cromatografía de gases donde se determinó que la cáscara de naranja obtuvo mayor contenido de etanol 8.4 mg/g, que con la cáscara de piña 1 mg/g.

El artículo científico de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Resistencia, titulado: *Hidrólisis enzimática de cascarilla de arroz pretratada con ácido diluido para evaluar la eficacia de la etapa de pretratamiento*, hecho en Resistencia, Argentina, por Eliana P. Dagnino, Facundo S. Roggero Luque, Walter G. Morales, Ester R. Chamorro, Fernando E. Felissia, María C. Area, Silvia D. Romano; efectuaron la comparación en la obtención de bioetanol, enfocándose en la hidrólisis enzimática donde se cuantificaron los azúcares liberados en esta etapa al utilizar la cascarilla de arroz pretratada y sin tratar.

Al pasar cincuenta horas se finalizó la reacción con el 50 % de conversión para la cascarilla pretratada y del 31 % para la cascarilla sin tratar, con esto se demuestra la importancia de la aplicación de un pretratamiento antes de hacer la hidrólisis.

El artículo científico del Centro de Investigación en Biotecnología, UAEM, titulado: *Lignocelulosa como fuente de azúcares para la producción de etanol*, realizado en México, por Laura Cuervo, Jorge Luis Folch, Rosa Estela Quiroz; se realizó la explicación de los diferentes pretratamientos para mejorar la hidrólisis, ya que estos pueden ser físicos, químicos y biológicos, cuyo propósito fue mostrar un panorama de los métodos que se han desarrollado para hidrolizar lignocelulosa.

El artículo científico del Departamento de Ingeniería Agrícola y Biológica de la Universidad del estado de Carolina del Norte, titulado: *Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review*, por Ye Sun y Jiayang Cheng; explicaron la importancia de la realización de pretratamientos previos en los materiales lignocelulósicos para remover la lignina y la hemicelulosa lo, cual puede mejorar significativamente la hidrólisis de la celulosa.



## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Biocombustibles**

Son combustibles de origen biológico que se obtienen de una forma renovable a partir de restos orgánicos que provienen normalmente del trigo, maíz, azúcar o semillas que contienen algún tipo de aceite.

Estos disminuyen el volumen total de dióxido de carbono que se llega a emitir en la atmósfera, debido a que las plantas de donde provienen los biocombustibles lo absorben a medida que crecen, emitiendo similarmente la misma cantidad que los combustibles cuando se queman, lo que produce un proceso de ciclo cerrado.

Algunos combustibles son mezclados con pequeñas proporciones de biocombustibles (5 o 10 %), proporcionando una disminución muy útil, pero limitada de gases de efecto invernadero.

El bioetanol y el biodiesel son los biocombustibles más desarrollados y utilizados, el biodiesel se fabrica a partir de aceites vegetales, los cuales pueden haber sido utilizados o estar sin haber sido utilizados, en este caso se utiliza a menudo canola, soya. El bioetanol también llamado etanol de biomasa, se obtiene a partir de maíz, sorgo, caña de azúcar, remolacha o de algunos cereales como el trigo y la cebada.

Hay varios tipos de combustibles y estos se clasifican según la materia prima con la que se producen y la tecnología utilizada, esta clasificación es:

### **2.1.1. Materia prima de primera generación**

La materia prima utilizada proviene del campo y se utilizan las partes alimenticias de estas plantas, ya que presentan alto contenido en almidón, azúcares y aceites. Algunas de estas materias son la caña de azúcar, granos de maíz, trigo y diversos aceites como el de la semilla de girasol, soya, palma, ricino, entre otras. También pueden utilizarse grasas animales, aceites utilizados y desperdicios orgánicos.

Los biocombustibles de primera generación recurren a la fermentación de azúcares y carbohidratos, transesterificación para aceites y grasas y la digestión anaerobia para desperdicios orgánicos.

En la fermentación a partir de los azúcares se obtiene etanol, metanol y butanol; de los aceites se obtiene el biodiesel y de la mezcla de gas natural y de dióxido de carbono de los desperdicios orgánicos se obtiene el biogás.

La ventaja que tiene es su facilidad de procesamiento y sus bajas o nulas emisiones de gases de efecto invernadero. La desventaja que posee es que el desvío de los recursos alimenticios hacia la producción de biocombustibles hace un aumento en los precios, además de la erosión que se genera debido a la plantación realizada.

### **2.1.2. Materia prima de segunda generación**

Es la que proviene de residuos agrícolas o forestales que están compuestos de celulosa como el aserrín, bagazo de caña de azúcar, tallos y hojas de maíz, hojas y ramas secas de árboles, etc. Las ventajas que poseen los biocombustibles de segunda generación son:

- Requieren menos recursos: esto desde el terreno utilizado, el agua, fertilizantes y pesticidas para su producción.
- La energía que se produce es mayor en comparación con los biocombustibles de primera generación.
- Dispone de materia prima no alimenticia, por lo que no hay un alza en los costos de los productos alimenticios como el maíz, trigo, sorgo, entre otros.
- Pueden ser producidos en terrenos no agrícolas.
- Pueden utilizarse para la recuperación de terrenos erosionados.

Entre las desventajas que presentan están:

- La poca disminución de emisiones de gases de efecto invernadero durante el procesamiento de insumos.

### **2.1.3. Materia prima de tercera generación**

La materia prima que se utiliza son los cultivos energéticos, estos son vegetales no alimenticios de crecimiento rápido y de alta densidad energética almacenada en sus componentes químicos, por ejemplo: los pastos perennes, árboles, plantas de crecimiento rápido y algas verdes y verdeazules.

La ventaja que presenta es que toma el dióxido de carbono para la producción de los insumos y provee un balance positivo en la emisión de gases de efecto invernadero.

La desventaja es que necesita tierras de cultivo alimenticio para la siembra de las plantas con excepción de las algas.

#### **2.1.4. Materia prima de cuarta generación**

La materia prima utilizada son bacterias genéticamente modificadas, donde se emplea dióxido de carbono o alguna otra fuente de carbono para la obtención del producto. Esta generación todavía se encuentra en desarrollo, pero, por lo pronto se sabe que se puede obtener etanol.

### **2.2. Pretratamientos utilizados para materiales lignocelulósicos**

Un pretratamiento tiene la función de hacer al material más susceptible y accesible para la etapa posterior, ya que consigue remover total o parcialmente la lignina y la hemicelulosa, disminuir la cristalinidad de la celulosa, aumentar el área superficial del material y disminuir la presencia de sustancias que dificulten la hidrólisis. Los métodos de pretratamiento se clasifican en: físicos, químicos, fisicoquímicos y biológicos.

#### **2.2.1. Pretratamientos físicos**

Los pretratamientos físicos tienen como objetivo reducir la cristalinidad de la celulosa y el aumento en la porosidad de los materiales.

##### **2.2.1.1. Trituración mecánica**

Los materiales de desecho pueden ser triturados por una combinación de astillado, trituración y molienda, esto se realiza para reducir la cristalinidad de la

celulosa, aumentar la superficie específica y la densidad aparente, lo cual facilita la hidrólisis.

#### **2.2.1.2. Pirólisis**

Es tratar los materiales a temperaturas mayores a los 300 °C, la celulosa rápidamente se descompone en productos gaseosos y residuales. De todas las formas no es un método adecuado para la posterior hidrólisis.

#### **2.2.2. Pretratamientos fisicoquímicos**

Procesos que consisten en someter al material de estudio a temperaturas y presiones altas, para aumentar el potencial de hidrólisis de la celulosa.

##### **2.2.2.1. Explosión de vapor (autohidrólisis)**

Es el método más común utilizado para el pretratamiento de materiales lignocelulósicos, la biomasa se trata con presiones altas de vapor saturado, luego la presión es rápidamente reducida, lo cual provoca que los productos sean objeto de descompresión explosiva.

Este proceso causa la degradación de la hemicelulosa y la transformación de lignina debido a la alta temperatura, por lo que aumenta el potencial de hidrólisis de la celulosa.

##### **2.2.2.2. Fibra de explosión de amoníaco**

Método en el cual los materiales lignocelulósicos están expuestos a

amoníaco líquido a temperaturas y presiones altas durante un periodo de tiempo, luego los materiales se someten a una rápida descompresión.

### **2.2.3. Pretratamientos químicos**

Procesos en los cuales se utilizan reactivos para la degradación de la lignina y hemicelosa, que serán utilizados en la hidrólisis de la celulosa.

#### **2.2.3.1. Ozonólisis**

El ozono puede ser utilizado para degradar la lignina y la hemicelulosa de muchos materiales lignocelulósicos, no produce residuos tóxicos para aguas de bajo proceso y las reacciones se llevan a cabo a temperatura y presión ambiente.

#### **2.2.3.2. Hidrólisis ácida**

Este pretratamiento puede hacerse, ya sea con ácidos concentrados o ácidos débiles, se pueden utilizar ácidos concentrados como ácido clorhídrico (HCl) y ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) para tratar los materiales lignocelulósicos, aunque son poderosos agentes de hidrólisis de la celulosa son tóxicos, corrosivos y peligrosos, además se necesita de reactores que sean resistentes a la corrosión y el ácido debe ser recuperado después del proceso para que sea económicamente factible el proceso.

El proceso con ácidos diluidos es exitosamente desarrollado para el tratamiento previo de materiales lignocelulósicos, el ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) diluido puede lograr una alta reacción y mejorar significativamente la hidrólisis de la celulosa.

### **2.2.3.3. Hidrólisis alcalina**

Se cree que el mecanismo en este tipo de pretratamiento es la saponificación de los enlaces ésteres intramoleculares que unen los xilanos de la hemicelulosa y otros componentes.

El tratamiento con hidróxido de sodio (NaOH) causa la hinchazón del material, lo que provoca un aumento en el área superficial interna, una disminución en el grado de polimerización, una disminución de la cristalinidad, la separación de los vínculos estructurales entre la lignina y los carbohidratos y una separación de la estructura de la lignina.

### **2.2.4. Pretratamientos biológicos**

Se utilizan para degradar la lignina y la hemicelulosa de materiales de desecho eliminando las barreras que protegen la celulosa y haciéndola más accesible al posterior ataque enzimático, esto a partir de microorganismos como hongos de la podredumbre blanca, marrón o blanda.

## **2.3. Compuestos tóxicos generados en la realización de los pretratamientos**

Al realizar el pretratamiento del material lignocelulósico se obtienen azúcares que provienen de la hidrólisis y solubilización de la celulosa y hemicelulosa.

Debido a que el material es sometido, durante el pretratamiento, a altas temperaturas y condiciones ácidas, se da la formación de compuestos que

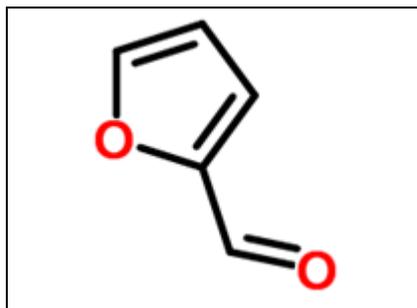
pueden ser inhibidores potenciales de la fermentación, lo cual genera rendimientos muy bajos.

La naturaleza y concentración de estos compuestos inhibidores depende del tipo de materia prima, pretratamiento, condiciones del proceso y de la utilización o no de catalizadores ácidos. Los compuestos inhibidores de la fermentación pueden dividirse en tres grupos que son:

### 2.3.1.1. Derivados del furano

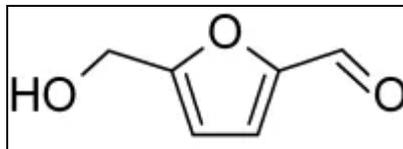
Debido a las altas temperaturas que se emplean durante los pretratamientos, los azúcares originados durante la hidrólisis, especialmente de la hemicelulosa, se degradan formando dos compuestos que son derivados del furano, los cuales son: el furfural que se origina de la degradación de las pentosas (xilosa y arabinosa) y el 5-hidroximetilfurfural (HMF), dando como resultado la degradación de las hexosas (glucosa, manosa y galactosa).

Figura 1. Estructura molecular del furfural



Fuente: ChemSpider. <http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.13863629.html>. Consulta: 30 de agosto de 2015.

Figura 2. **Estructura molecular del 5-hidroximetilfurfural**

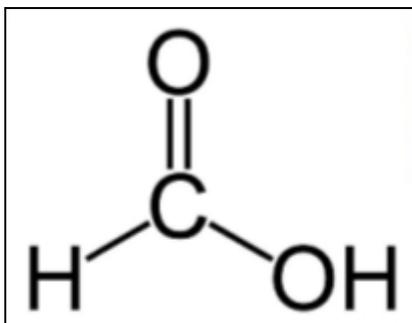


Fuente: Fciencias. <http://www.fciencias.com/2014/09/25/hidroximetilfurfural-hmf-molecula-da-semana/>. Consulta: 30 de agosto de 2015.

### 2.3.1.2. **Ácidos alifáticos de bajo peso molecular**

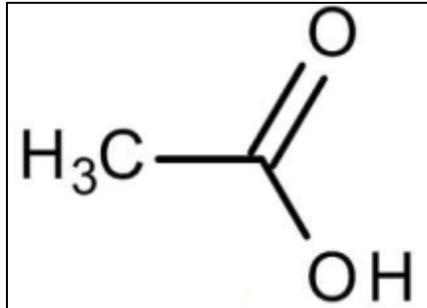
El furfural y el HMF se pueden degradar a otros productos, el furfural se degrada a ácido fórmico o polimerizarse, mientras que el HMF origina cantidades equimolares de ácido fórmico y levulínico. Además de estos ácidos alifáticos, origina ácido acético que proviene de la hidrólisis de los restos acetilos de la hemicelulosa.

Figura 3. **Estructura molecular del ácido fórmico**



Fuente: Distribuidora aliados LDTA. <http://www.distribuidoraaliados.com/portfolio-items/acido-formico/?portfolioID=4310>. Consulta: 30 de agosto de 2015.

Figura 4. **Estructura molecular del ácido acético**



Fuente: Distribuidora aliados LDTA. <http://www.distribuidoraaliados.com/portfolio-items/acido-acetico-2/#prettyPhoto>. Consulta: 30 de agosto de 2015.

### **2.3.1.3. Derivados fenólicos**

En el pretratamiento una parte de la lignina se degrada originando compuestos fenólicos, los cuales son muy heterogéneos y se pueden encontrar en forma de monómeros, dímeros y polímeros con una gran variedad de sustituyentes. Entre estos están: ácidos, aldehídos y alcoholes aromáticos.

Los fenoles que se originan durante el pretratamiento varían según el tipo de biomasa, ya que existe una diferenciación de la lignina atendiendo al grupo taxonómico al que pertenezca la especie vegetal.

## **2.4. Reducción o eliminación de la concentración de los compuestos tóxicos generados en el pretratamiento**

Para aumentar la fermentabilidad del hidrolizado obtenido del pretratamiento es necesario reducir o eliminar los compuestos que puedan inhibir la fermentación, por lo que pueden utilizarse los siguientes métodos:

### **2.4.1. Métodos biológicos**

Consiste en utilizar microorganismos que puedan metabolizar algunos de los compuestos tóxicos que se encuentran en el hidrolizado.

### **2.4.2. Métodos químicos y físicos**

Existen varios métodos para la eliminación de los compuestos inhibidores de la fermentación, siendo estos capaces de aumentar la fermentación del producto de interés obtenido en el hidrolizado.

#### **2.4.2.1. Tratamiento con hidróxidos**

Este método ha sido uno de los más empleados para la eliminación de los compuestos tóxicos que se generan en el pretratamiento, consiste en añadir hidróxido de calcio (o cualquier tipo de hidróxido como hidróxido de sodio, hidróxido de magnesio), hasta alcanzar un pH de 10. Esto hace que se forme un precipitado formado por sales de calcio de baja solubilidad que arrastra algunos compuestos tóxicos como HMF, furfural y ácido acético. Este precipitado debe eliminarse del medio antes de la fermentación.

#### **2.4.2.2. Evaporación**

Consiste en la eliminación de compuestos volátiles como furfural, ácido fórmico y ácido acético, se realiza a pH bajo debido a que el ácido acético y fórmico solo son volátiles en su forma protonada, este tratamiento no elimina el ácido levulínico, el hidroximetilfurfural y compuestos fenólicos.

### **2.4.2.3. Resinas de intercambio iónico**

Algunos autores encuentran efectivo utilizar resinas de intercambio catiónico para la eliminación de las toxinas, pero los mejores resultados se han obtenido con resinas de intercambio aniónico a un pH de 10. Al utilizar las resinas eliminan principalmente compuestos fenólicos, debido a que estos forman enlaces fuertes entre los grupos de amonio cuaternario de la resina.

## **2.5. Azúcares reductores**

Son monosacáridos o disacáridos que pueden ceder electrones a otras moléculas, por lo que puede actuar como un agente reductor. La presencia de un grupo cetona o aldehído libre permite a la mayoría de los monosacáridos y polisacáridos actuar como azúcares reductores.

## **2.6. Pruebas para la determinación de azúcares reductores**

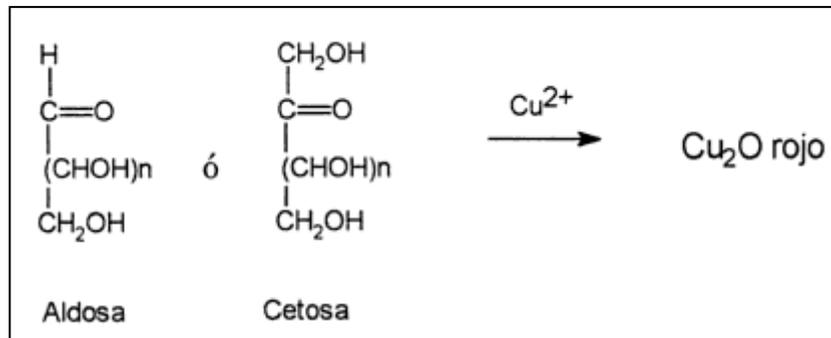
Existen diferentes métodos para determinar azúcares reductores, los cualitativos, los cuales se basan en la observación, y cuantitativos, basados en la obtención de datos.

### **2.6.1. Prueba de Benedict**

El reactivo de Benedict está constituido por una disolución de sulfato de cobre II, citrato de sodio y carbonato de sodio. Al mezclar este reactivo con compuestos que presentan azúcares, se presenta una reacción de oxidación, donde el cobre II en disolución acuosa, de color azul, se reduce a cobre I, el

cual precipita como óxido de cobre I, de color rojo, la reacción positiva se puede observar en la figura 5.

Figura 5. **Reacción positiva para la prueba de Benedict**



Fuente: HERRERA, Carlos; BOLAÑOS, Nuria; LUTZ, Giselle. *Química de alimentos manual de laboratorio*. p. 12.

### 2.6.2. Prueba de Fehling

Es una prueba que detecta azúcares reductores y aldehídos en solución, la solución consiste en dos partes: la solución de Fehling A, que consta de una solución de sulfato de cobre, y la solución de Fehling B, que es una solución de tartrato sódico-potásico e hidróxido de sodio.

### 2.7. Fermentación

La fermentación no solo acuñe al término de la producción de alcohol sino que, cuando un producto alimenticio posee un sabor agrio, a menudo se afirma que esta fermentado, por lo que se puede definir la fermentación como:

- Cualquier descomposición de los alimentos producida por microorganismos (de aplicación general).
- Cualquier proceso que genere bebidas alcohólicas o productos lácteos ácidos (de aplicación general).
- Cualquier proceso microbiano en gran escala en condiciones aerobias o anaerobias (definición utilizada en el ámbito industrial).
- Cualquier proceso metabólico liberador de energía que tenga lugar exclusivamente en condiciones anaerobias (definición más científica).
- “Cualquier proceso metabólico que libere energía a partir de un azúcar u otra molécula orgánica, no necesita la presencia de oxígeno ni de una cadena transportadora de electrones y utiliza una molécula orgánica como aceptador final de electrones”<sup>1</sup>.

La fermentación viene desde la antigüedad, ya que antes de que se pudiera entender la fermentación en los productos, las personas creían que era un regalo de los dioses, pues no entendían que se podía crear algo a partir de algo que únicamente se dejaba en reposo.

Con la llegada de la ciencia avanzada y por científicos como Louis Pasteur, se comenzó a entender que la fermentación no era un proceso químico, sino un proceso natural donde un organismo llamado levadura actúa para crear energía y subsistir.

---

<sup>1</sup>TORTORA; FUNKE; CASE. *Introducción a la microbiología*. p. 963.

## 2.8. Levadura

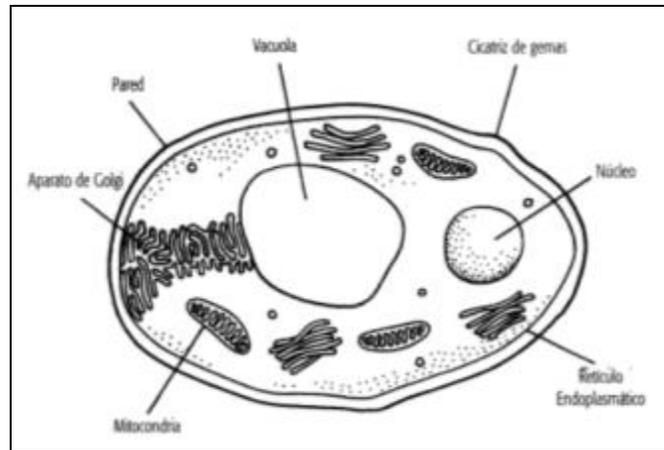
Es un organismo heterogéneo en su morfología y fisiología; sin embargo, la forma habitual en que se les encuentra es unicelular, además pueden presentar micelio.

Se encuentran ampliamente distribuidas en la naturaleza, pueden estar en el suelo, en la superficie de las frutas, en el néctar de las flores y en ambientes acuáticos. La mayoría son saprófitas, esto significa que se desarrollan de materia orgánica muerta, otras son parásitas, facultativas u obligadas, por lo que se desarrollan en otros seres.

Algunas levaduras parásitas pueden causar enfermedades en el hombre, animales y plantas. Entre las saprófitas, las fermentativas llevan a cabo la fermentación alcohólica de azúcares, característica que ha sido aprovechada por el hombre desde tiempos remotos.

Las células de las levaduras son relativamente grandes entre 1 y 5  $\mu m$  de ancho por 5 a 30  $\mu m$  de largo, en comparación con una bacteria común, aunque la mayoría de las levaduras se encuentra entre 3 y 8  $\mu m$  de diámetro.

Figura 6. **Diagrama de la estructura de una levadura**



Fuente: GARCÍA, Vera. *Introducción a la microbiología*. p. 109.

### **2.8.1. Levadura de panería**

Son utilizadas para cocinar, suelen venderse en los supermercados y panaderías, existen dos tipos y son:

#### **2.8.1.1. Levadura fresca o levadura madre**

Este tipo de levadura posee un tiempo de caducidad relativamente corto, por lo que debe mantenerse en sitios fríos e incluso pueden conservarse mediante congelación.

#### **2.8.1.2. Levadura seca o de panadero**

Este tipo de levadura es la misma que la levadura fresca con la diferencia en que está deshidratada y granulada para mejorar su conservación y su poder de leudado.

### **2.8.2. Levadura química**

También conocido como polvo de hornear, no posee organismos vivos, por lo que no son levaduras sino agentes gasificantes o impulsores, normalmente compuestos por bicarbonato de sodio, fosfato de calcio ácido, sulfato de aluminio sódico o una mezcla de los tres, que al entrar en contacto con el producto reacciona emitiendo gases (dióxido de carbono).

### **2.8.3. Levadura de cerveza o nutricional**

Es un subproducto de la producción de cerveza, la cual se emplea en la fermentación de la misma. Su composición es rica en proteínas, vitaminas y minerales, por lo que se recomienda su uso para complementos dietéticos.

## **2.9. Condiciones ambientales requeridas para el crecimiento de las levaduras**

Para mejorar el rendimiento de la fermentación, hay que tomar en cuenta las condiciones ambientales para mejorar el crecimiento y reproducción de las levaduras.

### **2.9.1. Oxígeno**

Las levaduras crecen bajo condiciones aerobias. Algunas son estrictamente aerobias y otras son facultativas.

### **2.9.2. pH**

Las levaduras se desarrollan mejor en medios ácidos (3,8–5,6). Sin embargo, pueden tolerar rangos de pH de 2 hasta 8.

### **2.9.3. Temperatura**

Existen levaduras que pueden crecer a diferentes temperaturas, sin embargo, la mayor parte de levaduras saprófitas poseen temperaturas óptimas de crecimiento entre los 22 y los 30 °C.

## **2.10. Curva de crecimiento de la levadura**

Gráfica que indica la fase o estado en el cual la levadura se encuentra, luego de haber iniciado el proceso de fermentación.

### **2.10.1. Fase de latencia**

En esta etapa del crecimiento la población de levadura no aumenta, se encuentra adaptándose en el medio en que se les coloque.

### **2.10.2. Fase de aceleración**

Las levaduras empiezan a reproducirse, por lo que llegan a encontrarse poblaciones de hasta  $10^5$  células/ml. El tiempo transcurrido en esta fase con la anterior es de 24 horas, el cual depende de la temperatura y finaliza cuando el mosto se satura de dióxido de carbono.

### **2.10.3. Fase de crecimiento exponencial**

La población de levaduras crece exponencialmente, coincidiendo el número de células totales con las vivas.

### **2.10.4. Fase de ralentización del crecimiento**

Corresponde a la última parte de la fase de crecimiento exponencial, aquí el medio fermentativo posee factores limitantes haciendo que la población de levaduras deje de crecer, alcanzándose un valor de 80 a 100 millones de células por mililitro.

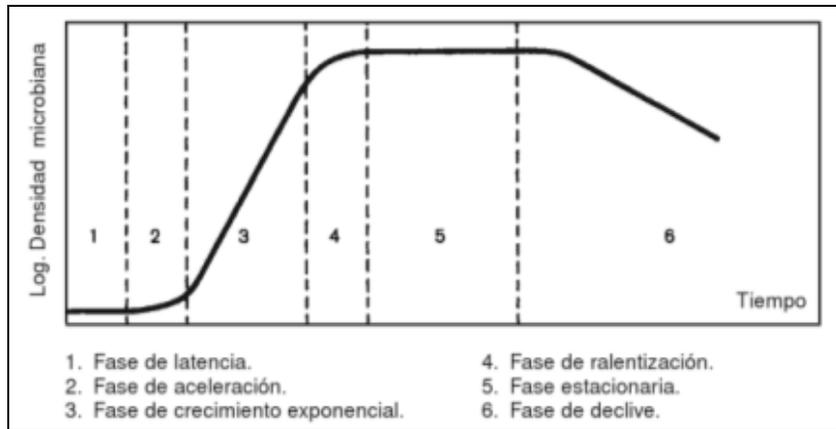
### **2.10.5. Fase estacionaria**

No se presenta crecimiento y las levaduras no se multiplican, permaneciendo la población constante y activa durante un determinado tiempo.

### **2.10.6. Fase de declive**

Constituye un tiempo más largo que la fase de crecimiento, las levaduras vivas disminuyen ligeramente debiendo transformar los últimos azúcares del mosto en condiciones cada vez más adversas, las células mueren y por autólisis excretan al medio sustancias que contienen.

Figura 7. **Curva de crecimiento de la levadura**



Fuente: HIDALGO TOGORES, José. *Tratado de enología*. p. 585.

## 2.11. **Saccharomyces cerevisiae**

Es conocida desde la antigüedad como la levadura del pan, del vino y de la cerveza, esta levadura se ha convertido en un organismo de estudio común en los laboratorios y ha ganado protagonismo en el laboratorio al convertirse en un potente modelo biológico de organismos eucariotas.

Los factores que inhiben su crecimiento son elementos que poseen: plata, arsénico, bario, litio, níquel, osmio, plomo, selenio y telurio. Los factores y condiciones para su crecimiento son:

- Vitaminas: biotina, pantotenato, tiamina, piridoxina, ácido p-aminobenzoico, niacina, ácido fólico, riboflavina.
- pH interno entre 5,8 y 6,3.
- pH externo entre 3 y 7.
- Temperatura óptima entre los 28 y 35 °C.
- Actividad de agua mayor a 0,6.

## **2.12. Destilación**

Es un método usado para la separación y purificación de líquidos, este proceso consiste en la evaporación parcial de un líquido y su posterior condensación en una parte diferente del aparato de destilación.

El éxito, a partir de las técnicas de destilación, depende de varios factores, entre estos se incluye la diferencia de presión de vapor de los componentes presentes, la cantidad de muestra, el aparato de destilación, de la posible destilación simultánea de dos componentes o la formación de azeótropos y del cuidado que tenga el experimentador al realizar la operación.

### **2.12.1. Destilación simple**

Cuando se tiene una muestra que contiene, principalmente un componente volátil, se utiliza una destilación simple y así obtener un compuesto purificado.

### **2.12.2. Destilación fraccionada**

Se emplea cuando es necesario separar dos o más compuestos volátiles, este tipo de destilación está basado en la ejecución de un gran número de ciclos teóricos de condensación- evaporación. Al usar una columna de fraccionamiento se produce un equilibrio entre el líquido condensado que desciende por su interior y los vapores ascendentes, lo cual produce el efecto de múltiples ciclos de evaporación- condensación.

## **2.13. Lixiviación**

Es una de las operaciones unitarias más antiguas que existen en la industria química, consiste en una disolución ya sea de uno o más componentes que se encuentran en una mezcla sólida al tener contacto con algún disolvente líquido, cuando se trabajan con productos vegetales la lixiviación se puede dar de la siguiente manera:

### **2.13.1. Lixiviación dinámica**

En este proceso el material vegetal con el que se trabaja se coloca en contacto con una fase líquida, la cual se encuentra en movimiento, esto se hace para que el material vegetal pueda transferir ya sea uno o más componentes que se encuentran en la fase sólida a la líquida.

### **2.13.2. Lixiviación estática**

Antiguamente llamado maceración, este proceso consiste en colocar el material vegetal en contacto con un líquido el cual se encuentra en reposo para que pueda transferir uno o más componentes a la fase líquida.

### **2.13.3. Lixiviación estática con reflujo**

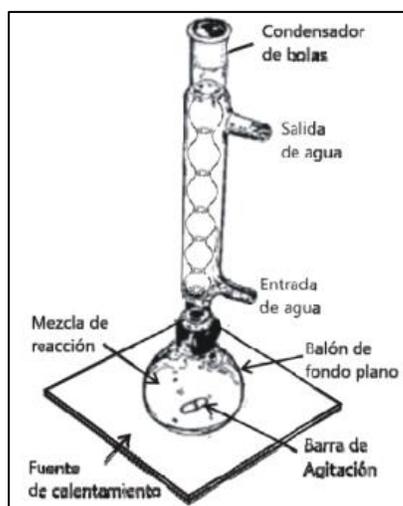
Consiste en colocar el material vegetal en contacto con un líquido en ebullición, mientras que el vapor producido se condensa y retorna al matraz de destilación como líquido. Esta técnica es utilizada para calentar mezclas por tiempos prolongados a una temperatura determinada, donde no se permite la evaporación excesiva de los líquidos.

La ventaja que posee esta técnica es que se puede dejar por un tiempo prolongado sin la necesidad de agregar más solvente, es muy importante para la realización de reacciones que necesitan estar bajo condiciones controladas las cuales requieren de un tiempo substancial para ser completadas.

#### 2.13.4. Lixiviación dinámica con reflujo

Consiste en colocar el material vegetal en contacto con un líquido en ebullición el cual se encuentra en movimiento debido a una barra de agitación u otro equipo que pueda proveer el movimiento, al igual que la lixiviación estática con reflujo, el vapor que se produce se condensa y retorna al matraz de destilación como líquido, además es utilizada para calentar mezclas por tiempos prolongados a una temperatura determinada donde no se permite la evaporación excesiva de los líquidos.

Figura 8. Montaje para la lixiviación dinámica con reflujo



Fuente: GUARNIZO F., Anderson; MARTÍNEZ Y., Pedro. *Experimentos de química orgánica con enfoque en ciencias de la vida*. p. 112.

## 2.14. Biomasa

La biomasa es todo material orgánico degradable y no fosilizado originado de plantas, animales y microorganismos, la cual incluye productos, subproductos, residuos y desechos agrícolas, forestaría e industrias afines como fracciones orgánicas y no fosilizadas de desechos industriales y municipales. También incluye los gases y líquidos que se recuperan de la descomposición de materiales orgánicos biodegradables y no fosilizados.

## 2.15. Cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.)

La naranja es utilizada como materia prima en las industrias alimenticias para la elaboración de jugos, siendo la cáscara desechada luego de haber extraído el jugo, por lo que este tipo de biomasa puede aprovecharse, ya sea para la obtención de aceites naturales, pectina, compost e incluso para la obtención de biocombustibles como el bioetanol, en la tabla I y II se presentan las composiciones químicas y fisicoquímicas de la cáscara de naranja.

Tabla I. **Composición química de la cáscara de naranja**

<b>Compuesto (porcentaje)</b>	<b>Naranja</b>
Carbohidratos totales	24
Proteína	6,03
Fibra dietética total	66
Hemicelulosa	No determinada
Celulosa	No determinada
Lignina	No determinada
Fibra insoluble	59

Continuación de la tabla I.

Compuesto (porcentaje)	Naranja
Fibra soluble	7
Pectina	0,4

Fuente: AGUILAR ÁVILA, Dalia Samanta. *Uso de residuos de naranja (Citrus sinensis) y tamarindo (Tamarindus indica) como biosorbentes en la remoción de plomo, cadmio y zinc de agua contaminadas.* p. 49.

Tabla II. **Composición fisicoquímica de la cáscara de naranja**

Parámetro	Valor
Sólidos solubles (°Brix)	7,1 ± 1,2
pH	3,93 ± 0,03
Total de acidez (g de ácido cítrico/100mL)	0,29 ± 0,03
Índice de formol	34 ± 2,4
Humedad %	85,9 ± 1,6
Grasa % (materia seca)	1,55 ± 0,17
Ceniza % (materia seca)	3,29 ± 0,19
Proteína % (materia seca)	6,16 ± 0,23
Carbohidratos % (materia seca)	89,0 ± 1.1
Fibra soluble % (materia seca)	--
Azúcares neutrales	3,8 ± 0,3
Ácido urónico	7,1 ± 0,9
Lignina	3,2 ± 0,4
Pectina % (DM)	17 ± 5

Fuente: CERÓN SALAZAR, Ivonne; CARDONA ALZATE, Carlos. *Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de cáscara de naranja.* p. 67.

## 2.16. Cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*)

El plátano es utilizado como materia prima en las industrias alimenticias para la fabricación de botanas, harinas, entre otros. Después de utilizar el fruto la cáscara es desechada, por lo que esta biomasa puede emplearse para la realización de compost y la obtención de biocombustibles como el bioetanol; en la tabla III se presenta la composición química de la cáscara de plátano.

Tabla III. **Composición química de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) en dos estados de maduración**

<b>Composición</b>	<b>Estado inmaduro</b>	<b>Estado maduro</b>
Fibra (%)	8,6	9,0
Azúcares totales (%)	6	16
Azúcares reductores (%)	4	13
Almidón (%)	52	42
Nitrógeno (%)	1,4	1,4
Fósforo (%)	0,18	0,18
Potasio (%)	3,4	3,7
Calcio (%)	0,21	0,23
Magnesio (%)	0,08	0,10
Manganeso (ppm)	11	15
Zinc (ppm)	16	18
Cobre (ppm)	11	9
Hierro (ppm)	102	149

Fuente: PALACÍN BELTRÁN, José Roberto. *Efectos de recubrimientos de almidón de yuca, ácido ascórbico, N-acetil-cisteína en la calidad del plátano (Musa paradisiaca)*. p. 19.

## **2.17. Cromatografía de gases**

Análisis, que consiste en hacer pasar el analito en forma gaseosa a través de la columna, arrastrado por una fase móvil gaseosa llamada gas portador.

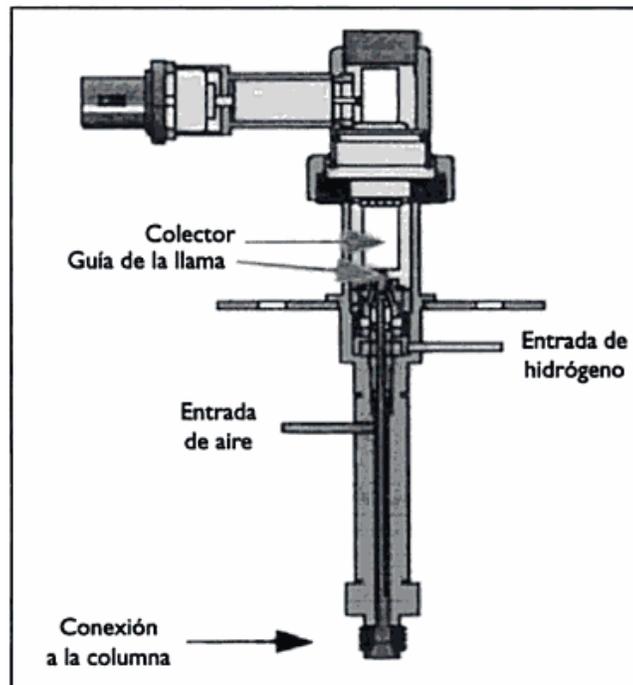
### **2.17.1. Cromatografía de gases con detector de ionización de llama (FID)**

Este tipo de detector es el más utilizado, aquí el compuesto orgánico se quema en una llama de hidrógeno-aire produciendo iones y electrones que conducen electricidad.

Al aplicársele una diferencia de potencial entre el extremo del quemador y un electrodo colector situado sobre la llama, la corriente producida es dirigida hacia un amplificador operacional, donde el número de iones producidos es proporcional al número de átomos de carbono reducidos en la llama por unidad de tiempo, es sensible a la masa no a la concentración e insensible a sustancias inorgánicas y a grupos funcionales como monóxido de carbono, halógenos o aminas ya que no originan iones.

Posee un intervalo lineal de respuesta y puede utilizarse un volumen efectivo bajo, la desventaja es que destruye la muestra.

Figura 9. **Detector de ionización de llama**



Fuente: BARQUERO QUIRÓS, Miriam. *Principios y aplicaciones de la cromatografía de gases.*

p. 32.

### **3. DISEÑO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Localización**

La parte experimental de la investigación se realizó en diferentes instalaciones, en las cuales se hicieron los pretratamientos, tratamientos, pruebas cualitativas, titulaciones, destilaciones y el análisis del destilado obtenido. Los laboratorios donde se hizo el presente estudio son:

- Laboratorio Área de Química, Escuela de Ingeniería Química, edificio T-5, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

#### **3.2. Variables**

Una variable es toda característica o cualidad que puede asumir diferentes valores.

##### **3.2.1. Variables independientes**

Son aquellas características o propiedades que suponen ser la causa del fenómeno estudiado, esta es la que el investigador manipula. Las variables independientes de la investigación se muestran en la tabla IV.

Tabla IV. **Variables independientes de la investigación**

No.	Variable	Dimensionales	Descripción
1	Tipo de sustrato	Adimensional	Se utilizaron dos tipos de sustrato que son: la cáscara de naranja ( <i>Citrus sinensis</i> L.) y la cáscara de plátano ( <i>Musa paradisiaca</i> ).
2	Tamaño de partícula.	mm	Se utilizaron dos tamaños 1,68 y 2 mm.
3	Porcentaje de ácido sulfúrico.	%	Se emplearon dos porcentajes 4 y 5 %
4	Tiempo para la hidrólisis alcalina.	min.	Se utilizó un tiempo constante de 20 minutos por muestra.
5	Tiempo para la hidrólisis ácida.	h	Se empleó un tiempo constante de 3 horas.
6	Tiempo para la fermentación.	h	Se utilizó un tiempo constante de 4 horas.
7	Tiempo para la destilación.	h	Se utilizó un tiempo constante de 2 horas.

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.2. Variables dependientes

Son las características o propiedades que tratan de cambiarse mediante la manipulación de la variable independiente, estas son:

Tabla V. **Variables dependientes de la investigación**

No.	Variable	Dimensionales	Descripción
1	Cantidad de azúcares reductores.	Adimensional	Se utilizó la prueba de Fehling para determinar la existencia de azúcares reductores.
2	Rendimiento de bioetanol.	Adimensional	Depende del tamaño de partícula y porcentaje de ácido sulfúrico utilizados.

Fuente: elaboración propia.

### **3.2.3. Variable respuesta**

Se determinó que la variable respuesta de la fase experimental es el rendimiento de la masa obtenida de bioetanol, en función del tamaño de partícula y el porcentaje de ácido sulfúrico utilizado en la hidrólisis ácida.

### **3.3. Delimitación del problema**

Se evaluó a nivel de laboratorio el rendimiento de bioetanol obtenido de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) y la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), a partir de la variación del tamaño de partícula y porcentaje de ácido sulfúrico.

- Área: bioingeniería.
- Industria: biocombustibles.
- Etapa del proceso: comparación del porcentaje de rendimiento de bioetanol obtenido de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) y la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*).

### **3.4. Recurso humano**

Las personas involucradas en el trabajo de graduación son:

- Investigador: Jim Jossel Girón Gutiérrez
- Asesora: Inga. Hilda Piedad Palma de Martini

### **3.5. Recursos materiales disponibles**

Fueron los utilizados en la parte experimental de la investigación.

#### **3.5.1. Materia prima**

Se utilizaron dos tipos de sustratos, los cuales fueron:

- Cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) en estado maduro.
- Cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) en estado maduro.

#### **3.5.2. Reactivos**

- Hidróxido de sodio 0,1 M, 2 M y 5 M
- Ácido sulfúrico al 4 % v/v, 5 % v/v y 7 % v/v
- Sulfato de cobre (II) 0,28 M
- Tartrato sódico-potásico 2,45 M
- Agua desmineralizada

#### **3.5.3. Microorganismos**

Para el trabajo de graduación se utilizó un tipo de levadura el cual fue:

- Levadura fresca Fleischmann (*Saccharomyces cerevisiae*).

#### **3.5.4. Cristalería**

En la experimentación se utilizaron diferentes tipos de cristalería, los cuales fueron:

- Varilla de agitación
- Tubos de ensayo
- Pipeta serológica de 5 y 10 mL
- Condensador de bolas
- Condensador recto
- Balón aforado de 250 mL
- Balón aforado de 100 mL
- Beaker de 250 mL
- Beaker de 100 mL
- Vidrio reloj
- Embudo
- Erlenmayer de 100 mL
- Cabeza de destilación
- Probeta de 25 mL
- Bureta de 50 mL

### **3.5.5. Equipo**

Para la obtención de los datos obtenidos en la experimentación, se utilizaron los siguientes equipos:

- Molino de cuchillas
- Tamiz núm. 10, 12 y 20
- Balanza analítica
- Plancha de calentamiento eléctrica
- Mangueras
- Potenciómetro
- Espátula

- Pinzas
- Termómetro de mercurio
- Perillas de succión
- Bomba de agua
- Papel mayordomo
- Algodón
- Papel filtro
- Soporte universal
- Rejilla de asbesto
- Pinzas
- Cromatógrafo de gases FID
- Campana de extracción

### **3.6. Técnica cualitativa y cuantitativa**

La parte cualitativa se determinó al identificar azúcares reductores en el hidrolizado utilizando la prueba de Fehling, la cual presentó un precipitado color rojo de óxido de cobre (I), por lo que se continuó con el siguiente proceso que fue la fermentación.

La parte cuantitativa de la investigación fue el comparar el bioetanol obtenido de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) y la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) a partir de dos tamaños distintos de partícula, del porcentaje de ácido sulfúrico en la hidrólisis ácida y la posterior fermentación con *Saccharomyces cerevisiae*.

La hidrólisis ácida, a partir de la técnica de reflujo consistió en la mezcla de ácido sulfúrico al 4 y 5 % con los sustratos cáscara de naranja (*Citrus*

*sinensis* L.) y la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), previo al pretratamiento físico (disminución de partícula) y químico (hidrólisis alcalina).

A partir de esto se tomó el hidrolizado y se realizó la eliminación de compuestos inhibidores de la fermentación, por lo que a partir de hidróxido de sodio se elevó el pH del hidrolizado hasta un pH igual a 10, luego se disminuyó hasta un pH entre 5 y 5,8.

Se tomó una muestra del hidrolizado para determinar si posee azúcares reductores a partir de la prueba de Fehling, luego el hidrolizado se fermentó con levadura fresca (*Saccharomyces cerevisiae*), para obtener el bioetanol a partir de una destilación simple.

Al terminar la destilación de cada una de las muestras se realizó una cromatografía de gases con detector de ionización de llama (FID), obteniendo el porcentaje de masa (g) por volumen (mL) de bioetanol obtenido. Con los resultados obtenidos se determinó el porcentaje de rendimiento a partir de la siguiente ecuación:

$$\%(rendimiento) = \frac{\text{cantidad obtenida}}{\text{cantidad de biomasa inicial}} * 100 \text{ [Ecuación 1, Ref. núm. 20, p. 296]}$$

Donde la cantidad obtenida fue la masa de bioetanol de cada una de las muestras y la cantidad de biomasa inicial fue la masa de los diferentes sustratos (cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) y la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*)) que fue de 75 g por muestra.

### 3.7. Recolección y ordenamiento de la información

En la investigación se recolectaron y ordenaron los datos obtenidos en la medición de granulometría, pH, volumen de destilado, volumen de titulante gastado y el porcentaje de bioetanol obtenido por cada muestra a partir de una cromatografía de gases con detector FID, por lo que se obtuvieron las siguientes tablas:

Tabla VI. **Gasto ácido y básico en la eliminación de compuestos inhibidores de la fermentación para la cáscara de naranja**

Sustrato	Partícula (mm)	Porcentaje de Ácido Sulfúrico	Corrida	Muestra	Volumen de NaOH (mL)	Volumen de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (mL)
Naranja	1,68	4	1	1-1	51,00	1,10
			2	1-2	34,50	1,65
			3	1-3	45,30	1,25
Naranja	2	4	1	3-1	53,00	1,50
			2	3-2	34,30	1,00
			3	3-3	51,20	1,50
Naranja	1,68	5	1	2-1	42,00	1,00
			2	2-2	50,20	1,50
			3	2-3	45,00	1,30
Naranja	2	5	1	4-1	53,00	1,80
			2	4-2	59,00	5,80
			3	4-3	55,00	2,00

Fuente: Laboratorio Área de Química Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla VII. **Gasto ácido y básico en la eliminación de compuestos inhibidores de la fermentación para la cáscara de plátano**

Sustrato	Partícula (mm)	Porcentaje de ácido sulfúrico	Corrida	Muestra	Volumen de NaOH (mL)	Volumen de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (mL)
Plátano	1,68	4	1	5-1	21,10	3,00
			2	5-2	26,50	1,90
			3	5-3	31,30	2,00
Plátano	2	4	1	6-1	23,60	3,80
			2	6-2	28,00	2,00
			3	6-3	26,50	2,50
Plátano	1,68	5	1	7-1	30,00	3,00
			2	7-2	52,00	3,80
			3	7-3	32,00	3,00
Plátano	2	5	1	8-1	32,00	3,00
			2	8-2	53,50	4,50
			3	8-3	38,00	3,20

Fuente: Laboratorio Área de Química Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla VIII. **pH del jarabe glucosado obtenido de la cáscara de naranja**

Sustrato	Tamaño de partícula (mm)	Porcentaje de ácido sulfúrico	Corrida	Muestra	pH
Naranja	1,68	4	1	1-1	5,40
			2	1-2	5,00
			3	1-3	5,30
Naranja	2	4	1	3-1	5,00
			2	3-2	5,40
			3	3-3	5,20
Naranja	1,68	5	1	2-1	5,10
			2	2-2	5,50
			3	2-3	5,40
Naranja	2	5	1	4-1	5,40
			2	4-2	5,10
			3	4-3	5,30

Fuente: Laboratorio Área de Química Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla IX. **pH del jarabe glucosado obtenido de la cáscara de plátano**

Sustrato	Tamaño de partícula (mm)	Porcentaje de ácido sulfúrico	Corrida	Muestra	pH
Plátano	1,68	4	1	5-1	5,40
			2	5-2	5,80
			3	5-3	5,60
Plátano	2	4	1	6-1	5,30
			2	6-2	5,70
			3	6-3	5,50
Plátano	1,68	5	1	7-1	5,50
			2	7-2	5,70
			3	7-3	5,50
Plátano	2	5	1	8-1	5,60
			2	8-2	5,70
			3	8-3	5,50

Fuente: Laboratorio Área de Química Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla X. **Volumen de destilado obtenido de la cáscara de naranja**

Sustrato	Partícula (mm)	Porcentaje de ácido sulfúrico	Corrida	Muestra	Volumen (mL)
Naranja.	1,68	4	1	1-1	28,00
			2	1-2	44,00
			3	1-3	32,00
Naranja	2	4	1	3-1	29,00
			2	3-2	40,00
			3	3-3	35,00
Naranja	1,68	5	1	2-1	30,00
			2	2-2	46,00
			3	2-3	35,00
Naranja	2	5	1	4-1	28,00
			2	4-2	30,00
			3	4-3	32,00

Fuente: Laboratorio Área de Química Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla XI. **Volumen de destilado obtenido de la cáscara de plátano**

Sustrato	Partícula (mm)	Porcentaje de ácido sulfúrico	Corrida	Muestra	Volumen (mL)
Plátano	1,68	4	1	5-1	25,00
			2	5-2	72,00
			3	5-3	47,00
Plátano	2	4	1	6-1	18,00
			2	6-2	29,00
			3	6-3	27,00
Plátano	1,68	5	1	7-1	30,00
			2	7-2	50,00
			3	7-3	38,00
Plátano	2	5	1	8-1	30,00
			2	8-2	37,00
			3	8-3	33,00

Fuente: Laboratorio Área de Química Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla XII. **Porcentaje de bioetanol obtenido de la cáscara de naranja**

Sustrato	Partícula (mm)	Porcentaje de ácido sulfúrico	Corrida	Muestra	% de bioetanol
Naranja.	1,68	4	1	1-1	0,30
			2	1-2	0,080
			3	1-3	0,25
Naranja	2	4	1	3-1	1,31
			2	3-2	0,0090
			3	3-3	0,27
Naranja	1,68	5	1	2-1	0,62
			2	2-2	0,067
			3	2-3	0,081
Naranja	2	5	1	4-1	0,34
			2	4-2	0,084
			3	4-3	0,11

Fuente: Laboratorio Área de Química Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla XIII. **Porcentaje de bioetanol obtenido de la cáscara de plátano**

<b>Sustrato</b>	<b>Partícula (mm)</b>	<b>Porcentaje de ácido sulfúrico</b>	<b>Corrida</b>	<b>Muestra</b>	<b>% de bioetanol</b>
Plátano	1,68	4	1	5-1	12,35
			2	5-2	10,88
			3	5-3	13,99
Plátano	2	4	1	6-1	10,23
			2	6-2	4,43
			3	6-3	3,83
Plátano	1,68	5	1	7-1	3,12
			2	7-2	1,72
			3	7-3	2,67
Plátano	2	5	1	8-1	14,02
			2	8-2	1,59
			3	8-3	6,65

Fuente: Laboratorio Área de Química Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, USAC.

## 4. RESULTADOS

En esta sección se presentan en tablas y gráficas los resultados de la comparación realizada de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) y la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*).

Tabla XIV. **Prueba de Fehling en los hidrolizados de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.)**

Sustrato	Tamaño de partícula (mm)	Porcentaje de ácido sulfúrico	Repetición	Prueba de Fehling
Naranja	1,68	4	1	Positiva
			2	
			3	
	2		1	Positiva
			2	
			3	
	1,68	5	1	Positiva
			2	
3				
2	1		Positiva	
	2			
	3			

Fuente: elaboración propia, Laboratorio Área de Química Escuela de Ingeniería Química.

Tabla XV. **Prueba de Fehling en los hidrolizados de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*)**

Sustrato	Tamaño de partícula (mm)	Porcentaje de ácido sulfúrico	Repetición	Prueba de Fehling	
Plátano	1,68		1	Positiva	
			2		
			3		
	2		4	1	Positiva
				2	
				3	
	1,68		1	Positiva	
			2		
			3		
	2		5	1	Positiva
				2	
				3	

Fuente: elaboración propia, Laboratorio Área de Química Escuela de Ingeniería Química.

Tabla XVI. **Volumen de bioetanol obtenido de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.)**

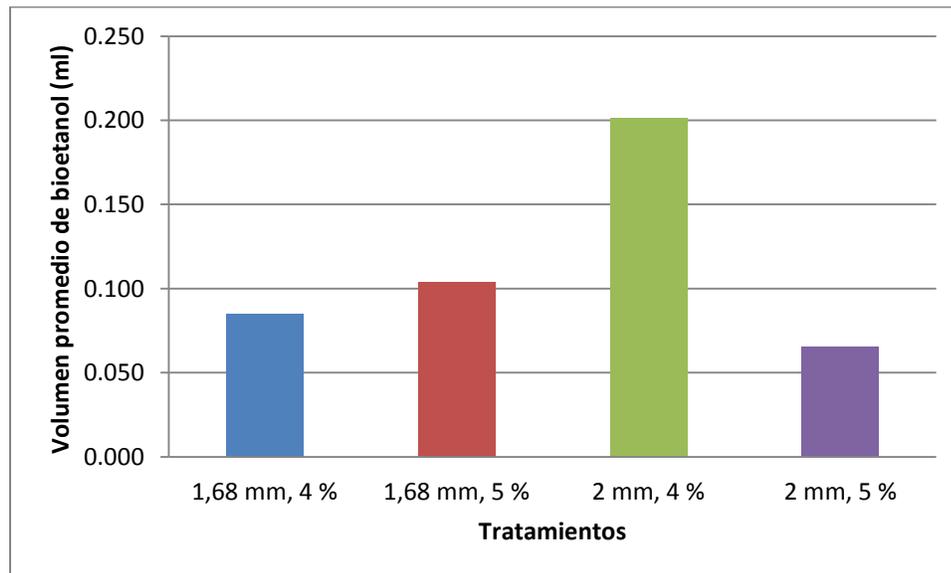
Sustrato	Tamaño de partícula (mm)	Porcentaje de ácido sulfúrico	Repetición	Volumen (ml)	Promedio	$\sigma$
Naranja	1,68	4	1	0,11	0,085	0,035
			2	0,045		
			3	0,10		
	2		1	0,48	0,20	0,24
			2	0,0050		
			3	0,12		

Continuación de la tabla XVI.

Sustrato	Tamaño de partícula (mm)	Porcentaje de ácido sulfúrico	Repetición	Volumen (ml)	Promedio	$\sigma$
Naranja	1,68	5	1	0,24	0,10	0,11
			2	0,039		
			3	0,036		
	2		1	0,12	0,065	0,047
			2	0,032		
			3	0,045		

Fuente: elaboración propia, Laboratorio Área de Química Escuela de Ingeniería Química.

Figura 10. **Volumen promedio de bioetanol obtenido de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) en función de los tratamientos**



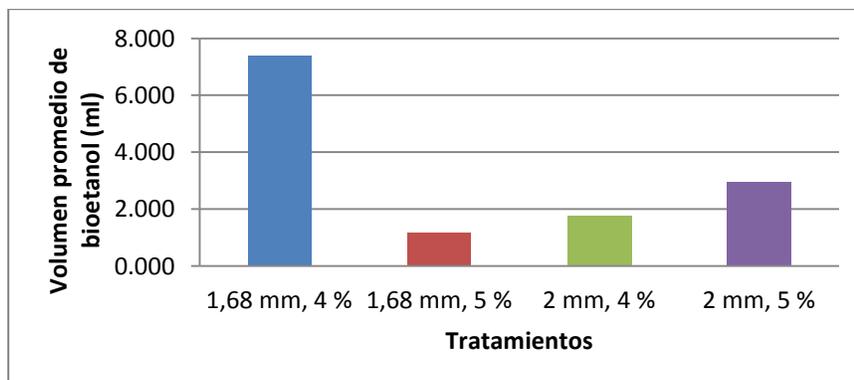
Fuente: elaboración propia, con datos experimentales según tabla XVI.

Tabla XVII. **Volumen promedio de bioetanol obtenido de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*)**

Sustrato	Tamaño de partícula (mm)	Porcentaje de ácido sulfúrico	Repetición	Volumen (ml)	Promedio	$\sigma$	
Plátano	1,68	4	1	3,91	7,39	3,12	
			2	9,93			
			3	8,33			
	2		1	2,33	1,76		
			2	1,63			
			3	1,31			
	1,68	5	1	1,19	1,19	0,100	
			2	1,09			
			3	1,29			
			2	1			5,33
2				0,75			
3		2,78					

Fuente: elaboración propia, Laboratorio Área de Química Escuela de Ingeniería Química.

Figura 11. **Volumen promedio de bioetanol obtenido de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) en función de los tratamientos**



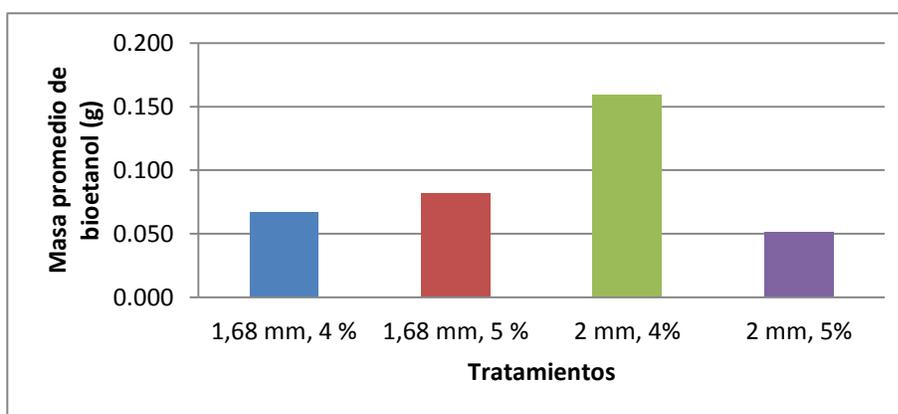
Fuente: elaboración propia, con datos experimentales, según tabla XVII.

Tabla XVIII. **Masa promedio de bioetanol obtenido de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.)**

Sustrato	Tamaño de partícula (mm)	Porcentaje de ácido sulfúrico	Repetición	Masa (g)	Promedio	$\sigma$	
Naranja	1,68	4	1	0,084	0,067	0,027	
			2	0,035			
			3	0,081			
	2		4	1	0,38	0,16	0,196
				2	0,0040		
				3	0,094		
	1,68	5	1	0,19	0,082	0,091	
			2	0,031			
			3	0,028			
		2	5	1	0,094	0,051	0,037
				2	0,025		
				3	0,035		

Fuente: elaboración propia, Laboratorio Área de Química Escuela de Ingeniería Química.

Figura 12. **Masa promedio de bioetanol para la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) en función de los tratamientos**



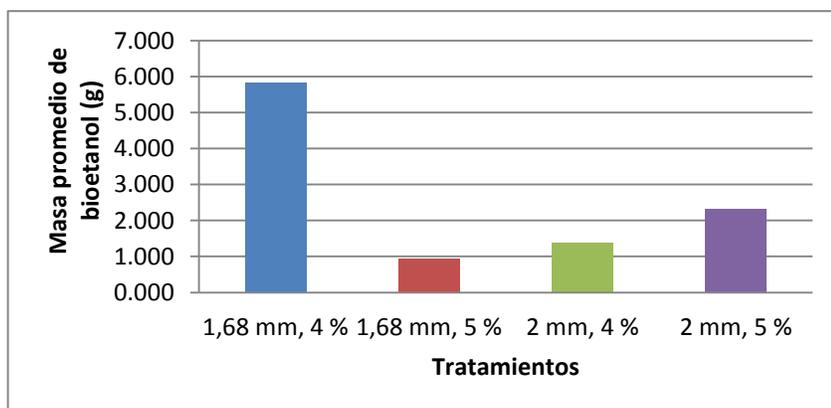
Fuente: elaboración propia, con datos experimentales, según tabla XVIII.

Tabla XIX. **Masa promedio de bioetanol obtenido de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*)**

Sustrato	Tamaño de partícula (mm)	Porcentaje de ácido sulfúrico	Repetición	Masa (g)	Promedio	$\sigma$		
Plátano	1,68	4	1	3,09	5,83	2,45		
			2	7,83				
			3	6,57				
	2		4	1	1,84		1,39	0,413
				2	1,28			
				3	1,04			
	1,68	5	1	0,94	0,94	0,079		
			2	0,86				
			3	1,02				
	2		5	1	4,21		2,33	1,81
				2	0,59			
				3	2,20			

Fuente: elaboración propia, Laboratorio Área de Química Escuela de Ingeniería Química.

Figura 13. **Masa promedio de bioetanol para la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) en función de los tratamientos**



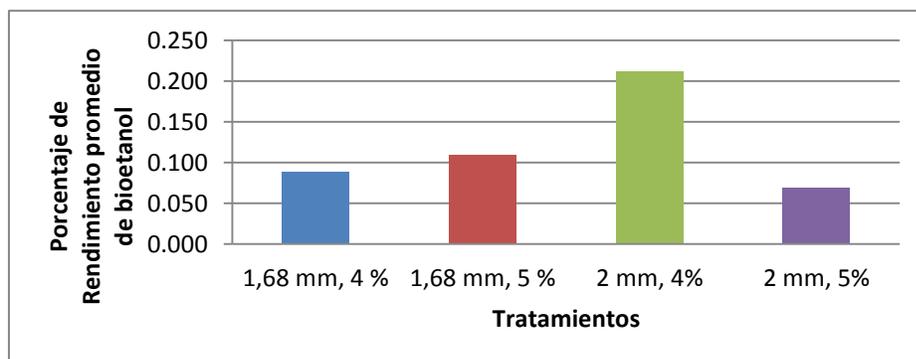
Fuente: elaboración propia, con datos experimentales, según tabla XIX.

Tabla XX. **Comparación del porcentaje de rendimiento de bioetanol de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.)**

Sustrato	Tamaño de partícula (mm)	Porcentaje de ácido sulfúrico	Repetición	Porcentaje de rendimiento	Promedio	$\sigma$	
Naranja	1,68	4	1	0,11	0,089	0,036	
			2	0,047			
			3	0,11			
	2		4	1	0,51	0,21	0,261
				2	0,0050		
				3	0,13		
	1,68	5	1	0,25	0,11	0,121	
			2	0,041			
			3	0,038			
		2	5	1	0,13	0,069	0,050
				2	0,034		
				3	0,047		

Fuente: elaboración propia, Laboratorio Área de Química Escuela de Ingeniería Química.

Figura 14. **Porcentaje de rendimiento promedio de bioetanol de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) en función de los tratamientos**



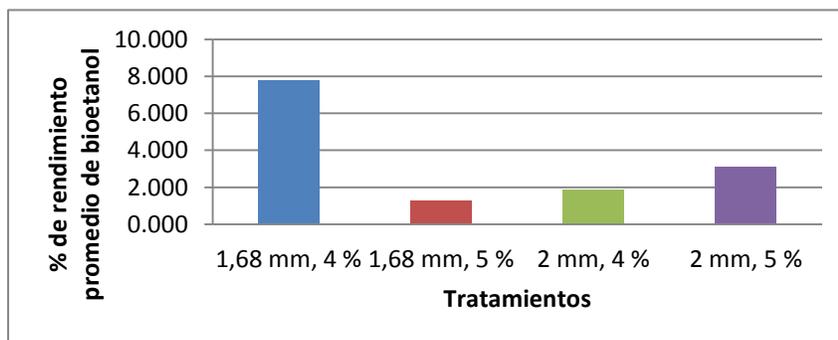
Fuente: elaboración propia, con datos experimentales, según tabla XX.

Tabla XXI. **Comparación del porcentaje de rendimiento de bioetanol de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*)**

Sustrato	Tamaño de partícula (mm)	Porcentaje de ácido sulfúrico	Repetición	Porcentaje de rendimiento	Promedio	$\sigma$				
Plátano	1.68	4	1	4,12	7,78	3.27				
			2	10,45						
			3	8,77						
	2		4	1	2,46		1,85			
				2	1,71					
				3	1,38					
	1.68	5	1	1,25	1,25	0.105				
			2	1,14						
			3	1,35						
			2	5			1	5,61	3,11	2.41
							2	0,79		
		3			2,93					

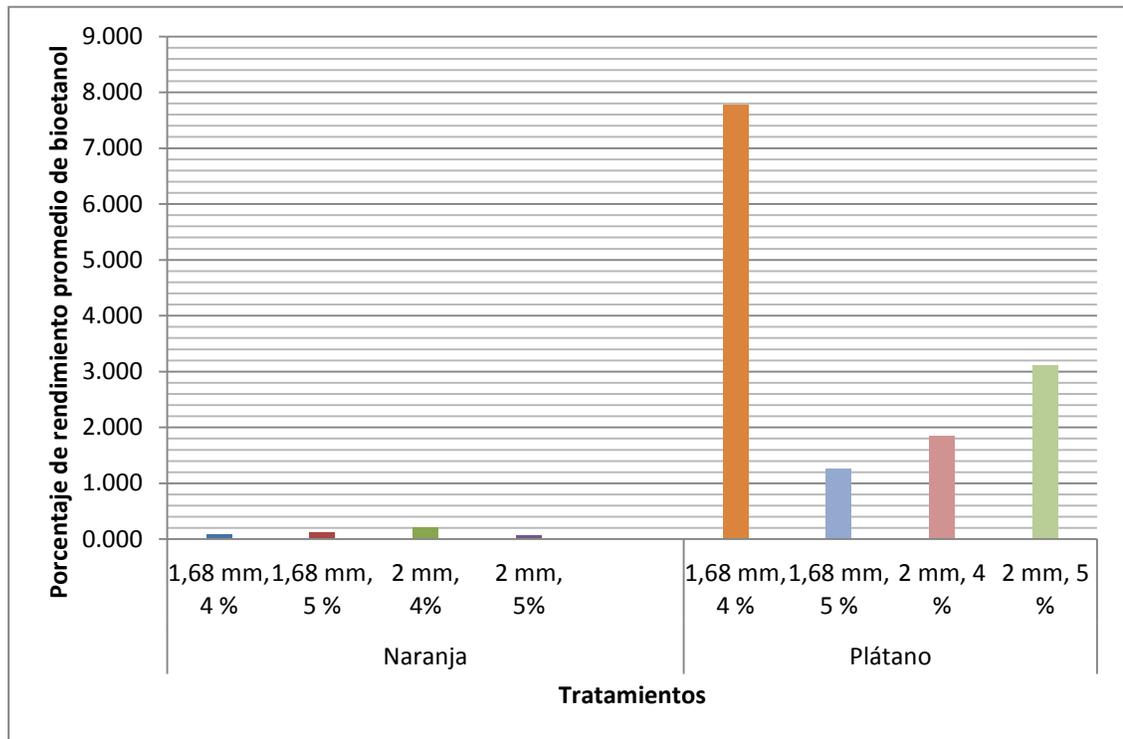
Fuente: elaboración propia, Laboratorio Área de Química Escuela de Ingeniería Química.

Figura 15. **Porcentaje de rendimiento promedio de bioetanol de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) en función de los tratamientos**



Fuente: elaboración propia, con datos experimentales, según tabla XXI.

Figura 16. **Comparación del porcentaje de rendimiento promedio de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) y de plátano (*Musa paradisiaca*) en función de los tratamientos**



Fuente: elaboración propia, con datos experimentales, según tablas XX y XXI.



## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El objetivo de la presente investigación fue comparar la cantidad de bioetanol obtenido a partir de la hidrólisis ácida de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) y la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), al variar el tamaño de partícula (2 y 1,68 mm) y el porcentaje de ácido sulfúrico (4 y 5 %) durante la fermentación, utilizando *Saccharomyces cerevisiae* a nivel laboratorio.

Durante la experimentación de la investigación se realizaron diferentes pretratamientos a la materia prima; el primero consistió en la disminución del tamaño de partícula para reducir la cristalinidad de la celulosa, mediante el aumento de la superficie específica y la densidad aparente; posteriormente se realizó la granulometría de los sustratos, separándolos en tamaños de 1,68 y 2 mm. En el segundo se realizó la hidrólisis alcalina a los diferentes tamaños de partícula, lo cual aumentó su área superficial y facilitó el posterior tratamiento de hidrólisis ácida al 4 y 5 % para la obtención de azúcares reductores.

Al realizar la prueba de Fehling para la determinación de azúcares reductores se observó que la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), obtuvo una mayor cantidad de azúcares, ya que formó una mayor cantidad de precipitado de óxido de cobre (I) en comparación con la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.).

A partir de la tabla III se puede explicar el porqué se obtuvo cualitativamente una mayor cantidad de azúcares reductores con la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), esto se debe a que presenta en su composición química azúcares reductores del 13 % y de azúcares totales 16 %, mientras

que en la tabla II se puede observar que la composición fisicoquímica de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) presenta un total de azúcares neutrales de 3,8 % menor a la del otro sustrato, formando una menor cantidad del precipitado de óxido de cobre (I).

Para generar mejores rendimientos en la obtención de bioetanol, se realizó la eliminación de compuestos inhibidores de la fermentación, los cuales se formaron en la hidrólisis ácida generando derivados del furano, ácidos alifáticos de bajo peso molecular y derivados fenólicos, los cuales fueron eliminados al realizar un tratamiento químico que consistió en elevar el pH del hidrolizado a 10 dejándolo en reposo por 20 minutos, luego se disminuyó el pH en el rango de 5 a 5,8, formando al finalizar un precipitado, el cual se filtró antes de realizar la fermentación.

Al realizar la eliminación de los compuestos inhibidores de la fermentación, se observó la importancia de la realización de este tratamiento ya que la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), presentó una mayor formación de compuestos en comparación con la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.).

En la tabla XX se puede observar que al realizar la variación del tamaño de partícula y porcentaje de ácido sulfúrico, se obtiene un mayor porcentaje de rendimiento al utilizar el sustrato con tamaño de partícula de 2 mm y ácido sulfúrico al 4 %, siendo de 0,51 % el mayor realizado en la primera repetición. Según figura 14, al realizar la comparación del porcentaje de rendimiento promedio para la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) se determinó que a un tamaño de partícula de 2 mm y un porcentaje de 4 % se obtiene un mayor rendimiento de bioetanol el cual fue del 0,21 %, mientras que los demás porcentajes fueron menores del 0,12 %.

Se determinó que para la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) con un tamaño de partícula de 1,68 mm y 4 % de ácido sulfúrico se obtiene un porcentaje de rendimiento mayor, según tabla XXI se observa un resultado de 10,45 % realizado en la segunda repetición, además se observó que, al realizar los triplicados, se obtuvieron los mayores porcentajes de rendimiento con estas variables, los cuales fueron 4,12 % para la primera repetición y de 8,77 % para la tercera repetición. Según la figura 15 se determinó que al utilizar estas variables se obtiene un porcentaje de rendimiento promedio del 7,78 %, mientras que los demás porcentajes de rendimiento fueron menores al 3,20 %.

A partir de los resultados obtenidos de los porcentajes de rendimiento promedio para la obtención de bioetanol, se determinó la desviación estándar para establecer el conjunto de repeticiones que presenta una mayor dispersión, según la tabla XX de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.), se observa que al utilizar un tamaño de partícula de 2 mm y un porcentaje de ácido sulfúrico del 4 %, presenta una mayor dispersión en los datos, mientras que en la tabla XXI de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), se observa que al realizar la experimentación con un tamaño de partícula de 1,68 mm y un porcentaje de ácido sulfúrico del 4 % presenta una mayor dispersión.

A partir de los resultados obtenidos se determinó que los sustratos poseen diferentes rendimientos, siendo el mayor para la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), ya que los porcentajes eran mayores del 1 % mientras que, para la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) fueron menores del 0,3 %, por lo que, según la figura 16, comparación del porcentaje de rendimiento de los sustratos en función de los tratamientos, se determinó que la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) con un tamaño de partícula de 1,68 mm y 4 % en ácido sulfúrico presenta el mayor rendimiento, por lo tanto, al utilizar estas variables se pueden obtener los mejores resultados en la obtención de bioetanol.



## CONCLUSIONES

1. El porcentaje de rendimiento para la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.), con un tamaño de partícula de 2 y 1,68 mm, al utilizar un porcentaje de ácido sulfúrico del 4 % fue del 0,21 y 0,089 %, respectivamente.
2. El porcentaje de rendimiento para la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.), con un tamaño de partícula de 2 y 1,68 mm, al utilizar un porcentaje de ácido sulfúrico del 5 % fue de 0,069 y 0,11 %, respectivamente.
3. El porcentaje de rendimiento para la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), con un tamaño de partícula de 2 y 1,68 mm, al utilizar un porcentaje de ácido sulfúrico del 4 % fue del 1,85 y 7,78 %, respectivamente.
4. El porcentaje de rendimiento para la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), con un tamaño de partícula de 2 y 1,68 mm, al utilizar un porcentaje de ácido sulfúrico del 5 % fue de 3,11 y 1,25 %, respectivamente.
5. Para la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) y cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) se determinó que al utilizar ácido sulfúrico al 4 % se obtienen los mayores porcentajes de rendimiento.
6. Se determinaron azúcares reductores a partir de la prueba de Fehling, debido a que se formó el precipitado de óxido de cobre (I), dando como resultado una prueba positiva.

7. Se obtuvo un mayor porcentaje de rendimiento con la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) con un tamaño de partícula de 1,68 mm y 4 % en ácido sulfúrico, siendo este del 7,78 %.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar un mayor número de repeticiones para cada una de las variables independientes para el estudio.
2. Utilizar un autoclave para la realización de la hidrólisis ácida y comparar los resultados obtenidos de la realización con la lixiviación estática con reflujo.
3. Utilizar otros tipos de pretratamientos tales como fibra de explosión de amoníaco y autohidrólisis, para favorecer la obtención de azúcares reductores durante la hidrólisis ácida.
4. Determinar la cantidad de azúcares reductores obtenidos en los jarabes glucosados.



## BIBLIOGRAFÍA

1. BARQUERO QUIRÓS, Miriam. *Principios y aplicaciones de la cromatografía de gases*. San José, Costa Rica, 2006 .61 p.
2. Biodisol. *Los biocombustibles*. [en línea]. <<http://www.biodisol.com/que-son-los-biocombustibles-historia-produccion-noticias-y-articulos-biodiesel-energias-renovables/>>. [Consulta: 2 de julio de 2015].
3. CÁCERES GARCÍA, Juan Carlos; REYNA LÓPEZ Andrés. *Modelamiento microbiológico para la levadura Saccharomyces cerevisiae*. Trabajo de graduación de Ingeniería de Producción Agroindustrial. Universidad de la Sabana Bogotá. Facultad de Ingeniería. 2002. 56 p.
4. CERÓN SALAZAR, Ivonne; CARDONA ALZATE, Carlos. *Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de cáscara de naranja*. Facultad de Ingeniería y Ciencia. Universidad EAFIT Colombia, 2011. 86 p.
5. ChemSpider. *Furfural*. [en línea]. <<http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.13863629.html>>. [Consulta: 30 de agosto de 2015].

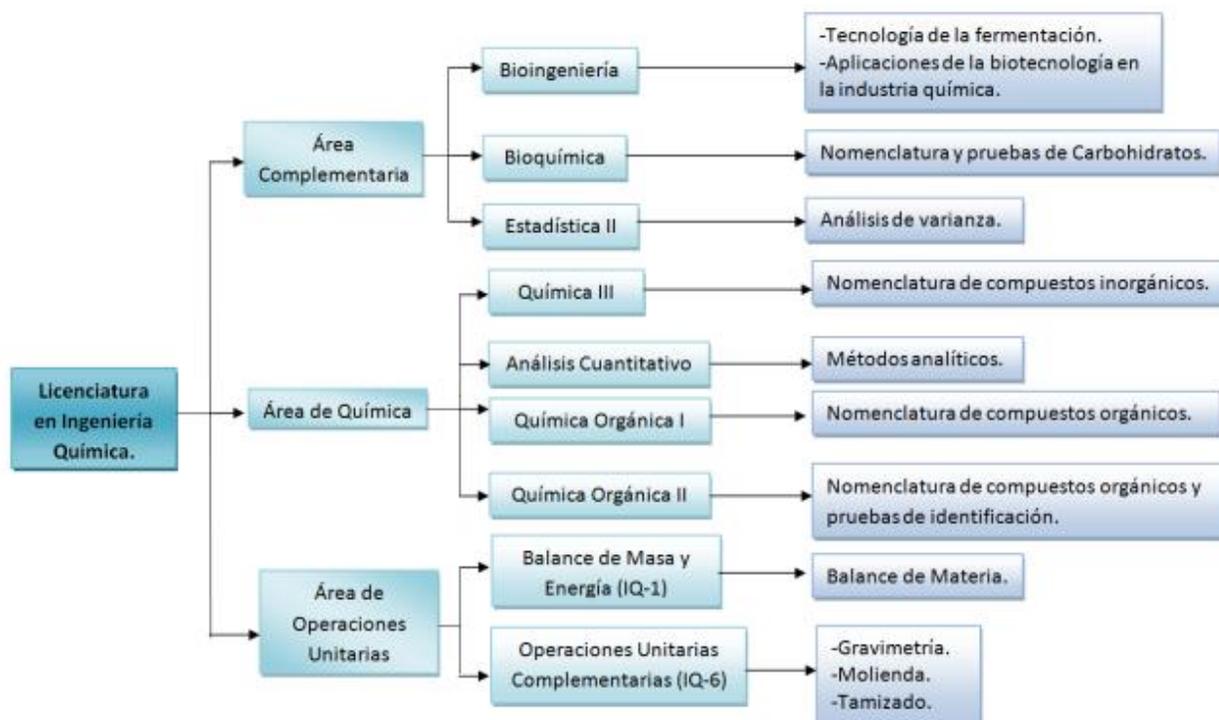
6. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). La levadura de la cerveza y del laboratorio, *la levadura de la cerveza y [...] del laboratorio*. [en línea]. <<http://seresmodelicos.csic.es/llevat.html>> [Consulta: 12 de julio de 2015].
7. Distribuidora Aliados. *Ácido fórmico*. [en línea]. <<http://www.distribuidoraaliados.com/portfolio-items/acido-formico/?portfolioID=4310>>. [Consulta: 30 de agosto de 2015].
8. Distribuidora Aliados. *Ácido acético*. [en línea]. <<http://www.distribuidoraaliados.com/portfolio-items/acido-acetico-2/#prettyPhoto>>. [Consulta: 30 de agosto de 2015].
9. FCiencias. *Hidroximetilfurfural – HMF*. [en línea]. <<http://www.fciencias.com/2014/09/25/hidroximetilfurfural-hmf-molecula-da-semana/>>. [Consulta: 30 de agosto de 2015].
10. GARCÍA, Vera. *Introducción a la microbiología*. 2a ed. San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia. 229 p.
11. GUARNIZO F., Anderson; et. al. *Experimentos de química orgánica con enfoque en ciencias de la vida*. Arnednia, Quindío, Colombia: Elizcom. 199 p.
12. HERRERA, Carlos; BOLAÑOS, Nuria; LUTZ, Giselle. *Química de alimentos, manual de laboratorio*. San José, Costa Rica: Editorial de la Universidad de Costa Rica Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, 2003. 143 p.

13. HIDALGO TOGORES, José. *Tratado de enología*. 2a ed. España: Mundi Prensa, 2010. 1813 p.
14. MCGILVERY, Robert. *Conceptos bioquímicos*. España: Reverté. 1997. 589 p.
15. MEDEL PACHECO, Francisco. *Curso internacional la industria de la energía azúcar y alcohol*. [en línea]. <[http://www.nest.unifei.edu.br/portugues/pags/novidades/curso\\_cytet/files/pdf/Tema%205%20-%20Producao%20e%20Uso%20do%20Etanol%20como%20Combustivel/PossibilidadesPerspectivasIndustriaCana2.pdf](http://www.nest.unifei.edu.br/portugues/pags/novidades/curso_cytet/files/pdf/Tema%205%20-%20Producao%20e%20Uso%20do%20Etanol%20como%20Combustivel/PossibilidadesPerspectivasIndustriaCana2.pdf)>. [Consulta: 12 de julio de 2015].
16. OLIVA DOMÍNGUEZ, José Miguel. *Efecto de los productos de degradación originados en la explosión por vapor de biomasa de Chopo sobre Kluyveromyces marxianus*. Facultad de Ciencias Biológicas, Departamento de Microbiología III. Universidad Complutense de Madrid. 160 p.
17. OXFORD. *Diccionarios Oxford- Complutense biología*. Madrid: Complutense, S. A. 2004. 486 p.
18. PALACÍN BELTRÁN, José Roberto. *Efectos de recubrimientos de almidón de yuca, ácido ascórbico, N-acetil-cisteína en la calidad del plátano (Musa paradisiaca)*. Trabajo de graduación en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agrarias. 55 p.

19. RODRÍGUEZ MARTÍNEZ, Sergio. *¿Qué es la fermentación?*. [en línea]. <[http://bebidas.about.com/od/Cocteleria\\_101/a/que-es-la-fermentacion.htm](http://bebidas.about.com/od/Cocteleria_101/a/que-es-la-fermentacion.htm)> [Consulta: 22 de julio de 2015].
20. SEESE, William; DAUB, William. *Química*. 7a ed. México: Pearson Educación. 2005. 655 p.
21. Servicios de agua y drenaje de Monterrey I. P. D. *Cuatro generaciones de biocombustible en búsqueda de la sustentabilidad*. [en línea], <<http://www.sadm.gob.mx/PortalSadm/jsp/prensa.jsp?id=313>>. [Consulta: 2 de julio de 2015].
22. TORTORA; FUNKE; CASE. *Introducción a la microbiología*. 9a ed. Buenos Aires: Médica Panamericana. 2007, 963 p.
23. WACKERLY; MEDENHALL; SCHEAFFER. *Estadística matemática con aplicaciones*. 7a ed. México: Cengage Learning. 2008, 250 p.
24. WALPOLE; MYERS. *Probabilidad y estadística*. 4a ed. México. 1997. 797 p.
25. YE, Sun; JIAYANG, Cheng. *Hidrolisis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review*. Departamento de Ingeniería Biológica y Agrícola. Universidad Estatal de Carolina del Norte. 2001. 11 p.

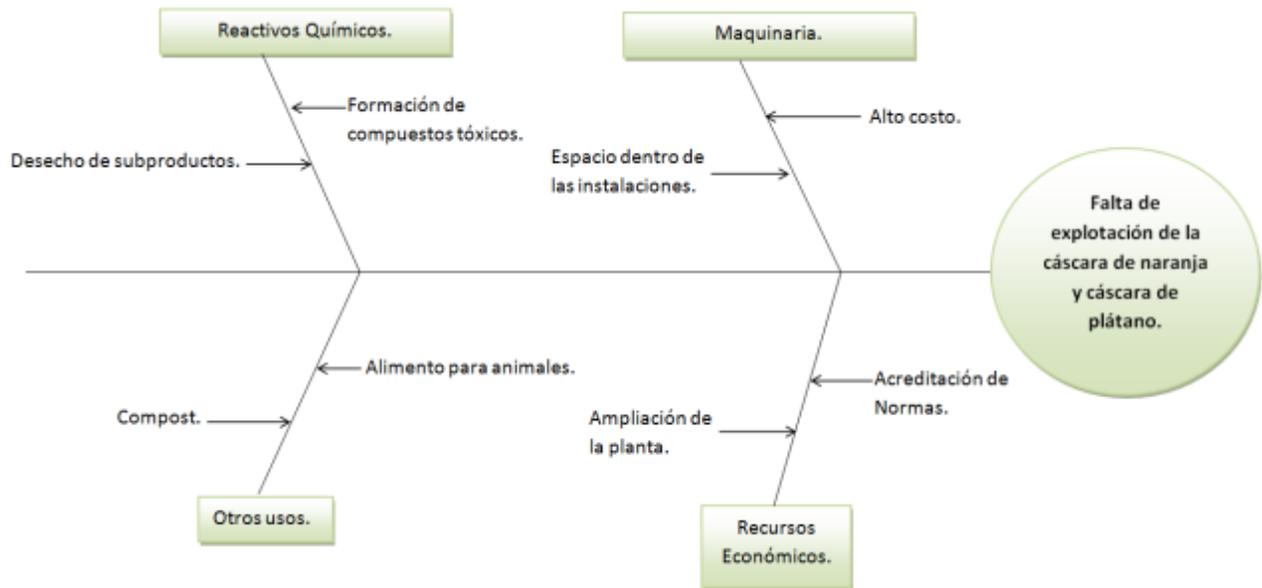
# APÉNDICES

## Apéndice 1. Requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. Diagrama Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 3. Pretratamiento físico, disminución del tamaño de partícula para la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.)



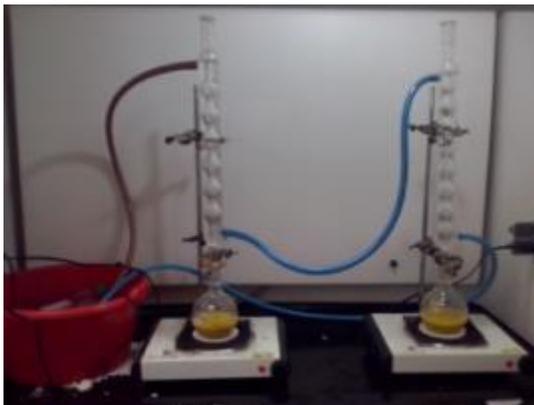
Fuente: Laboratorio Área de Química Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, USAC.

**Apéndice 4. Pretratamiento químico, hidrólisis alcalina para la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.)**



Fuente: Laboratorio Área de Química Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, USAC.

**Apéndice 5. Hidrólisis ácida de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.)**



Continuación del apéndice 5.

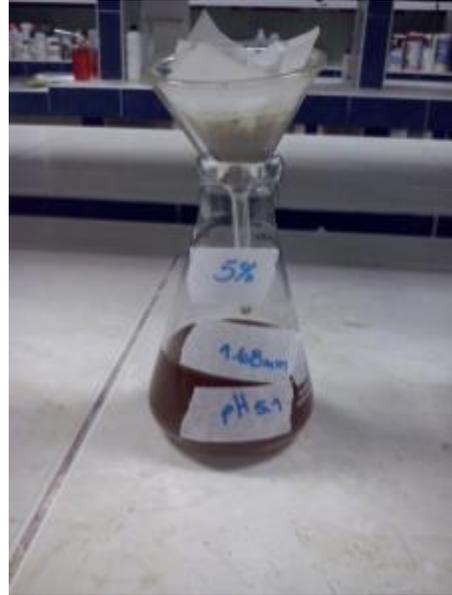


Fuente: Laboratorio Área de Química Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, USAC.

### Apéndice 6. Eliminación de compuestos inhibidores de la fermentación para la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.)

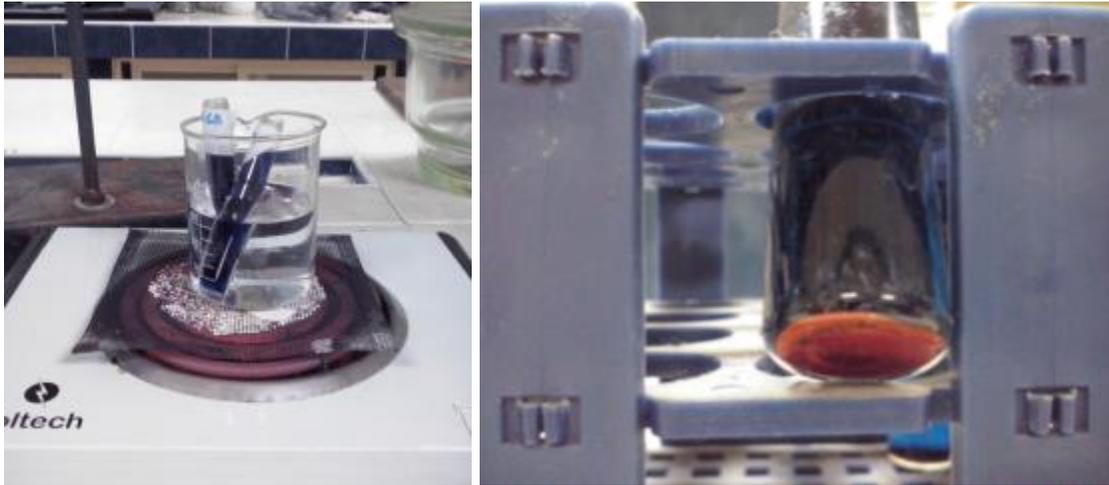


Continuación del apéndice 6.



Fuente: Laboratorio Área de Química Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, USAC.

**Apéndice 7. Prueba de Fehling para la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.)**



Fuente: Laboratorio Área de Química Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, USAC.

**Apéndice 8. Fermentación para la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.)**



Fuente: Laboratorio Área de Química Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, USAC.

**Apéndice 9. Destilación para la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.)**



Fuente: Laboratorio Área de Química Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, USAC.

**Apéndice 10. Pretratamiento físico de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*)**



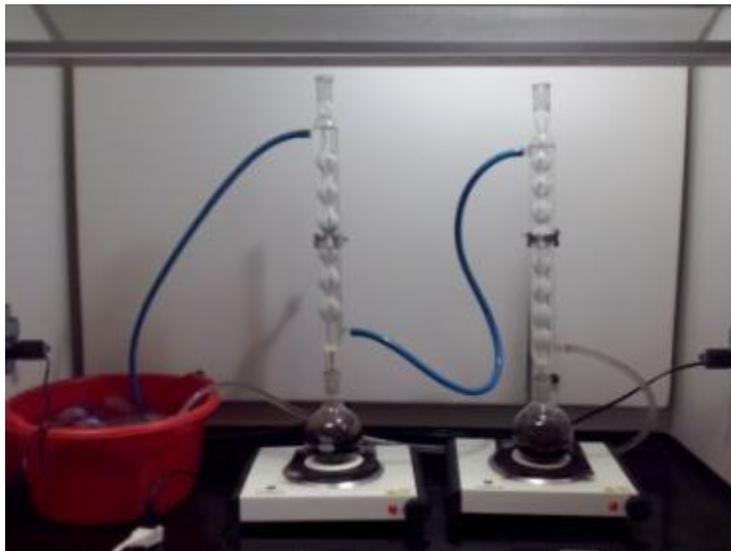
Fuente: Laboratorio Área de Química Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, USAC.

**Apéndice 11. Pretratamiento químico, hidrólisis alcalina para la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*)**



Fuente: Laboratorio Área de Química Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, USAC.

**Apéndice 12. Hidrólisis ácida de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*)**



Fuente: Laboratorio Área de Química Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, USAC.

**Apéndice 13. Eliminación de compuestos inhibidores de la fermentación para la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*)**



Fuente: Laboratorio Área de Química Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, USAC.

**Apéndice 14. Prueba de Fehling para la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*)**



Fuente: Laboratorio Área de Química Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, USAC.

**Apéndice 15. Fermentación para la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*)**



Fuente: Laboratorio Área de Química Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, USAC.

**Apéndice 16. Destilación para la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*)**



Fuente: Laboratorio Área de Química Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, USAC.

**Apéndice 17. Muestras del destilado de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) y cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*)**



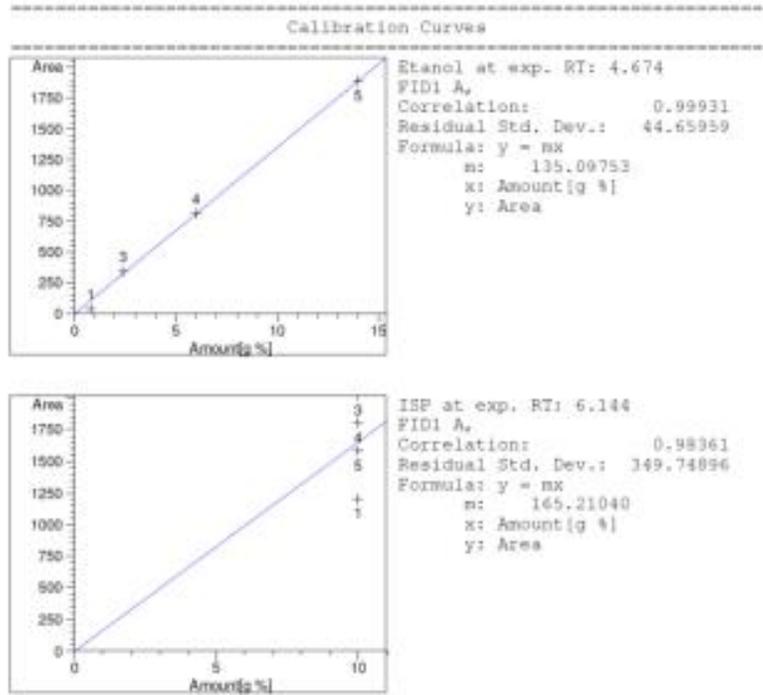
Fuente: Laboratorio Área de Química Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, USAC.



# ANEXOS

## Anexo 1. Curvas de calibración y base de datos para el etanol e isopropanol

Method C:\RPCHEM\1\METHODS\TR325J.M

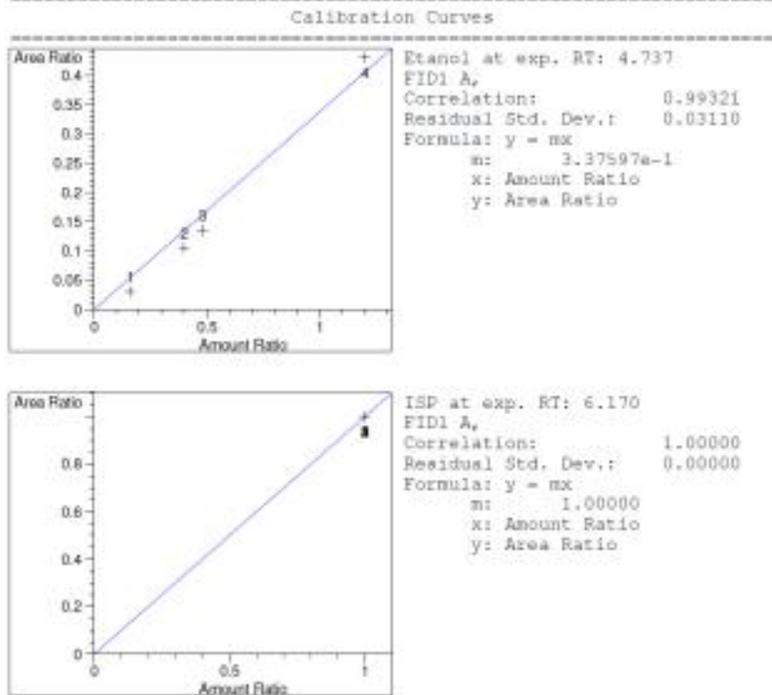


Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Lvl Sig	Amount [g %]	Area	Amt/Area	Ref	Grp Name
4.674	1	8.00000e-1	32.51942	2.46007e-2	1	Etanol
		2.40000	340.72458	7.04381e-3		
		6.00000	811.78796	7.39109e-3		
		14.00000	1892.34058	7.39825e-3		
6.144	1	10.00000	1202.39514	8.31673e-3	I1	ISP
		10.00000	2022.24817	4.94499e-3		
		10.00000	1802.70825	5.54721e-3		
		10.00000	1581.06458	6.32485e-3		

Continuación del anexo 1.

Method: C:\HPCHEM\1\METHODS\ETANOL2.M



Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Lvl Sig	Amount [g %]	Area	Amt/Area	Ref	Grp	Name
4.737	1	8.00000e-1	51.99241	1.53869e-2	1		Etanol
	2	2.00000	88.02534	2.27207e-2			
	3	2.40000	151.97690	1.57919e-2			
	4	6.00000	401.38385	1.49483e-2			
6.170	1	5.00000	1716.35852	2.91314e-3	I1		ISP
	2	5.00000	846.03723	5.90991e-3			
	3	5.00000	1132.02197	4.41688e-3			
	4	5.00000	934.03918	5.35309e-3			

-----  
Peak Sum Table  
-----

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG.

**Anexo 2. Cromatografía de gases FID para la muestra 1-1, cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) con tamaño de partícula de 1,68 mm y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 4 %**

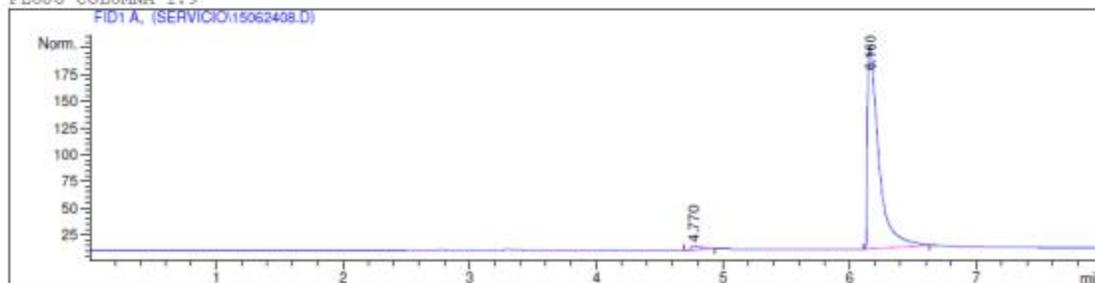
Data File C:\HPCHEM\1\DATA\SERVICIO\15062408.D

Sample Name: Muestra 1-1

Muestra con ISP como IS

```

=====
Injection Date : 6/24/2015 1:06:34 PM
Sample Name    : Muestra 1-1
Acq. Operator  : AdeM
Acq. Instrument : Instrument 1
Acq. Method    : C:\HPCHEM\1\METHODS\ETANOL2.M
Last changed   : 6/24/2015 12:45:13 PM by AdeM
                (modified after loading)
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\TESETA.M
Last changed   : 6/25/2015 10:11:45 AM by AdeM
                (modified after loading)
ENSAYO ETANOL EMPLEANDO AGUA DISOLVER Y ESTANDAR INTERNO ISOPROPANOL,
DETECTOR FID
COLUMNA HP-PLOT/Q 30m 0.32mm ID 20um film
FLUJO COLUMNA 1.9
  
```



External Standard Report

```

=====
Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : 6/25/2015 10:11:45 AM
Multiplier    : 1.0000
Dilution      : 1.0000
Sample Amount  : 1.00000 [g %] (not used in calc.)
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
  
```

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [g %]	Grp	Name
4.770	PB	19.43109	1.55148e-2	3.01469e-1		Etanol
6.160	PB	I 1159.50452	4.32109e-3	5.01033		ISP

Totals : 5.31180

Results obtained with enhanced integrator!

\*\*\* End of Report \*\*\*

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG.

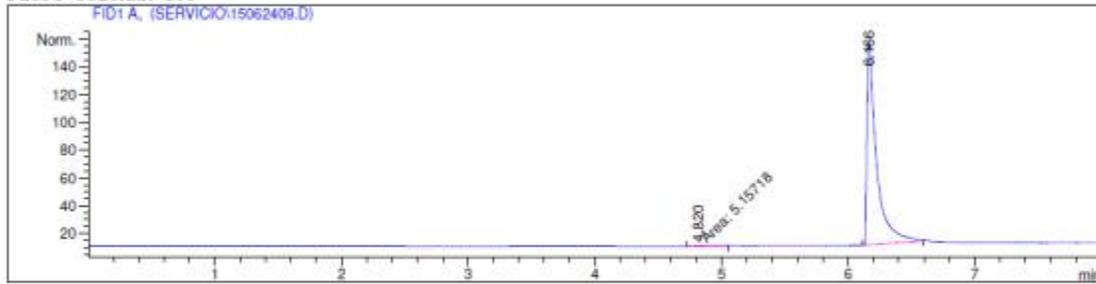
**Anexo 3. Cromatografía de gases FID para la muestra 1-2, cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) con tamaño de partícula de 1,68 mm y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 4 %**

Data File C:\HPCHEM\1\DATA\SERVICIO\15062409.D Sample Name: Muestra 1-2

Muestra con ISP como IS

```

=====
Injection Date   : 6/24/2015 1:16:54 PM
Sample Name     : Muestra 1-2
Location       : Vial 1
Acq. Operator  : AdeM
Acq. Instrument : Instrument 1
Acq. Method    : C:\HPCHEM\1\METHODS\ETANOL2.M
Last changed   : 6/24/2015 12:45:13 PM by AdeM
                (modified after loading)
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\TESETA.M
Last changed   : 6/25/2015 10:43:51 AM by AdeM
                (modified after loading)
ENSAYO ETANOL EMPLEANDO AGUA DISOLVER Y ESTANDAR INTERNO ISOPROPANOL,
DETECTOR FID
COLUMNA HP-PLOT/Q 30m 0.32mm ID 20um film
FLUJO COLUMNA 1.9
  
```



External Standard Report

```

=====
Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : 6/25/2015 10:41:40 AM
Multiplier    : 1.0000
Dilution      : 1.0000
Sample Amount  : 1.00000 [g %] (not used in calc.)
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
  
```

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [g %]	Grp	Name
4.820	MM	5.15718	1.55148e-2	8.00127e-2		Etanol
6.166	PB I	763.87006	4.32109e-3	3.30075		ISP

Totals : 3.38077

Results obtained with enhanced integrator!

\*\*\* End of Report \*\*\*

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG.

**Anexo 4. Cromatografía de gases FID para la muestra 1-3, cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) con tamaño de partícula de 1,68 mm y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 4 %**

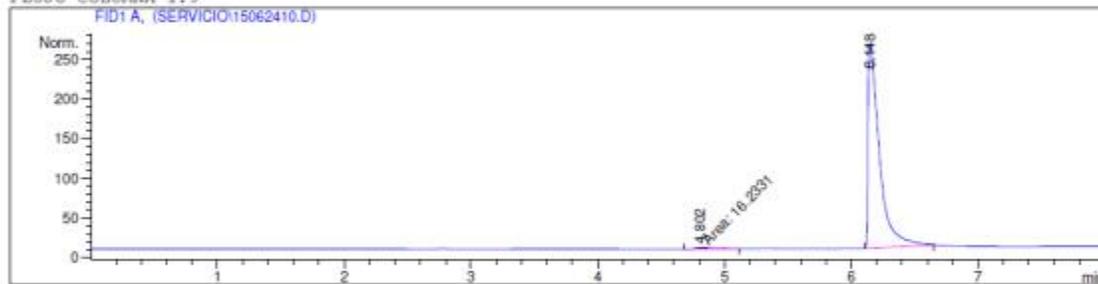
Data File C:\HPCHEM\1\DATA\SERVICIO\15062410.D Sample Name: Muestra 1-3

Muestra con ISP como IS

```

=====
Injection Date : 6/24/2015 1:26:20 PM
Sample Name : Muestra 1-3 Location : Vial 1
Acq. Operator : AdeM Inj : 1
Acq. Instrument : Instrument 1 Inj Volume : Manually
Acq. Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\ETANOL2.M
Last changed : 6/24/2015 12:45:13 PM by AdeM
                (modified after loading)
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\TESETA.M
Last changed : 6/25/2015 10:43:51 AM by AdeM
                (modified after loading)
    
```

ENSAYO ETANOL EMPLEANDO AGUA DISOLVER Y ESTANDAR INTERNO ISOPROPANOL,  
 DETECTOR FID  
 COLUMNA HP-PLOT/Q 30m 0.32mm ID 20um film  
 FLUJO COLUMNA 1.9



External Standard Report

```

=====
Sorted By : Signal
Calib. Data Modified : 6/25/2015 10:41:40 AM
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000
Sample Amount : 1.00000 [g %] (not used in calc.)
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
    
```

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [g %]	Grp	Name
4.802	MM	16.23308	1.55148e-2	2.51853e-1		Etanol
6.148	PB	1629.18518	4.32109e-3	7.03986		ISP

Totals : 7.29172

Results obtained with enhanced integrator!

\*\*\* End of Report \*\*\*

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG.

**Anexo 5. Cromatografía de gases FID para la muestra 2-1, cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) con tamaño de partícula de 1,68 mm y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 5 %**

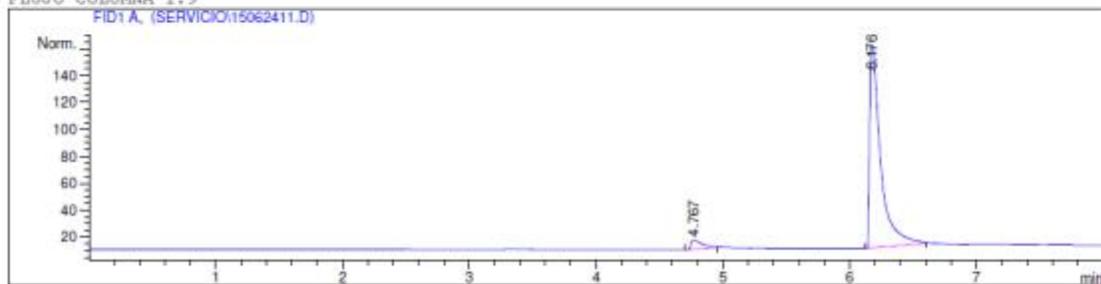
Data File C:\HPCHEM\1\DATA\SERVICIO\15062411.D Sample Name: Muestra 2-1

Muestra con ISP como IS

```

=====
Injection Date   : 6/24/2015 1:35:57 PM
Sample Name     : Muestra 2-1                Location  : Vial 1
Acq. Operator   : AdeM                      Inj       : 1
Acq. Instrument : Instrument 1              Inj Volume: Manually
Acq. Method     : C:\HPCHEM\1\METHODS\ETANOL2.M
Last changed    : 6/24/2015 12:45:13 PM by AdeM
                  (modified after loading)
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\TESEFA.M
Last changed    : 6/25/2015 10:43:51 AM by AdeM
                  (modified after loading)
  
```

ENSAYO ETANOL EMPLEANDO AGUA DISOLVER Y ESTANDAR INTERNO ISOPROPANOL,  
 DETECTOR FID  
 COLUMNA HP-PLOT/Q 30m 0.32mm ID 20um film  
 FLUJO COLUMNA 1.9



External Standard Report

```

=====
Sorted By       : Signal
Calib. Data Modified : 6/25/2015 10:41:40 AM
Multiplier     : 1.0000
Dilution       : 1.0000
Sample Amount   : 1.00000 [g %] (not used in calc.)
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
  
```

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [g %]	Grp	Name
4.767	PB	40.17725	1.55148e-2	6.23342e-1		Etanol
6.176	PB I	909.49695	4.32109e-3	3.93002		ISP

Totals : 4.55336

Results obtained with enhanced integrator!

\*\*\* End of Report \*\*\*

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG.

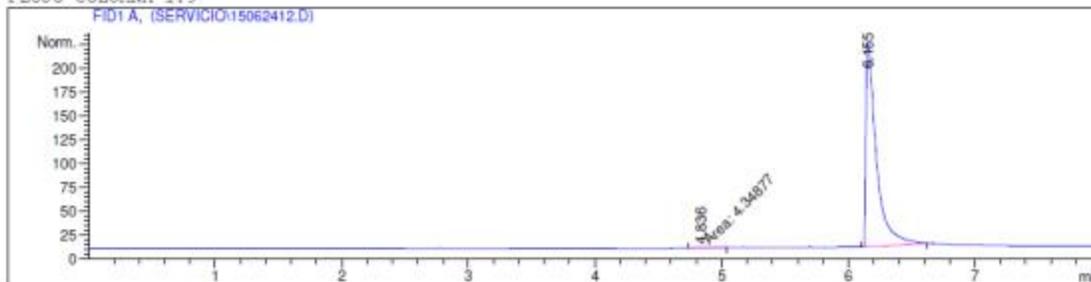
**Anexo 6. Cromatografía de gases FID para la muestra 2-2, cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) con tamaño de partícula de 1,68 mm y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 5 %**

Data File C:\HPCHEM\1\DATA\SERVICIO\15062412.D Sample Name: Muestra 2-2

Muestra con ISP como IS

```

=====
Injection Date : 6/24/2015 1:45:59 PM
Sample Name : Muestra 2-2 Location : Vial 1
Acq. Operator : AdeM Inj : 1
Acq. Instrument : Instrument 1 Inj Volume : Manually
Acq. Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\ETANOL2.M
Last changed : 6/24/2015 12:45:13 PM by AdeM
(modified after loading)
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\TESETA.M
Last changed : 6/25/2015 10:43:51 AM by AdeM
(modified after loading)
ENSAYO ETANOL EMPLEANDO AGUA DISOLVER Y ESTANDAR INTERNO ISOPROPANOL,
DETECTOR FID
COLUMNA HP-PLOT/Q 30m 0.32mm ID 20um film
FLUJO COLUMNA 1.9
  
```



External Standard Report

```

=====
Sorted By : Signal
Calib. Data Modified : 6/25/2015 10:41:40 AM
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000
Sample Amount : 1.00000 [g %] (not used in calc.)
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
  
```

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [g %]	Grp	Name
4.836	MM	4.34877	1.55148e-2	6.74703e-2		Etanol
6.155	PB	I 1229.11450	4.32109e-3	5.31112		ISP

Totals : 5.37859

Results obtained with enhanced integrator!

\*\*\* End of Report \*\*\*

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG.

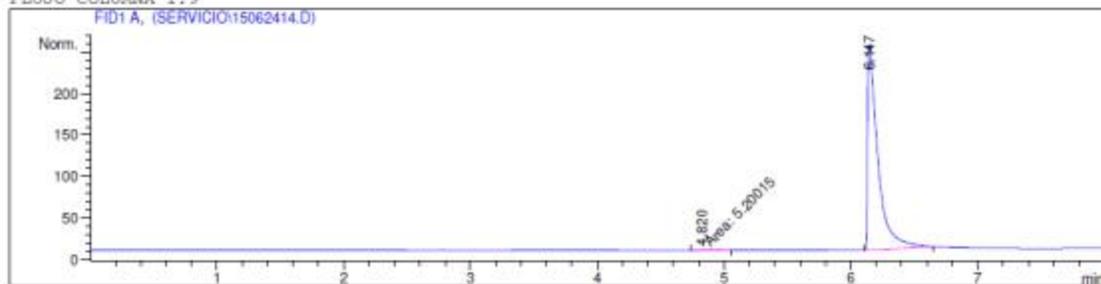
**Anexo 7. Cromatografía de gases FID para la muestra 2-3, cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) con tamaño de partícula de 1,68 mm y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 5 %**

Data File C:\HPCHEM\1\DATA\SERVICIO\15062414.D Sample Name: Muestra 2-3

Muestra con ISP como IS

```

=====
Injection Date : 6/24/2015 2:09:10 PM
Sample Name : Muestra 2-3 Location : Vial 1
Acq. Operator : AdeM Inj : 1
Acq. Instrument : Instrument 1 Inj Volume : Manually
Acq. Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\ETANOL2.M
Last changed : 6/24/2015 12:45:13 PM by AdeM
              (modified after loading)
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\IESETA.M
Last changed : 6/25/2015 10:43:51 AM by AdeM
              (modified after loading)
ENSAYO ETANOL EMPLEANDO AGUA DISOLVER Y ESTANDAR INTERNO ISOPROPANOL,
DETECTOR FID
COLUMNA HP-PLOT/Q 30m 0.32mm ID 20um film
FLUJO COLUMNA 1.9
  
```



External Standard Report

```

=====
Sorted By : Signal
Calib. Data Modified : 6/25/2015 10:41:40 AM
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000
Sample Amount : 1.00000 [g %] (not used in calc.)
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
  
```

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [g %]	Grp	Name
4.820	MM	5.20015	1.55148e-2	8.06793e-2		Etanol
6.147	PB	I 1416.31653	4.32109e-3	6.12004		ISP

Totals : 6.20072

Results obtained with enhanced integrator!

\*\*\* End of Report \*\*\*

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG.

**Anexo 8. Cromatografía de gases FID para la muestra 3-1, cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) con tamaño de partícula de 2 mm y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 4 %**

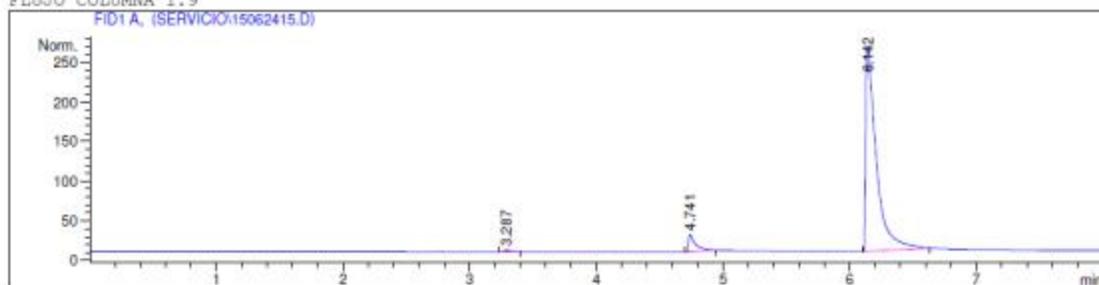
Data File C:\HPCHEM\1\DATA\SERVICIO\15062415.D Sample Name: Muestra 3-1

Muestra con ISP como IS

```

=====
Injection Date : 6/24/2015 2:19:03 PM
Sample Name : Muestra 3-1 Location : Vial 1
Acq. Operator : AdeM Inj : 1
Acq. Instrument : Instrument 1 Inj Volume : Manually
Acq. Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\ETANOL2.M
Last changed : 6/24/2015 12:45:13 PM by AdeM
(modified after loading)
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\TESETA.M
Last changed : 6/25/2015 10:43:51 AM by AdeM
(modified after loading)
ENSAYO ETANOL EMPLEANDO AGUA DISOLVER Y ESTANDAR INTERNO ISOPROPANOL,
DETECTOR FID
COLUMNA HP-PLOT/Q 30m 0.32mm ID 20um film
FLUJO COLUMNA 1.9
=====

```



External Standard Report

```

=====
Sorted By : Signal
Calib. Data Modified : 6/25/2015 10:41:40 AM
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000
Sample Amount : 1.00000 [g %] (not used in calc.)
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
=====

```

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [g %]	Grp	Name
4.741	PB	84.27448	1.55148e-2	1.30750		Etanol
6.142	PB	1516.53430	4.32109e-3	6.55309	ISP	ISP

Totals : 7.86059

Results obtained with enhanced integrator!

\*\*\* End of Report \*\*\*

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG.

**Anexo 9. Cromatografía de gases FID para la muestra 3-2, cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) con tamaño de partícula de 2 mm y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 4 %**

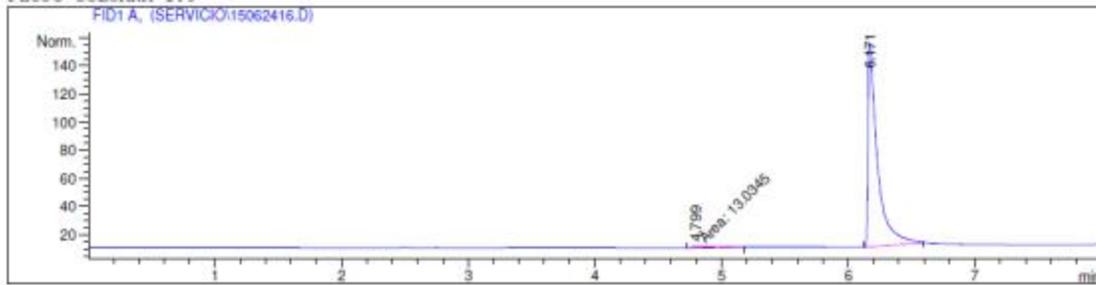
Data File C:\HPCHEM\1\DATA\SERVICIO\15062416.D

Sample Name: Muestra 3-2

Muestra con ISP como IS

```

=====
Injection Date   : 6/24/2015 2:28:29 PM
Sample Name     : Muestra 3-2
Acq. Operator  : AdeM
Acq. Instrument : Instrument 1
Acq. Method    : C:\HPCHEM\1\METHODS\ETANOL2.M
Last changed   : 6/24/2015 12:45:13 PM by AdeM
                (modified after loading)
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\TESETA.M
Last changed   : 6/25/2015 10:43:51 AM by AdeM
                (modified after loading)
ENSAYO ETANOL EMPLEANDO AGUA DISOLVER Y ESTANDAR INTERNO ISOPROPANOL,
DETECTOR FID
COLUMNA HP-PLOT/Q 30m 0.32mm ID 20um film
FLUJO COLUMNA 1.9
=====
    
```



External Standard Report

```

=====
Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : 6/25/2015 10:41:40 AM
Multiplier    : 1.0000
Dilution      : 1.0000
Sample Amount  : 1.00000 [g %] (not used in calc.)
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
    
```

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [g %]	Grp	Name
4.799	MM	13.03453	1.55148e-2	2.02228e-1		Etanol
6.171	PB I	758.96393	4.32109e-3	3.27955		ISP

Totals : 3.48178

Results obtained with enhanced integrator!

\*\*\* End of Report \*\*\*

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG.

**Anexo 10. Cromatografía de gases FID para la muestra 3-3, cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) con tamaño de partícula de 2 mm y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 4 %**

Data File C:\HPCHEM\1\DATA\SERVICIO\15062509.D Sample Name: Mu 3-3

Muestra con ISP como IS

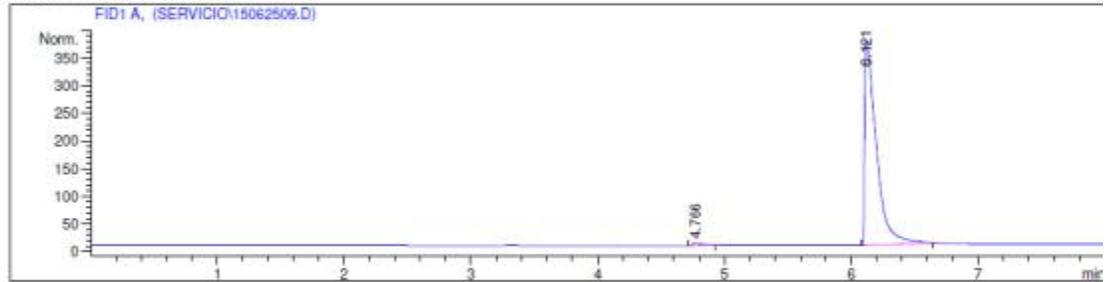
```

=====
Injection Date : 6/25/2015 12:11:30 PM
Sample Name : Mu 3-3
Acq. Operator : AdeM
Acq. Instrument : Instrument 1
Acq. Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\ETANOL2.M
Last changed : 6/24/2015 2:47:37 PM by AdeM
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\TESETA.M
Last changed : 6/25/2015 12:09:51 PM by AdeM
                (modified after loading)
    
```

```

Location : Vial 1
Inj : 1
Inj Volume : Manually
    
```

ENSAYO ETANOL EMPLEANDO AGUA DISOLVER Y ESTANDAR INTERNO ISOPROPANOL,  
 DETECTOR FID  
 COLUMNA HP-PLOT/Q 30m 0.32mm ID 20um film  
 FLUJO COLUMNA 1.9



External Standard Report

```

=====
Sorted By : Signal
Calib. Data Modified : 6/25/2015 12:09:51 PM
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000
Sample Amount : 1.00000 [g %] (not used in calc.)
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
    
```

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [g %]	Grp	Name
4.766	PB	24.35500	1.10343e-2	2.68741e-1		Etanol
6.121	PB	I 2372.48535	8.88629e-3	21.08259		ISP

Totals : 21.35133

Results obtained with enhanced integrator!

\*\*\* End of Report \*\*\*

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG.

**Anexo 11. Cromatografía de gases FID para la muestra 4-1, cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) con tamaño de partícula de 2 mm y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 5 %**

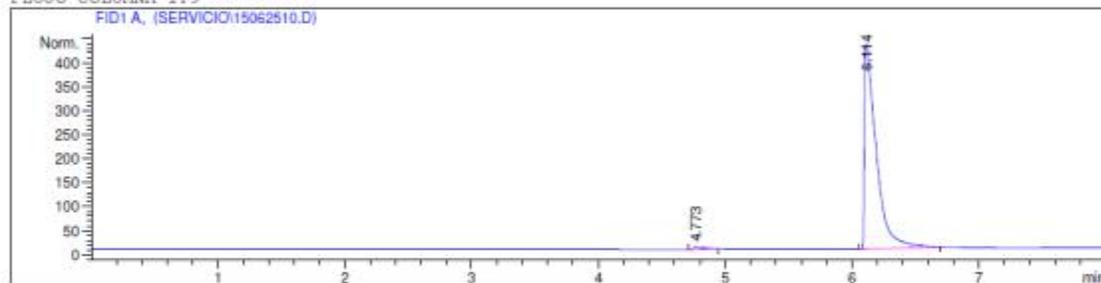
Data File C:\HPCHEM\1\DATA\SERVICIO\15062510.D Sample Name: Mu 4-1

Muestra con ISP como IS

```

=====
Injection Date : 6/25/2015 12:21:05 PM
Sample Name : Mu 4-1 Location : Vial 1
Acq. Operator : AdeM Inj : 1
Acq. Instrument : Instrument 1 Inj Volume : Manually
Acq. Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\ETANOL2.M
Last changed : 6/24/2015 2:47:37 PM by AdeM
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\TESETA.M
Last changed : 6/25/2015 12:09:51 PM by AdeM
(modified after loading)
  
```

ENSAYO ETANOL EMPLEANDO AGUA DISOLVER Y ESTANDAR INTERNO ISOPROPANOL,  
 DETECTOR FID  
 COLUMNA HP-PLOT/Q 30m 0.32mm ID 20um film  
 FLUJO COLUMNA 1.9



External Standard Report

```

=====
Sorted By : Signal
Calib. Data Modified : 6/25/2015 12:09:51 PM
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000
Sample Amount : 1.00000 [g %] (not used in calc.)
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
  
```

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [g %]	Grp	Name
4.773	PB	30.49001	1.10343e-2	3.36436e-1		Etanol
6.114	PB	I 2795.43140	8.88629e-3	24.84101		ISP

Totals : 25.17744

Results obtained with enhanced integrator!

\*\*\* End of Report \*\*\*

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG.

**Anexo 12. Cromatografía de gases FID para la muestra 4-2, cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) con tamaño de partícula de 2 mm y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 5 %**

Data File C:\HPCHEM\1\DATA\SERVICIO\15062511.D Sample Name: Mu 4-2

Muestra con ISP como IS

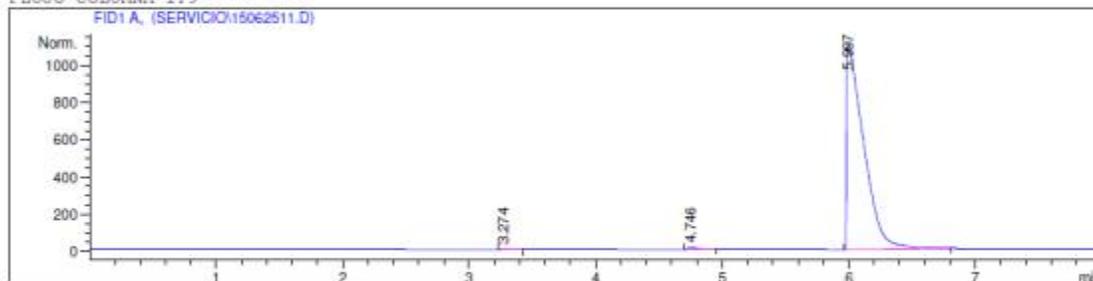
```

=====
Injection Date : 6/25/2015 12:30:58 PM
Sample Name : Mu 4-2
Acq. Operator : AdeM
Acq. Instrument : Instrument 1
Acq. Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\ETANOL2.M
Last changed : 6/24/2015 2:47:37 PM by AdeM
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\TESETA.M
Last changed : 6/25/2015 12:40:17 PM by AdeM
                (modified after loading)
    
```

```

Location : Vial 1
Inj : 1
Inj Volume : Manually
    
```

ENSAYO ETANOL EMPLEANDO AGUA DISOLVER Y ESTANDAR INTERNO ISOPROPANOL,  
DETECTOR FID  
COLUMNA HP-PLOT/Q 30m 0.32mm ID 20um film  
FLUJO COLUMNA 1.9



External Standard Report

```

Sorted By : Signal
Calib. Data Modified : 6/25/2015 12:40:17 PM
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000
Sample Amount : 1.00000 [g %] (not used in calc.)
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
    
```

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [g %]	Grp	Name
4.746	PB	76.17224	1.10343e-2	8.40508e-1		Etanol
5.997	IS	1.02978e4	8.88629e-3	91.50926		ISP

Totals : 92.34977

Results obtained with enhanced integrator!

\*\*\* End of Report \*\*\*

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG.

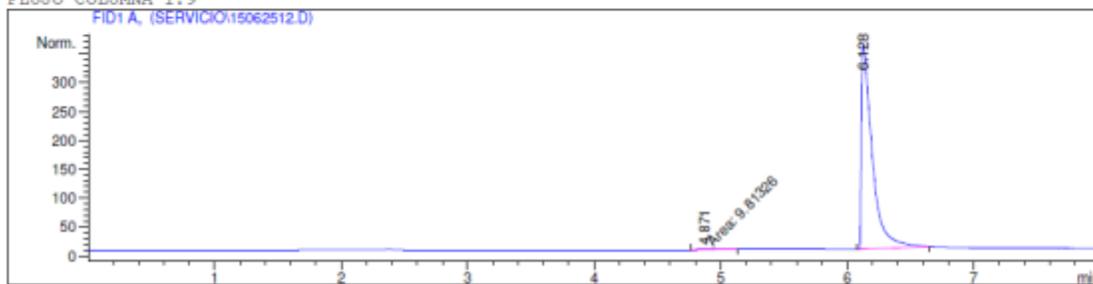
**Anexo 13. Cromatografía de gases FID para la muestra 4-3, cáscara de naranja (*Citrus sinensis* L.) con tamaño de partícula de 2 mm y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 5 %**

Data File C:\HPCHEM\1\DATA\SERVICIO\15062512.D Sample Name: Mu 4-3

Muestra con ISP como IS

```

=====
Injection Date   : 6/25/2015 12:40:43 PM
Sample Name     : Mu 4-3
Acq. Operator   : AdeM
Acq. Instrument : Instrument 1
Acq. Method     : C:\HPCHEM\1\METHODS\ETANOL2.M
Last changed    : 6/24/2015 2:47:37 PM by AdeM
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\TES25J.M
Last changed    : 6/25/2015 2:01:32 PM by AdeM
ENSAYO ETANOL EMPLEANDO AGUA DISOLVER Y ESTANDAR INTERNO ISOPROPANOL,
DETECTOR FID
COLUMNA HP-PLOT/Q 30m 0.32mm ID 20um film
FLUJO COLUMNA 1.9
  
```



External Standard Report

```

=====
Sorted By       : Signal
Calib. Data Modified : 6/25/2015 12:40:17 PM
Multiplier      : 1.0000
Dilution        : 1.0000
Sample Amount   : 1.00000 [g %] (not used in calc.)
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
  
```

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [g %]	Grp	Name
4.871	MM	9.81326	1.10343e-2	1.08283e-1		Etanol
6.128	PB	I 2104.93335	8.88629e-3	18.70504		ISP

Totals : 18.81332

Results obtained with enhanced integrator!

\*\*\* End of Report \*\*\*

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG.

**Anexo 14. Cromatografía de gases FID para la muestra 5-1, cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) con tamaño de partícula de 1,68 mm y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 4 %**

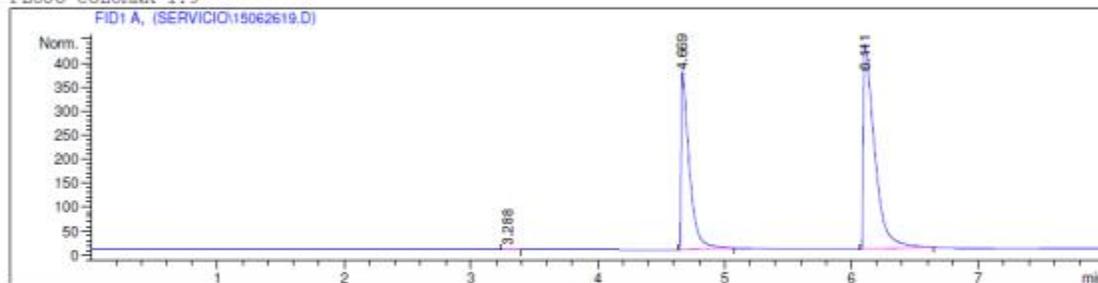
Data File C:\HPCHEM\1\DATA\SERVICIO\15062619.D Sample Name: muestra 5.1

Mu con ISP como IS

```

=====
Injection Date : 6/26/2015 12:53:21 PM
Sample Name : muestra 5.1 Location : Vial 1
Acq. Operator : AdeM Inj : 1
Acq. Instrument : Instrument 1 Inj Volume : Manually
Acq. Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\ETANOL2.M
Last changed : 6/24/2015 2:47:37 PM by AdeM
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\TES25J.M
Last changed : 6/26/2015 12:18:48 PM by AdeM
(modified after loading)
  
```

ENSAYO ETANOL EMPLEANDO AGUA DISOLVER Y ESTANDAR INTERNO ISOPROPANOL,  
 DETECTOR FID  
 COLUMNA HP-PLOT/Q 30m 0.32mm ID 20um film  
 FLUJO COLUMNA 1.9



External Standard Report

```

=====
Sorted By : Signal
Calib. Data Modified : Friday, June 26, 2015 12:18:41 PM
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000
Sample Amount : 1.00000 [g %] (not used in calc.)
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
  
```

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [g %]	Grp	Name
4.669	PB	1668.02429	7.40206e-3	12.34682		Etanol
6.111	PB	2643.26855	6.05289e-3	15.99941		ISP

Totals : 28.34622

Results obtained with enhanced integrator!

\*\*\* End of Report \*\*\*

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG.

**Anexo 15. Cromatografía de gases FID para la muestra 5-2, cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) con tamaño de partícula de 1,68 mm y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 4 %**

Data File C:\HPCHEM\1\DATA\SERVICIO\15062620.D Sample Name: muestra 5.2

Mu con ISP como IS

```

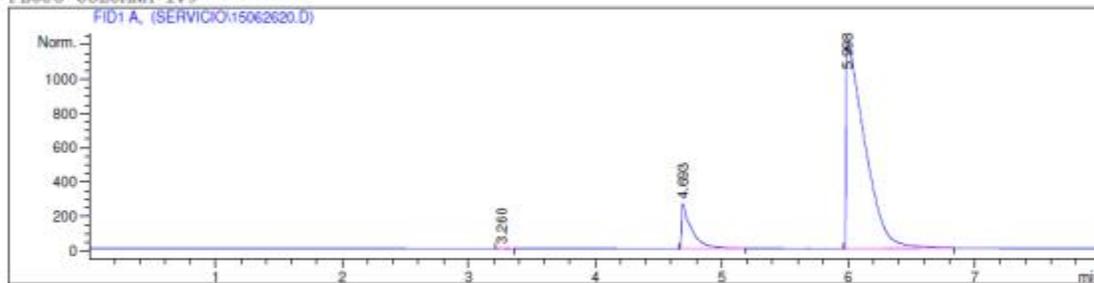
=====
Injection Date   : 6/26/2015 1:02:50 PM
Sample Name     : muestra 5.2
Acq. Operator   : AdeM
Acq. Instrument : Instrument 1
Acq. Method     : C:\HPCHEM\1\METHODS\ETANOL2.M
Last changed    : 6/24/2015 2:47:37 PM by AdeM
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\TES25J.M
Last changed    : 6/26/2015 12:18:48 PM by AdeM
                  (modified after loading)
    
```

```

Location : Vial 1
Inj      : 1
Inj Volume : Manually
    
```

```

ENSAYO ETANOL EMPLEANDO AGUA DISOLVER Y ESTANDAR INTERNO ISOPROPANOL,
DETECTOR FID
COLUMNA HP-PLOT/Q 30m 0.32mm ID 20um film
FLUJO COLUMNA 1.9
    
```



External Standard Report

```

Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : Friday, June 26, 2015 12:18:41 PM
Multiplier     : 1.0000
Dilution       : 1.0000
Sample Amount   : 1.00000 [g %] (not used in calc.)
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
    
```

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [g %]	Grp	Name
4.693	PB	1470.03345	7.40206e-3	10.88128		Etanol
5.998	IS	1.22761e4	6.05289e-3	74.30598		ISP

Totals : 85.18725

Results obtained with enhanced integrator!

\*\*\* End of Report \*\*\*

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG.

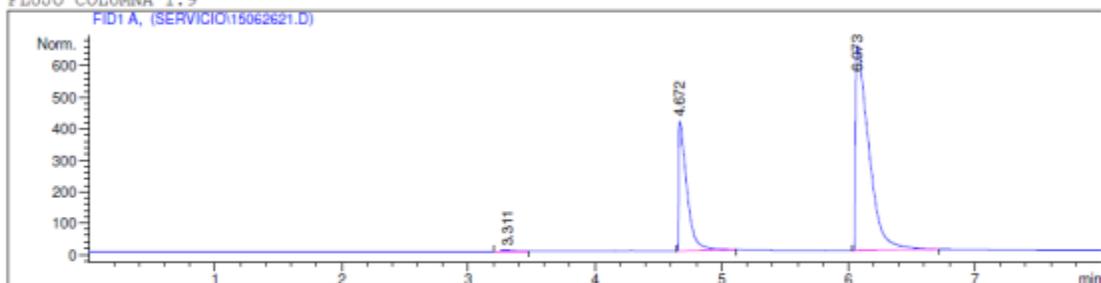
**Anexo 16. Cromatografía de gases FID para la muestra 5-3, cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) con tamaño de partícula de 1,68 mm y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 4 %**

Data File C:\HPCHEM\1\DATA\SERVICIO\15062621.D Sample Name: muestra 5.3

Mu con ISP como IS

```

=====
Injection Date : 6/26/2015 1:15:12 PM
Sample Name : muestra 5.3 Location : Vial 1
Acq. Operator : AdeM Inj : 1
Acq. Instrument : Instrument 1 Inj Volume : Manually
Acq. Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\ETANOL2.M
Last changed : 6/24/2015 2:47:37 PM by AdeM
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\TES26J.M
Last changed : 6/26/2015 2:04:01 PM by AdeM
ENSAYO ETANOL EMPLEANDO AGUA DISOLVER Y ESTANDAR INTERNO ISOPROPANOL,
DETECTOR FID
COLUMNA HP-PLOT/Q 30m 0.32mm ID 20um film
FLUJO COLUMNA 1.9
  
```



External Standard Report

```

Sorted By : Signal
Calib. Data Modified : Friday, June 26, 2015 12:18:41 PM
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000
Sample Amount : 1.00000 [g %] (not used in calc.)
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
  
```

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [g %]	Grp	Name
4.672	PB	1889.50769	7.40206e-3	13.98625		Etanol
6.073	PB	4731.91113	6.05289e-3	28.64173		ISP

Totals : 42.62798

Results obtained with enhanced integrator!

\*\*\* End of Report \*\*\*

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG.

**Anexo 17. Cromatografía de gases FID para la muestra 6-1, cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) con tamaño de partícula de 2 mm y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 4 %**

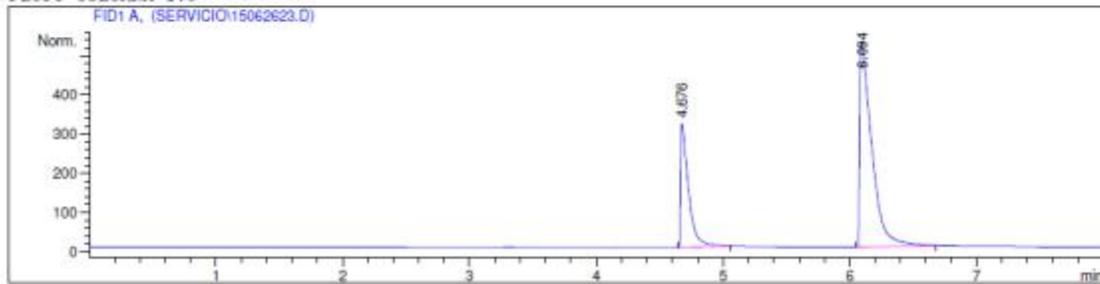
Data File C:\HPCHEM\1\DATA\SERVICIO\15062623.D Sample Name: muestra 6.1

Mu con ISP como IS

```

=====
Injection Date   : 6/26/2015 1:46:05 PM
Sample Name     : muestra 6.1
Location       : Vial 1
Acq. Operator  : AdeM
Inj           : 1
Acq. Instrument : Instrument 1
Inj Volume    : Manually
Acq. Method    : C:\HPCHEM\1\METHODS\ETANOL2.M
Last changed   : 6/24/2015 2:47:37 PM by AdeM
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\TES25J.M
Last changed   : 6/26/2015 12:18:48 PM by AdeM
                (modified after loading)
    
```

ENSAYO ETANOL EMPLEANDO AGUA DISOLVER Y ESTANDAR INTERNO ISOPROPANOL,  
 DETECTOR FID  
 COLUMNA HP-PLOT/Q 30m 0.32mm ID 20um film  
 FLUJO COLUMNA 1.9



External Standard Report

```

=====
Sorted By       : Signal
Calib. Data Modified : Friday, June 26, 2015 12:18:41 PM
Multiplier     : 1.0000
Dilution       : 1.0000
Sample Amount  : 1.00000 [g %] (not used in calc.)
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
    
```

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [g %]	Grp	Name
4.676	PB	1382.04321	7.40206e-3	10.22997		Etanol
6.094	PB	3462.92334	6.05289e-3	20.96069		ISP

Totals : 31.19065

Results obtained with enhanced integrator!

\*\*\* End of Report \*\*\*

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG.

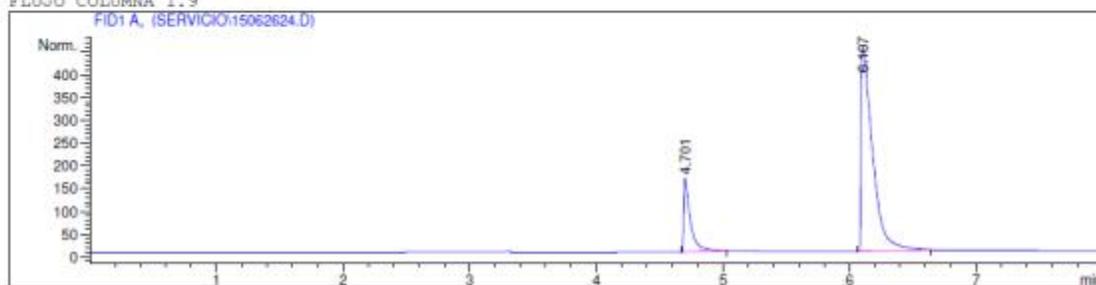
**Anexo 18. Cromatografía de gases FID para la muestra 6-2, cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) con tamaño de partícula de 2 mm y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 4 %**

Data File C:\HPCHEM\1\DATA\SERVICIO\15062624.D Sample Name: muestra 6.2

Mu con ISP como IS

```

=====
Injection Date : 6/26/2015 2:01:17 PM
Sample Name : muestra 6.2 Location : Vial 1
Acq. Operator : AdeM Inj : 1
Acq. Instrument : Instrument 1 Inj Volume : Manually
Acq. Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\ETANOL2.M
Last changed : 6/24/2015 2:47:37 PM by AdeM
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\TES26J.M
Last changed : 6/26/2015 12:18:48 PM by AdeM
ENSAYO ETANOL EMPLEANDO AGUA DISOLVER Y ESTANDAR INTERNO ISOPROPANOL,
DETECTOR FID
COLUMNA HP-PLOT/Q 30m 0.32mm ID 20um film
FLUJO COLUMNA 1.9
    
```



External Standard Report

```

Sorted By : Signal
Calib. Data Modified : Friday, June 26, 2015 12:18:41 PM
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000
Sample Amount : 1.00000 [g %] (not used in calc.)
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
    
```

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [g %]	Grp	Name
4.701	PB	597.77887	7.40206e-3	4.42480		Etanol
6.107	PB	I 2828.22363	6.05289e-3	17.11892		ISP

Totals : 21.54371

Results obtained with enhanced integrator!

\*\*\* End of Report \*\*\*

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG.

**Anexo 19. Cromatografía de gases FID para la muestra 6-3, cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) con tamaño de partícula de 2 mm y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 4 %**

Data File C:\HPCHEM\1\DATA\SERVICIO\15062618.D Sample Name: muestra 6.3

Mu con ISP como IS

```

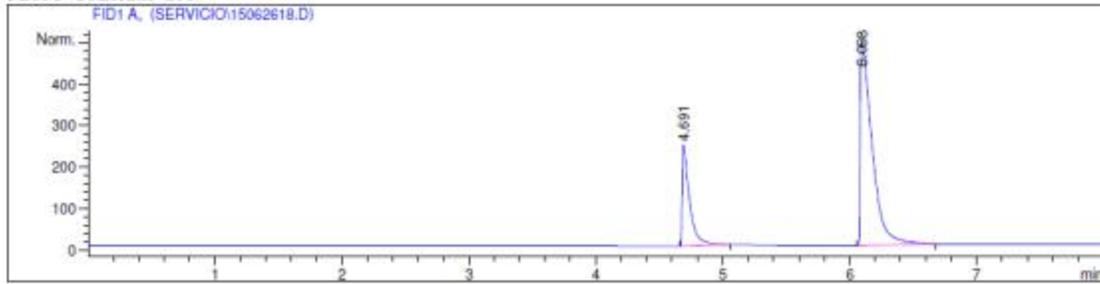
=====
Injection Date   : 6/26/2015 12:43:18 PM
Sample Name     : muestra 6.3
Acq. Operator   : AdeM
Acq. Instrument : Instrument 1
Acq. Method     : C:\HPCHEM\1\METHODS\ETANOL2.M
Last changed    : 6/24/2015 2:47:37 PM by AdeM
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\TES25J.M
Last changed    : 6/26/2015 12:18:48 PM by AdeM
                  (modified after loading)
  
```

```

Location : Vial 1
Inj       : 1
Inj Volume : Manually
  
```

```

ENSAYO ETANOL EMPLEANDO AGUA DISOLVER Y ESTANDAR INTERNO ISOPROPANOL,
DETECTOR FID
COLUMNA HP-PLOT/Q 30m 0.32mm ID 20um film
FLUJO COLUMNA 1.9
  
```



External Standard Report

```

Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : Friday, June 26, 2015 12:18:41 PM
Multiplier     : 1.0000
Dilution       : 1.0000
Sample Amount  : 1.00000 [g %] (not used in calc.)
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
  
```

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [g %]	Grp	Name
4.691	PB	1005.39379	7.40206e-3	7.44191		Etanol
6.098	PB	3229.95874	6.05289e-3	19.55058		ISP

Totals : 26.99249

Results obtained with enhanced integrator!

\*\*\* End of Report \*\*\*

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG.

**Anexo 20. Cromatografía de gases FID para la muestra 7-1, cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) con tamaño de partícula de 1,68 mm y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 5 %**

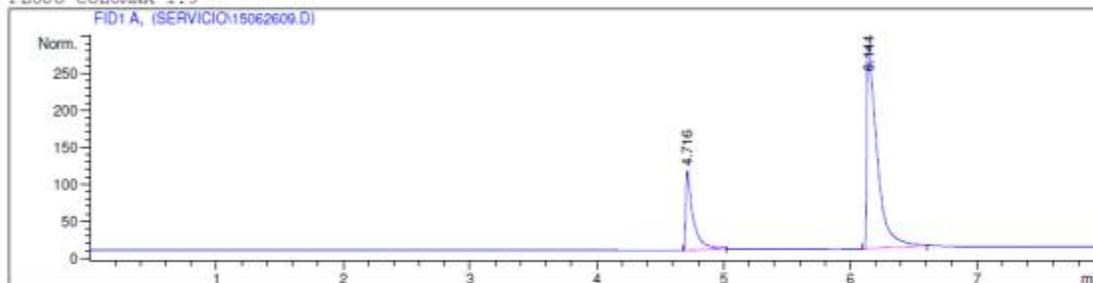
Data File C:\HPCHEM\1\DATA\SERVICIO\15062609.D Sample Name: Muestra 7.1

muestra con ISP como IS

```

=====
Injection Date : 6/26/2015 10:40:25 AM
Sample Name : Muestra 7.1 Location : Vial 1
Acq. Operator : AdeM Inj : 1
Acq. Instrument : Instrument 1 Inj Volume : Manually
Acq. Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\ETANOL2.M
Last changed : 6/24/2015 2:47:37 PM by AdeM
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\TES25J.M
Last changed : 6/26/2015 12:18:48 PM by AdeM
                (modified after loading)
    
```

ENSAYO ETANOL EMPLEANDO AGUA DISOLVER Y ESTANDAR INTERNO ISOPROPANOL,  
 DETECTOR FID  
 COLUMNA HP-PLOT/Q 30m 0.32mm ID 20um film  
 FLUJO COLUMNA 1.9



External Standard Report

```

Sorted By : Signal
Calib. Data Modified : Friday, June 26, 2015 12:18:41 PM
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000
Sample Amount : 1.00000 [g %] (not used in calc.)
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
    
```

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [g %]	Grp	Name
4.716	PB	421.33075	7.40206e-3	3.11872		Etanol
6.144	PB	1569.08167	6.05289e-3	9.49747		ISP

Totals : 12.61619

Results obtained with enhanced integrator!

\*\*\* End of Report \*\*\*

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG.

**Anexo 21. Cromatografía de gases FID para la muestra 7-2, cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) con tamaño de partícula de 1,68 mm y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 5 %**

Data File C:\HPCHEM\1\DATA\SERVICIO\15062610.D Sample Name: Muestra 7.2

muestra con ISP como IS

```

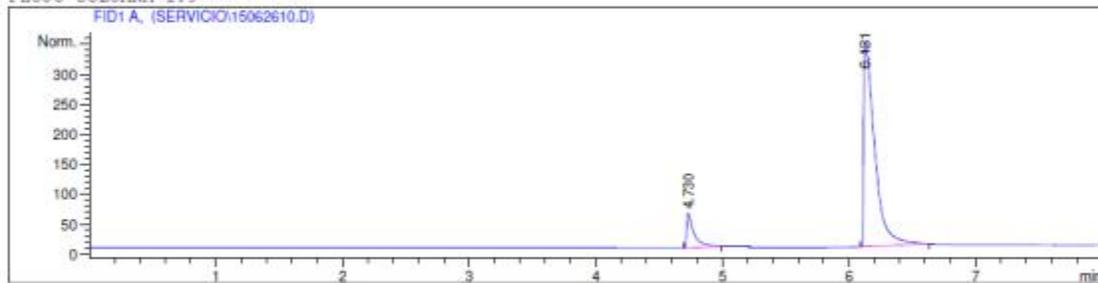
=====
Injection Date   : 6/26/2015 10:57:49 AM
Sample Name     : Muestra 7.2
Acq. Operator  : AdeM
Acq. Instrument : Instrument 1
Acq. Method    : C:\HPCHEM\1\METHODS\ETANOL2.M
Last changed   : 6/24/2015 2:47:37 PM by AdeM
Analysis Method: C:\HPCHEM\1\METHODS\TES25J.M
Last changed   : 6/26/2015 12:18:48 PM by AdeM
                (modified after loading)
    
```

```

Location : Vial 1
Inj      : 1
Inj Volume : Manually
    
```

```

ENSAYO ETANOL EMPLEANDO AGUA DISOLVER Y ESTANDAR INTERNO ISOPROPANOL,
DETECTOR FID
COLUMNA HP-PLOT/Q 30m 0.32mm ID 20um film
FLUJO COLUMNA 1.9
    
```



External Standard Report

```

Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : Friday, June 26, 2015 12:18:41 PM
Multiplier    : 1.0000
Dilution      : 1.0000
Sample Amount  : 1.00000 [g %] (not used in calc.)
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
    
```

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [g %]	Grp	Name
4.730	PB	231.88217	7.40206e-3	1.71641		Etanol
6.131	PB	2051.78589	6.05289e-3	12.41923		ISP

Totals : 14.13564

Results obtained with enhanced integrator!

\*\*\* End of Report \*\*\*

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG.

**Anexo 22. Cromatografía de gases FID para la muestra 7-3, cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) con tamaño de partícula de 1,68 mm y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 5 %**

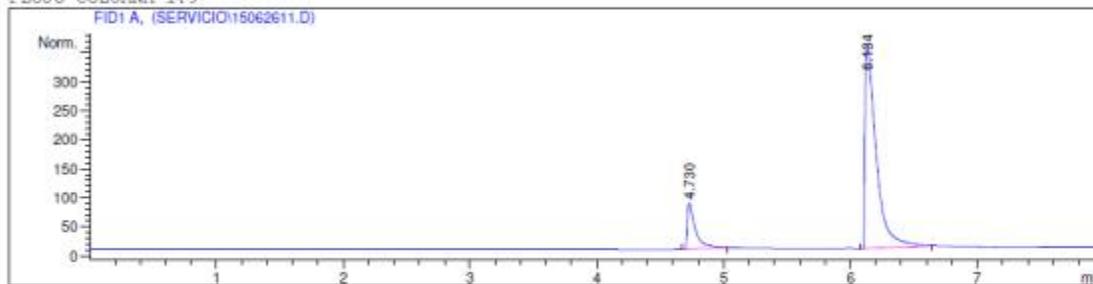
Data File C:\HPCHEM\1\DATA\SERVICIO\15062611.D Sample Name: Muestra 7.3

muestra con ISP como IS

```

=====
Injection Date   : 6/26/2015 11:09:26 AM
Sample Name     : Muestra 7.3
Location       : Vial 1
Acq. Operator  : AdeM
Acq. Instrument : Instrument 1
Inj Volume     : Manually
Acq. Method    : C:\HPCHEM\1\METHODS\ETANOL2.M
Last changed   : 6/24/2015 2:47:37 PM by AdeM
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\TES25J.M
Last changed   : 6/26/2015 12:18:48 PM by AdeM
                (modified after loading)
    
```

ENSAYO ETANOL EMPLEANDO AGUA DISOLVER Y ESTANDAR INTERNO ISOPROPANOL,  
 DETECTOR FID  
 COLUMNA HP-PLOT/Q 30m 0.32mm ID 20um film  
 FLUJO COLUMNA 1.9



External Standard Report

```

=====
Sorted By       : Signal
Calib. Data Modified : Friday, June 26, 2015 12:18:41 PM
Multiplier     : 1.0000
Dilution       : 1.0000
Sample Amount   : 1.00000 [g %] (not used in calc.)
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
    
```

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [g %]	Grp	Name
4.730	PB	361.00952	7.40206e-3	2.67221		Etanol
6.134	PB	2118.06958	6.05289e-3	12.82044	I	ISP

Totals : 15.49265

Results obtained with enhanced integrator!

\*\*\* End of Report \*\*\*

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG.

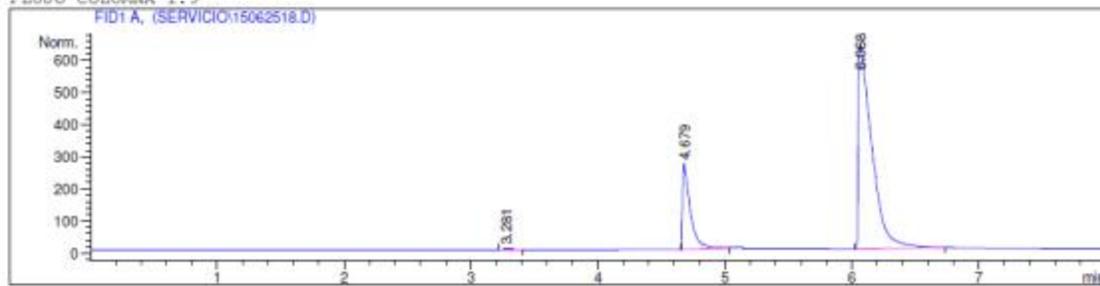
**Anexo 23. Cromatografía de gases FID para la muestra 8-1, cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) con tamaño de partícula de 2 mm y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 5 %**

Data File C:\HPCHEM\1\DATA\SERVICIO\15062518.D Sample Name: Mu 8.1

Muestra con ISP como IS

```

=====
Injection Date   : 6/25/2015 1:41:30 PM
Sample Name     : Mu 8.1
Acq. Operator   : AdeM
Acq. Instrument : Instrument 1
Acq. Method     : C:\HPCHEM\1\METHODS\ETANOL2.M
Last changed    : 6/24/2015 2:47:37 PM by AdeM
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\TES25J.M
Last changed    : 6/25/2015 12:40:17 PM by AdeM
ENSAYO ETANOL EMPLEANDO AGUA DISOLVER Y ESTANDAR INTERNO ISOPROPANOL,
DETECTOR FID
COLUMNA HP-PLOT/Q 30m 0.32mm ID 20um film
FLUJO COLUMNA 1.9
=====
  
```



External Standard Report

```

=====
Sorted By       : Signal
Calib. Data Modified : 6/25/2015 12:40:17 PM
Multiplier     : 1.0000
Dilution       : 1.0000
Sample Amount   : 1.00000 [g %] (not used in calc.)
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
=====
  
```

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [g %]	Grp	Name
4.679	PB	1129.60083	1.10343e-2	12.46437		Etanol
6.068	PB	4784.31982	8.88629e-3	42.51484		ISP

Totals : 54.97921

Results obtained with enhanced integrator!

\*\*\* End of Report \*\*\*

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG.

**Anexo 24. Cromatografía de gases FID para la muestra 8-2, cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) con tamaño de partícula de 2 mm y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 5 %**

Data File C:\HPCHEM\1\DATA\SERVICIO\15062613.D

Sample Name: Muestra 8.2

muestra con ISP como IS

```

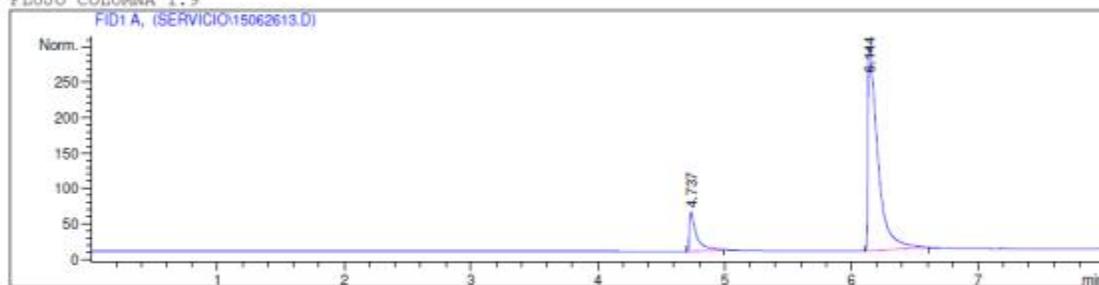
=====
Injection Date : 6/26/2015 11:33:09 AM
Sample Name : Muestra 8.2
Acq. Operator : AdeM
Acq. Instrument : Instrument 1
Acq. Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\ETANOL2.M
Last changed : 6/24/2015 2:47:37 PM by AdeM
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\TES25J.M
Last changed : 6/26/2015 12:18:48 PM by AdeM
                (modified after loading)
    
```

```

Location : Vial 1
Inj : 1
Inj Volume : Manually
    
```

```

ENSAYO ETANOL EMPLEANDO AGUA DISOLVER Y ESTANDAR INTERNO ISOPROPANOL,
DETECTOR FID
COLUMNA HP-PLOT/Q 30m 0.32mm ID 20um film
FLUJO COLUMNA 1.9
    
```



External Standard Report

```

Sorted By : Signal
Calib. Data Modified : Friday, June 26, 2015 12:18:41 PM
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000
Sample Amount : 1.00000 [g %] (not used in calc.)
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
    
```

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [g %]	Grp	Name
4.737	PB	215.33858	7.40206e-3	1.59395		Etanol
6.144	PB	1592.07471	6.05289e-3	9.63665		ISP

Totals : 11.23060

Results obtained with enhanced integrator!

\*\*\* End of Report \*\*\*

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG.

**Anexo 25. Cromatografía de gases FID para la muestra 8-3, cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) con tamaño de partícula de 2 mm y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 5 %**

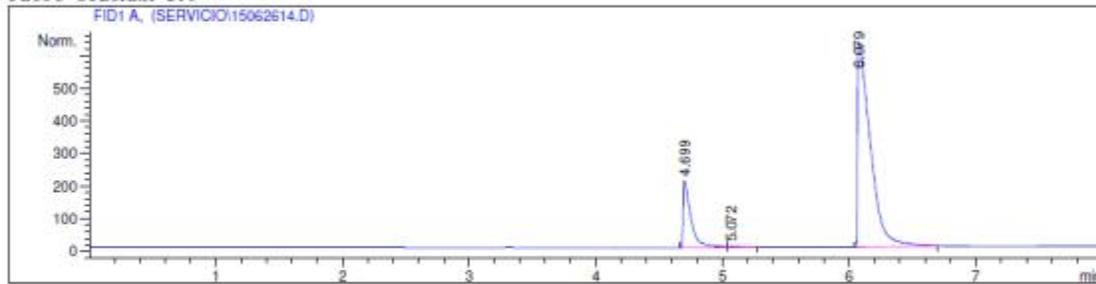
Data File C:\HPCHEM\1\DATA\SERVICIO\15062614.D Sample Name: Muestra 8.3

muestra con ISP como IS

```

=====
Injection Date   : 6/26/2015 11:43:24 AM
Sample Name     : Muestra 8.3
Acq. Operator   : AdeM
Acq. Instrument : Instrument 1
Acq. Method     : C:\HPCHEM\1\METHODS\ETANOL2.M
Last changed    : 6/24/2015 2:47:37 PM by AdeM
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\TES25J.M
Last changed    : 6/26/2015 11:30:43 AM by AdeM
                  (modified after loading)
  
```

ENSAYO ETANOL EMPLEANDO AGUA DISOLVER Y ESTANDAR INTERNO ISOPROPANOL,  
 DETECTOR FID  
 COLUMNA HP-PLOT/Q 30m 0.32mm ID 20um film  
 FLUJO COLUMNA 1.9



External Standard Report

```

=====
Sorted By       : Signal
Calib. Data Modified : 6/26/2015 11:30:43 AM
Multiplier     : 1.0000
Dilution       : 1.0000
Sample Amount   : 1.00000 [g %] (not used in calc.)
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
  
```

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [g %]	Grp	Name
4.699	PB	898.51099	7.41974e-3	6.66672		Etanol
6.079	PB	1 4499.88770	5.96736e-3	26.85243		ISP

Totals : 33.51916

Results obtained with enhanced integrator!

\*\*\* End of Report \*\*\*

Fuente: Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG.