

**Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua**  
**UNAN-Managua**  
**Facultad de Ciencias e Ingenierías**  
**Departamento de Química**  
**Monografía para Optar al**  
**Título de Licenciado en Química Industrial**



**Título: Caracterización físico-química de residuos agroindustriales (cascarilla de arroz y cascarilla de café), como materia prima potencial para la obtención de bioetanol, Laboratorios de Química UNAN-Managua I-II semestre 2016**

**Autores:**

Bra. Rosa Angélica Arias Ortiz

Br. Juan Daniel Meneses Cruz

**Tutor:**

Danilo López Valerio PhD.

**Asesora:**

Leticia Romero Castro Lic.

**Managua, Diciembre 2016**



## ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
OPINIÓN DEL TUTOR Y ASESOR METODOLÓGICO	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
<b>CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES</b>	
1. ASPECTOS GENERALES	
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Planteamiento del Problema	3
1.4 Justificación	4
1.5 Antecedentes	5
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b>	
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Generalidades de los residuos agroindustriales	8
2.2 Biocombustibles	11
2.3 Bioetanol	13
2.4 Lignocelulosa y sus componentes: celulosa, hemicelulosa y lignina	15
2.5 Pretratamientos del material lignocelulósico	17
2.6 Hidrólisis ácida	22
2.7 Fermentación del hidrolizado	22
2.8 Generalidades del arroz	25
2.9 Producción mundial de arroz ciclo agrícola 2015/2016	28
2.10 Cascarilla de arroz	28



2.11 Generalidades del café	31
2.12 Cascarilla de café	32
2.13 Producción mundial de café	34
<b>CAPÍTULO III: PREGUNTA DIRECTRIZ</b>	
3. PREGUNTA DIRECTRIZ	40
<b>CAPÍTULO IV: DISEÑO METODOLÓGICO</b>	
4. DISEÑO METODOLÓGICO	
4.1 Descripción del ámbito de estudio	42
4.2 Tipo de estudio	42
4.3 Población y muestra	42
4.3.1 Población	42
4.3.2 Muestra	42
4.3.2.1 Criterios de Inclusión	43
4.3.2.2 Criterios de Exclusión	43
4.4 Variables y Operacionalización	43
4.4.1 Variables Independientes	43
4.4.2 Variables Dependientes	43
4.4.3 Operacionalización de Variables	44
4.5 Materiales y Método	46
4.5.1 Materiales para recolectar información	46
4.5.2 Materiales para procesar la información	46
4.5.3 Métodos a utilizar	47
4.5.3.1 Determinación de Humedad	48
4.5.3.2 Determinación de Cenizas	49
4.5.3.3 Determinación de pH	50



***Caracterización físico-química de residuos agroindustriales (cascarilla de arroz y cascarilla de café), como materia prima potencial para la obtención de bioetanol, laboratorios de química UNAN-Managua I-II semestre 2016.***

4.5.3.4 Determinación Extractivos Totales	52
4.5.3.5 Determinación % de Celulosa	54
4.5.3.6 Determinación de % Lignina	56
4.5.4 Cuantificación de azúcares totales según el Método Dubois	58
4.5.4.1 Preparación de soluciones	59
4.5.4.2 Preparación de la solución de fenol al 5%(p/v)	59
4.5.4.3 Preparación del stock de glucosa (400 µg/mL)	59
4.5.4.4 Preparación de estándares para la curva de calibración	60
4.5.4.5 Procedimiento experimental	61
4.5.4.6 Cuantificación de azúcares totales en muestras hidrolizadas.	62
4.6 Materiales utilizados en la caracterización	66
4.7 Equipos	67
4.8 Reactivos	68
<b>CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS</b>	
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	
5.1 Análisis de la caracterización físico-química de cascarilla de arroz	70
5.2 Análisis de la caracterización físico-química de cascarilla de café	72
5.3 Obtención de Bioetanol	74
<b>CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES</b>	
6. CONCLUSIONES	75
<b>CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES</b>	
7. RECOMENDACIONES	78
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	79



## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b>	Diagnóstico sobre potencialidades y restricciones biofísicas, sociales, institucionales y económicas para el desarrollo de biocombustibles en Nicaragua.	1
<b>Anexo 2</b>	Situación energética de los biocombustibles	2
<b>Anexo 3</b>	Obtención de etanol mediante fermentación	4
<b>Anexo 4</b>	Resultados de los análisis en la caracterización físico-química de cascarilla de arroz y cascarilla de café	5
<b>Anexo 5</b>	Curva de absorbancias	8
<b>Anexo 6</b>	Curva de calibración	12
<b>Anexo 7</b>	Cuantificación de concentración de azúcares totales en muestras hidrolizadas	14
<b>Anexo 8</b>	Fórmulas estadísticas para tratamiento de datos (Miller & Miller, 2002)	17



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1</b>	Pretratamientos para material lignocelulósico	19
<b>Tabla 2.2</b>	Nombre científico de arroz	25
<b>Tabla 2.3</b>	Principales países productores de arroz a nivel mundial en el ciclo agrícola 2015/2016	28
<b>Tabla 2.4</b>	Distribución de gases al quemar 100 kg de cáscara de arroz	30
<b>Tabla 2.5</b>	Composición química de cascarilla de café	32
<b>Tabla 2.6</b>	Producción mundial de café (miles de toneladas), período 2002-2007	34
<b>Tabla 2.7</b>	Principales países productores de café (miles de toneladas) período 2004-2007	35
<b>Tabla 2.8</b>	Producción de café en Nicaragua, período 2011-2015	36
<b>Tabla 4.1</b>	Operacionalización de Variables	44
<b>Tabla 4.2</b>	Diluciones de solución stock de glucosa	60
<b>Tabla 5.1</b>	Cantidades disponibles de materia prima en Nicaragua	70
<b>Tabla 5.2</b>	Caracterización físico-química de cascarilla de arroz	70
<b>Tabla 5.3</b>	Comparación con resultados de referencia, cascarilla de arroz	71
<b>Tabla 5.4</b>	Caracterización físico-química de cascarilla de café	72
<b>Tabla 5.5</b>	Comparación con resultados de referencia, cascarilla de café	73
<b>Tabla 5.6</b>	Comparación de composición química de la cascarilla de arroz y cascarilla de café	73
<b>Tabla 5.7</b>	Datos experimentales obtenidos en el proceso de hidrólisis ácida y fermentación separada de cascarilla de café y cascarilla de arroz	74



## TABLAS DE ANEXOS

<b>Tabla 2.1</b>	Reserva de combustibles fósiles y combustibles nucleares en el mundo	2
<b>Tabla 4.1</b>	Porcentaje de Humedad	5
<b>Tabla 4.2</b>	Porcentaje de Cenizas con Extractivos	5
<b>Tabla 4.3</b>	pH	6
<b>Tabla 4.4</b>	Extractivos Totales	6
<b>Tabla 4.5</b>	Porcentaje de Celulosa	7
<b>Tabla 4.6</b>	Porcentaje de Lignina	7
<b>Tabla 5.1</b>	Valores reportados por el espectrofotómetro al momento de realizar el pico de mayor absorbancia.	8
<b>Tabla 6.1</b>	Estándares de glucosa, utilizadas para crear curva de calibración	12
<b>Tabla 6.2</b>	Datos estadísticos aplicados a los resultados obtenidos de las Lecturas de los estándares	13
<b>Tabla 6.3</b>	Datos estadísticos para calcular errores en la curva de calibración	13
<b>Tabla 7.1</b>	Resultados de las lecturas de las muestras	14
<b>Tabla 7.2</b>	Errores en las concentraciones para los 10 experimentos	16
<b>Tabla 8.1</b>	Tabla de distribución t student	21

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

<b>Gráfica 2.1</b>	Principales Regiones Productoras de Café en el mundo	35
--------------------	--	----



## GRÁFICAS DE ANEXOS

<b>Gráfica 5.1:</b> Curva de absorbancia para conocer la longitud de onda a la cual se va a leer las muestras en el espectrofotómetro	11
<b>Gráfica 6.1:</b> Curva de calibración utilizando glucosa	12

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> Producción de Bioetanol de primera generación	11
<b>Figura 2.2</b> Representación esquemática de producción de etanol a partir de biomasa lignocelulósica	14
<b>Figura 2.3</b> Composición de un material lignocelulósico	16
<b>Figura 2.4</b> Mecanismo general de acción de los diversos pretratamientos para materiales lignocelulósicos para determinar humedad	21
<b>Figura 4.1</b> Muestras de cascarilla de café y cascarilla de arroz en desecación	48
<b>Figura 4.2</b> Cenizas de cascarilla de arroz y cascarilla de café	49
<b>Figura 4.3</b> Sistema de reflujo para extracción de muestra líquida de cascarilla de café	51
<b>Figura 4.4</b> Sistema de reflujo para extracción de muestra líquida de cascarilla de arroz	51
<b>Figura 4.5</b> Medición de pH en muestra de cascarilla de café	51
<b>Figura 4.6</b> Medición de pH en muestra de cascarilla de arroz	51
<b>Figura 4.7</b> Extracción Soxhlet en muestras de cascarilla de arroz	53
<b>Figura 4.8</b> Extracción Soxhlet en muestras de cascarilla de café	53
<b>Figura 4.9</b> Filtración al vacío de muestra de café	53
<b>Figura 4.10</b> Secado de muestra de café a temperatura ambiente	53



***Caracterización físico-química de residuos agroindustriales (cascarilla de arroz y cascarilla de café), como materia prima potencial para la obtención de bioetanol, laboratorios de química UNAN-Managua I-II semestre 2016.***

<b>Figura 4.11</b>	Extracción a reflujo de muestra de cascarilla de café	55
<b>Figura 4.12</b>	Extracción a reflujo de muestra de cascarilla de arroz	55
<b>Figura 4.13</b>	Muestras secas de cáscara de arroz y cáscara de café	55
<b>Figura 4.14</b>	Extracción a reflujo con $H_2SO_4$ en muestras de café	57
<b>Figura 4.15</b>	Muestras en reposo por 12 horas	57
<b>Figura 4.16</b>	Muestras secas de cáscara de arroz y cascarilla de café	57
<b>Figura 4.17</b>	Preparación solución de fenol	59
<b>Figura 4.18</b>	Preparación de solución stock de glucosa	59
<b>Figura 4.19</b>	Diluciones de solución stock de glucosa	60
<b>Figura 4.20</b>	Adición de 1000 $\mu$ L fenol y 5 mL ácido sulfúrico	61
<b>Figura 4.21</b>	Muestras diluidas en 100 mL de agua destilada	62
<b>Figura 4.22</b>	Muestras preparadas para la lectura en el espectrofotómetro	62



## Abreviaturas

<b>B:</b>	Blanco
<b>°C:</b>	Grados Celsius
<b>E<sub>1</sub>:</b>	Estándar número uno
<b>E<sub>2</sub>:</b>	Estándar número dos
<b>E<sub>3</sub>:</b>	Estándar número tres
<b>E<sub>4</sub>:</b>	Estándar número cuatro
<b>E<sub>5</sub>:</b>	Estándar número cinco
<b>h:</b>	Horas
<b>Kg:</b>	Kilogramos
<b>lb:</b>	Libras
<b>m.s.n.m:</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>Mz:</b>	Manzanas
<b>nm:</b>	Nanómetros
<b>qq:</b>	Quintales
<b>Rpm:</b>	Revoluciones por minuto
<b>STD:</b>	Estándar
<b>STD 1:</b>	Estándar 1
<b>STD 2:</b>	Estándar 2
<b>STD 3:</b>	Estándar 3
<b>STD 4:</b>	Estándar 4

---



**STD 5:** Estándar 5

**STD 6:** Estándar 6

**μL:** Microlitro

---



---

## DEDICATORIA

*A Dios* por ser mi fiel compañero, mi fuerza y sostén, por ser quien ha iluminado mi trayectoria, por brindarme la sabiduría e inteligencia necesaria para poder culminar mis estudios el día de hoy.

A mis padres, *Donald Diego Arias Linares* y *María del Socorro Ortiz González*, quienes el tiempo que Dios me permitió tenerlos a mi lado dieron todo por educarme e instruirme en el camino del bien, y quienes siempre serán mi modelo de persona y padres a seguir.

A mis hermanos mayores, *Donald Alexander Arias Ortiz* y *Mayanin Arias Ortiz*, quienes a la falta de mis padres han sido un gran apoyo en mi vida, un ejemplo de personas a seguir y a los cuales hoy considero como mis padres.

A mis demás hermanos, *Manuel Salvador, Geisell Betania, Diego Ramón, Cona Guissell, Francisco Gerardo, Jefferson Walter y Noé Benjamín Arias Ortiz* por su cariño y apoyo.

A mis sobrinos a los que espero haberles servido de ejemplo culminando mis estudios profesionales.

A *Bryan Javier Moreno Raudex* por su amor y cariño todos estos años.

A la bendición más hermosa que el señor me ha regalado y a la cual aún no conozco pero vive dentro de mí, *Mi hijo*.

*Rosa Angélica Arias Ortiz*

---



## DEDICATORIA

Primeramente, *a Dios* por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado vida, salud, fortaleza para seguir adelante día a día y lograr mis objetivos.

A mis padres *José Alejandro Meneses Martínez y Mirna del Socorro Cruz Cárdenas* por su apoyo, educación y consejos.

A todos aquellos que de alguna manera apoyaron moral y económicamente para poder culminar los estudios de pregrado.

*Juan Daniel Meneses Cruz*



## AGRADECIMIENTOS

*A Dios* infinitas gracias por cada una de sus bendiciones en mi vida, por su amor y misericordia para conmigo.

*A mis padres* quienes los años que estuvieron a mi lado dieron todo su esfuerzo hasta el último momento para que yo culminara mis estudios.

A mis hermanos *Donald Alexander Arias Ortiz* y *Mayanin Arias Ortiz* por acogerme como una hija y apoyarme día a día.

A *Bryan Javier Moreno Raudex* quien en momentos de desánimo me daba palabras de aliento y fuerzas para seguir adelante.

Al matrimonio *Moreno Raudex* por su cariño y apoyo incondicional.

A mi tutor *PhD, Danilo López* por haber depositado su confianza en mí para el desarrollo de este trabajo monográfico.

A mi compañero de tesis *Juan Meneses* por su apoyo y confianza.

Al *Lic. Yolfren Guevara* por haber dedicado su tiempo y conocimientos para la realización de pruebas en este trabajo.

*Rosa Angélica Arias Ortiz*

---



## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, doy gracias *a Dios* por haberme dado la oportunidad de culminar mis estudios.

A mis padres por darme la vida y la oportunidad de estudiar.

Al *Centro Nacional de Diagnóstico y Referencia (CNR)*, por su apoyo con reactivos químicos.

A mi tutor *PhD. Danilo López* por motivar a seguir adelante

A cada uno de los profesores del *Departamento de Química* que de alguna manera colaboraron en mi formación profesional.

A mi compañero de tesis *Rosa Arias* por su paciencia y confianza

Al *Lic. Yolfren Guevara* por su colaboración en la utilización del espectrofotómetro.

A cada uno de los que aportaron de una u otra manera para poder realizar las pruebas químicas y de ese modo poder realizar esta monografía.

*Juan Daniel Meneses Cruz*



---

## OPINIÓN DEL TUTOR Y ASESOR METODOLÓGICO

Managua, Noviembre 2016

MSc. Rosa María González  
Directora Dpto. Química  
UNAN-MANAGUA

Ante la crisis energética por los altos costos de los derivados del petróleo, sobre todo para los países dependientes de este, es importante realizar investigaciones tecnológicas que con lleven a fortalecer estas líneas, por tanto avalamos para la presentación y defensa de trabajo **“Caracterización de residuos agroindustriales (cascarilla de arroz y cascarilla de café), como materia prima potencial para la obtención de bioetanol, laboratorios de química UNAN-Managua I-II semestre 2016”**, realizado por los bachilleres: **Rosa Angélica Arias Ortiz y Juan Daniel Meneses Cruz**, quienes dedicaron empeño, poniendo en manifiesto sus actitudes emprendedoras y autoestudio en esta temática.

Sin más a que referirnos le saludamos cordialmente.

---

Danilo López Valerio PhD.

Tutor

---

Leticia Romero Castro Lic.

Asesora



## RESUMEN

En el presente trabajo, se caracterizó física y químicamente los residuos procedentes de la agroindustria (cascarilla de arroz y cascarilla de café) como posibles potenciales productores de bioetanol, las muestras se sometieron a diferentes pruebas con el fin de conocer el porcentaje de celulosa, lignina y hemicelulosa, utilizando como referencia las normas TAPPI (Asociación Técnica de la Industria de la Celulosa y el Papel), obteniendo que la Cascarilla de Arroz en su composición química contiene 36.03 % de Celulosa, 18.49 % de Lignina, 45.48 % de Hemicelulosa y 6.59 % Humedad ; y la Cascarilla de Café en su composición química contiene:, 36.70 % de Celulosa, 15.93 % de Lignina, 47.37 % de Hemicelulosa y 8.6 % Humedad.

También se obtuvieron 5.3 mL de Bioetanol por 25 gramos de material celulósico, con las condiciones optimizadas por (Montiel & Romero , 2015).

Además se obtuvo en el proceso de hidrólisis 3.7 g de azúcares por 25 g de material lignocelulósico.

**Palabras Claves:** Residuo, Cascarilla de arroz, Cascarilla de Café, Bioetanol



## **ABSTRACT**

In this work, was characterized physically and chemically waste agricultural industries (rice husks and coffee husks) as possible potential producers of bioethanol, the samples were subjected to various tests in order to know the percentage of cellulose, lignin and hemicellulose, using as reference the TAPPI standards (Technical Industry Association of the Pulp and Paper), obtaining the rice husk chemical composition containing 36.03% cellulose, 18.49% of lignin, 45.48% hemicellulose and 6.59 % Humidity ; and coffee husks in their chemical composition contains :, Cellulose 36.70%, 15.93% lignin, hemicellulose 47.37% and 8.6% humidity.

5.3 mL of ethanol were also obtained 25 grams of cellulosic material, with optimized conditions for (Montiel & Romero, 2015).

Furthermore it was obtained in the hydrolysis process 3.7 g sugars 25 g of lignocellulosic material.

**Keywords:** waste, rice husks, coffee husks, bioethanol



# CAPÍTULO I

## ASPECTOS GENERALES



## **1.1 INTRODUCCIÓN**

En la actualidad, la generación de residuos agroindustriales va en aumento, junto con la demanda de las cosechas, generando material biomásico lignocelulósico, que puede convertirse en materia prima potencial para la producción de bioetanol. Esta alternativa de utilizar residuos provenientes de la agroindustria ha surgido con el fin de proteger el medio ambiente evitando el efecto invernadero debido a la combustión de los productos fósiles quemados en los motores de los automóviles, emitiendo gases tales como CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, entre otros.

Las crecientes investigaciones sugieren preservar tanto los recursos renovables, como no renovables. Maximizar el uso de productos agrícolas y en especial los subproductos que estos generan al someterlos a distintos procesos, cuya disposición final es una problemática ambiental.

Dado que estos subproductos o residuos, en su mayoría corresponden a biomasa rica en polímeros de celulosa y hemicelulosa, en los cuales, pese a su dificultosa degradación es posible desdoblar los azúcares mediante procesos físicos, químicos o biológicos, para su posterior conversión a bioetanol.

El presente trabajo monográfico tiene como objetivo “caracterizar los residuos agroindustriales tales como cascarilla de arroz y cascarilla de café, para determinar su potencial como materias primas para la obtención de bioetanol”, con la finalidad de utilizarlo como aditivo a la gasolina para ser empleada como combustible en virtud de la protección ambiental.



## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo General**

- ✚ Caracterizar física y químicamente los residuos agroindustriales cascarilla de arroz y cascarilla de café, como materia prima potencial para la obtención de bioetanol, laboratorios de química UNAN-Managua I-II semestre 2016.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

1. Indagar las cantidades disponibles de residuos agroindustriales cascarilla de arroz y cascarilla de café, producidas por hectáreas en Nicaragua, para la posible producción de bioetanol.
2. Calcular el porcentaje de humedad, cenizas y extractivos totales de los residuos de cascarilla de arroz y cascarilla de café.
3. Cuantificar la composición química de celulosa, lignina y hemicelulosa, de los residuos agroindustriales cascarilla de arroz y cascarilla de café.
4. Obtener bioetanol a partir de cascarilla de arroz y cascarilla de café, mediante hidrólisis ácida y fermentación separada.



### **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los combustibles fósiles representan el 80.3% de la energía primaria consumida en el mundo y el 57.7% de esta cantidad es empleada en el sector transporte; por tanto, es posible pensar que los combustibles fósiles son responsables de la mayor emisión de contaminantes a la atmósfera.

En la actualidad la mayor problemática ambiental es causada por la emisión de estos gases de efecto invernadero, fenómeno que consiste en retener parte de la energía emitida por el suelo, calentada por la radiación solar, los cuales son el resultado de la acción humana, quema de combustibles fósiles, plantas generadoras de electricidad, fábricas de diversas índole y escapes de automóviles.

Por otra parte, se desconoce la cantidad de reserva petrolera. Dentro de ese marco, es claro que, si la explotación de petróleo continúa con la finalidad de transportar los vehículos, el movimiento de la industria y para la producción de plásticos el resultado de estas acciones sería una Antártida derretida.

Estudios científicos arrojan resultados acerca de las futuras emisiones de carbono procedentes de los combustibles fósiles en el casquete polar. Según esos resultados la Antártida perdería gran cantidad de hielo y en el peor de los eventos, todo. Un efecto negativo será la elevación de varios metros en el mar. (Criado, 2015)



## **1.4 JUSTIFICACIÓN**

De acuerdo con las resoluciones de diferentes organismos, con énfasis en la disminución del uso de petróleo y preservar el medio ambiente, surge la necesidad de utilizar los residuos agroindustriales, materia prima barata y además la ventaja de no afectar la producción de alimentos. En Nicaragua actualmente la mayoría de los residuos agroindustriales no tienen uso en procesos industriales.

Nicaragua no es productor de petróleo, pero es un importador del mismo, debido a su dependencia del transporte terrestre, marino y acuático, que contribuyen a la contaminación ambiental, sin embargo, al producir etanol y utilizarlo en una mezcla con gasolina el efecto contaminante sería menor que el producido por productos derivados del petróleo.

La sustitución de aditivos a la gasolina por etanol, contribuirá a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, al utilizar etanol implicará aumento de oxígeno y menor cantidad de aditivo requerido en la gasolina, al tener aumento de oxígeno permitirá una mejor oxidación de los hidrocarburos, lo que se traducirá en la reducción de monóxido de carbono y otros compuestos aromáticos dirigidos a la atmosfera.

Anualmente grandes cantidades de residuos agroindustriales son generados y acumulados anualmente en la naturaleza en forma sólida, ocasionando problemas de contaminación ambiental y pérdidas de fuentes potenciales de productos de alto valor agregado, por ende la importancia de este trabajo monográfico al utilizar residuos agroindustriales para transformarlo en etanol, materia barata y disponible.



## **1.5 ANTECEDENTES**

Los trabajos sobre caracterización realizados a los residuos agroindustriales en Nicaragua son limitados, otros países se han enfocado en la obtención de biocombustibles a partir de materias tales como madera, papel periódico, cáscaras de frutas y la fruta como tal, sin tomar en cuenta la seguridad alimentaria.

En 2009 Cárdenas Víctor & Rodríguez Érica, de la Universidad De La Salle Bogotá Colombia, en su tesis “**Evaluación de la producción de bioetanol a partir de la degradación de la cáscara de café**” encontraron que al emplear el método de hidrólisis acida simple diluida en 1.5 Kg de cáscara de café obtuvieron 250 ml de etanol ( Rodríguez & Cárdenas, 2009).

Así mismo en 2011 Renán Mario, Banegas Carlos, Maradiaga Hamsy, Osorio Melsar, Henríquez Nelson, Eloy Néstor, Mejía Nicolás de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras, en el estudio “**Producción de bioetanol a partir de la cáscara de café (Coffea arábica. L)**”, concluyeron que para obtener rendimientos satisfactorios de bioetanol influyen factores como: la altura, concentración de azúcar, beneficiado del café y métodos de inoculación empleados (Renan et, 2011).

Dos años más tarde, investigadores de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” Cuba; López Y., Medina C., Orozco J., trabajaron en “**Producción de etanol combustible a partir de materiales lignocelulósicos de la cáscara de arroz como materia prima potencial**”, concluyendo que la cáscara de arroz contiene potencial para utilizarse en la producción de bioetanol y además esta puede desempeñar un papel importante como base material de la industria química (López, Medina & Orozco, 2013)



En el mismo año Rodríguez Marcela, de la Universidad Austral De Chile, estudio **“Determinación de la composición química y propiedades físicas y químicas del pulido de arroz (*Oryza sativa L.*)”** obtuvo 8,19 % de ceniza; 10,80 % humedad; 9,14 % de extractivos totales; 12,09 % proteína y 15,68 % lípidos.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO



---

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 GENERALIDADES DE LOS RESIDUOS AGROINDUSTRIALES**

#### **2.1.1 Definición.**

Los residuos agroindustriales son las partes derivadas de los cultivos, que no son destinados al consumo humano, dentro esta categoría se incluyen materiales como tallos, hojas, cáscaras, semillas, etc., que provienen de cereales, frutas, legumbres entre otras. (Singh nee' Nigam P y A. Pandey, 2009).

Estos remanentes son producidos en millones de toneladas alrededor del mundo y representan una abundante fuente de biomasa lignocelulósica, barata y de fácil acceso. De estas enormes cantidades de residuos agroindustriales, solamente una pequeña cantidad es empleada como alimento animal, combustible para hogares y una mayor porción es quemada en los campos creando un problema de contaminación ambiental. (Kalia S. et al., 2011).

#### **2.1.2 Origen de los residuos agroindustriales**

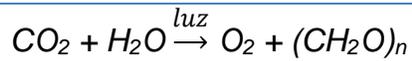
El termino residuo agroindustrial hace referencia a la materia orgánica que se produce en las plantas verdes a través del proceso de fotosíntesis, así como la originada en los procesos de transformación.

De forma natural en la fotosíntesis, las plantas verdes transforman productos minerales, como son el dióxido de carbono y el agua, en sustancias orgánicas y oxígeno por acción de la radiación solar. La materia orgánica obtenida posee un alto valor energético asociado a su estructura interna y se denomina biomasa vegetal.



En dicho proceso, la energía contenida en la radiación solar se transforma en energía química, siendo el esquema básico y general de la reacción el que se indica a continuación:

**Reacción (2.1)**



El proceso de generación de biomasa a partir de la energía solar es muy bajo, entre el 3 y 5%, sin embargo, a pesar del bajo rendimiento, la cantidad de las plantas terrestres y acuáticas repartidas por toda tierra, junto con la de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera y la radiación solar que llega a estas plantas, permiten una producción anual de biomasa vegetal  $1,7 \times 10^{11}$  toneladas, con un contenido energético cercano a  $3 \times 10^{21} \text{J}$ .

Estas cifras, enmarcadas en el panorama energético mundial, justifican el interés por la biomasa como fuente de energía primaria, no perdiendo de vista el hecho de que se trata de una fuente de energía renovable. (M. Castro Gil, C. Sanchez Naranjo, 2007)

### **2.1.3 Clasificación de los residuos**

La gran cantidad de residuos que se originan en los diferentes procesos que operan con biomasa primaria. Dependiendo de los sectores, y sobre todo del proceso en sí, la composición y cantidad de los residuos es muy distinta, llegando a ocurrir que en algunos casos pueden reutilizarse en el proceso que los ha generado.

#### **2.1.3.1 Residuos urbanos**

Se califican como residuos urbanos aquellos residuos generados en los domicilios particulares, así como los que por su naturaleza o composición son similares a estos.

Estos residuos son los que se generan en mayor abundancia. Los residuos urbanos, por lo general, no revisten ninguna peligrosidad, aunque también se generan en pequeñas cantidades algunos que, por sus características, pueden ser considerados como residuos peligrosos.



### **2.1.3.2 Residuos industriales**

Es cualquier objeto o sustancia sólida, líquida o pastosa resultante de las actividades industriales, esto es, de procesos de fabricación, transformación, utilización, consumo, limpieza o de mantenimiento asociados a la actividad industrial, que por su naturaleza o composición no pueda asimilarse a los residuos domésticos.

También tienen la consideración de residuos industriales los que se puedan generar como consecuencia de derrames accidentales, del cierre de actividades o del desmantelamiento de instalaciones industriales.

Su tipología y composición es muy variada pues dependerá del proceso productivo, de la naturaleza y composición de las materias primas o de los productos intermedios, de las propiedades físicas y químicas de las materias auxiliares empleadas y de los combustibles utilizados, entre otros factores.

### **2.1.3.3 Residuos comerciales**

Son los residuos generados por la actividad propia del comercio, al por mayor y al por menor, de los servicios de restauración, bares, cafeterías, hostelería, oficinas, mercados, así como del resto del sector servicios. Son esencialmente residuos de envases y embalajes, flejes, excedentes de mercancía sin valor económico, productos defectuosos, productos caducados, así como algunos tipos de residuos procedentes de centros sanitarios y veterinarios.

### **2.1.3.4 Residuos agrícolas**

Se obtiene de la planta cultivada al separar la parte que se va utilizar como alimento o como materia prima en la industria. No todo el residuo de la planta tiene valor desde el punto de vista energético, como ocurre con las raíces o con la parte que se destina para la ganadería. Este tipo de residuos se caracteriza por una marcada estacionalidad, tanto por razón del momento de su producción como por la necesidad de retirarlos del campo en el menor tiempo posible para no interferir en otras tareas agrícolas o forestales y evitar la propagación de plagas e incendios.

---



Actualmente, algunos de estos residuos son utilizados como alimentos para animales, abonos para las plantas, o como materia prima en la fabricación y obtención de diversas sustancias industriales con un amplio campo de aplicaciones. De todas las actividades asociadas a dichos usos, no es posible aprovechar el 100% de los residuos, causando serios problemas de contaminación ambiental. (M. Castro Gil, C. Sanchez Naranjo, 2007)

## 2.2 Biocombustibles

De acuerdo a la (IEA, 2012), los biocombustibles son aquellos combustibles que contienen cierta energía que guardan o almacenan, derivada de la biomasa. Estos se pueden clasificar según la materia y proceso utilizado como: biocombustibles de primera generación, biocombustibles de segunda generación, biocombustibles de tercera generación y biocombustibles de cuarta generación.

**2.2.1 Biocombustibles de primera generación:** Son aquellos que proceden de cultivos alimenticios principalmente caña de azúcar y maíz, obtenidos a partir del contenido de azúcares (sacarosa) o almidón presente en sus materias primas de origen, estos ya cuentan con tecnologías desarrolladas y establecidas; ya se producen a nivel comercial, se importan y exportan mundialmente a como se observa en la figura 2.1.

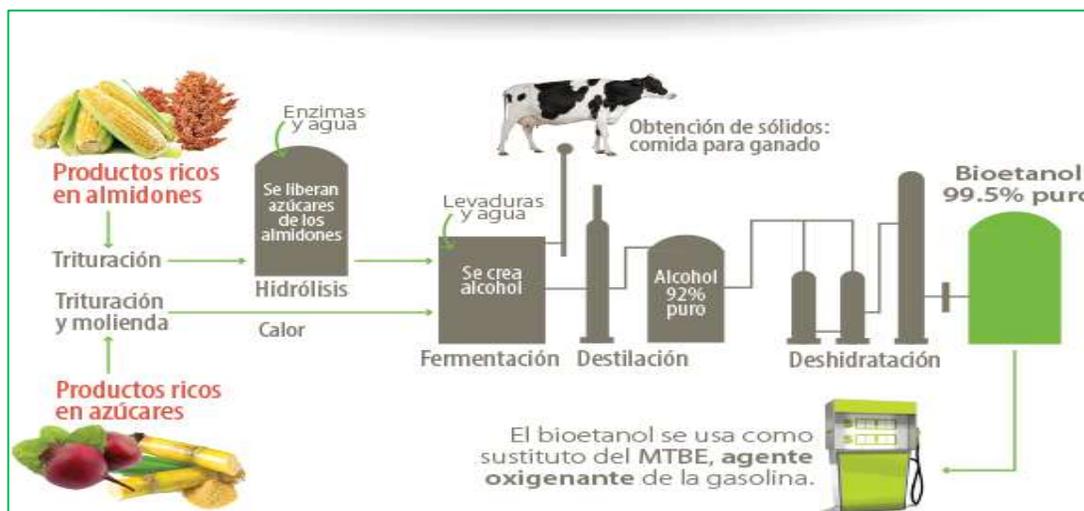


Figura 2.1 Producción de Bioetanol de primera generación (Laboratory & NREL, 2008).



**2.2.2 Biocombustibles de segunda generación:** Estos son generados a partir de biomasa lignocelulósica con alto contenido de celulosa presente en residuos agropecuarios, agrícolas, forestales o pastos principalmente, como tallos, raíces, cáscaras, hojas, maderas, ya sea originados de procesos de recolección, poda o manufactura de diversas actividades agrícolas e industriales.

**2.2.3 Biocombustibles de tercera generación:** Son los elaborados a partir de cultivos energéticos establecidos en áreas específicas para la producción de bioenergéticos, son de crecimiento rápido en suelos marginales; son baratos de producir y con una alta densidad energética; por ejemplo, la jatropha o higuierilla para biodiesel, o el sorgo dulce para el bioetanol.

**2.2.4 Biocombustibles de cuarta generación:** Son cultivos que utilizan técnicas biotecnológicas y de modificación genética (Sandoval, 2010).

La generación de los biocombustibles líquidos ha ido en aumento, a pesar de que la mayoría de la demanda se realiza con productos alimenticios, pero este es el tipo de biocombustible que más auge y solicitud tiene; es el que cuenta con más tecnologías de producción a nivel industrial en el mundo.

Los biocombustibles líquidos se utilizan principalmente en los transportes, como sustitución de oxigenantes o en combinación con gasolina para la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, principalmente (Hernan, 2007). En la actualidad, aproximadamente el 85 % de la producción mundial de biocombustibles líquidos tiene como representante a el bioetanol. Los principales productores de bioetanol son Brasil y Estados Unidos de América, los cuales aportan casi el 90 % de la producción mundial (Sandoval, 2010).



---

## **2.3 Bioetanol**

El bioetanol es un producto químico obtenido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en los productos vegetales. Estos azúcares están combinados en forma de sacarosa, almidón, hemicelulosa y celulosa (Ballesteros, 2012).

El bioetanol tiene las mismas características y composición química que el etanol ya que se trata del mismo compuesto. La diferencia radica en su proceso de producción. El bioetanol ha de ser obtenido desde biomasa, no pudiendo obtenerse del petróleo. Los licores alcohólicos que se originan de la fermentación del azúcar contenidos en algunas fibras o sustratos de plantas se denominan como bioetanol (Waltz, 2013).

El bioetanol puede ser empleado directamente como combustible o como un añadido a la gasolina en distintas concentraciones. La mezcla más común es para oxigenar a la gasolina, en una concentración de alrededor de 5%, remplazando a un oxigenante llamado éter metil tert-butílico (MTBE), que es altamente contaminante del suelo y del agua subterránea (Kristensen, Thygesen, & Tadeus, 2010).

También se usa en otras concentraciones que van del 10% al 85% del volumen total de la gasolina, pero en esos casos los vehículos deben contar con modificaciones especiales (vehículos Flex Fuel), debido a que el etanol puede corroer algunas partes metálicas de los sistemas de inyección en el vehículo.

Este biocombustible contiene un alto número de octano (mayor octanaje), amplio rango en los límites de inflamabilidad, alta velocidad de llama y elevado calor de vaporización. Estas propiedades permiten una mayor relación de compresión y menor tiempo de combustión, lo cual es ventajoso desde el punto de vista de la eficiencia teórica en comparación con la gasolina en motores de combustión interna (Balat, 2008).

No obstante, presenta algunas desventajas como son: inferior densidad energética y presión de vapor que la gasolina, acción corrosiva, baja luminosidad de llama y miscibilidad en agua (MacLean & Lave, 2003).



Actualmente, el bioetanol es el biocombustible con mayor producción mundial. Para su fabricación se utiliza una gran cantidad de materias primas como los materiales lignocelulósicos que ofrecen un mayor potencial para la producción de mismo, el proceso de obtención es el mismo que para el de primera generación, pero a diferencia de este, para el de segunda generación se parte de la degradación de celulosa presente en la cortezas o fibras de la biomasa vegetal.

La cual se deriva como residuos en los procesos productivos de los sectores agrícola, forestal e industrial y el bioetanol generado de estos subproductos, se denomina etanol lignocelulósico o de segunda generación. En la figura 2.2 se representa la producción de etanol a partir de biomasa lignocelulósica.

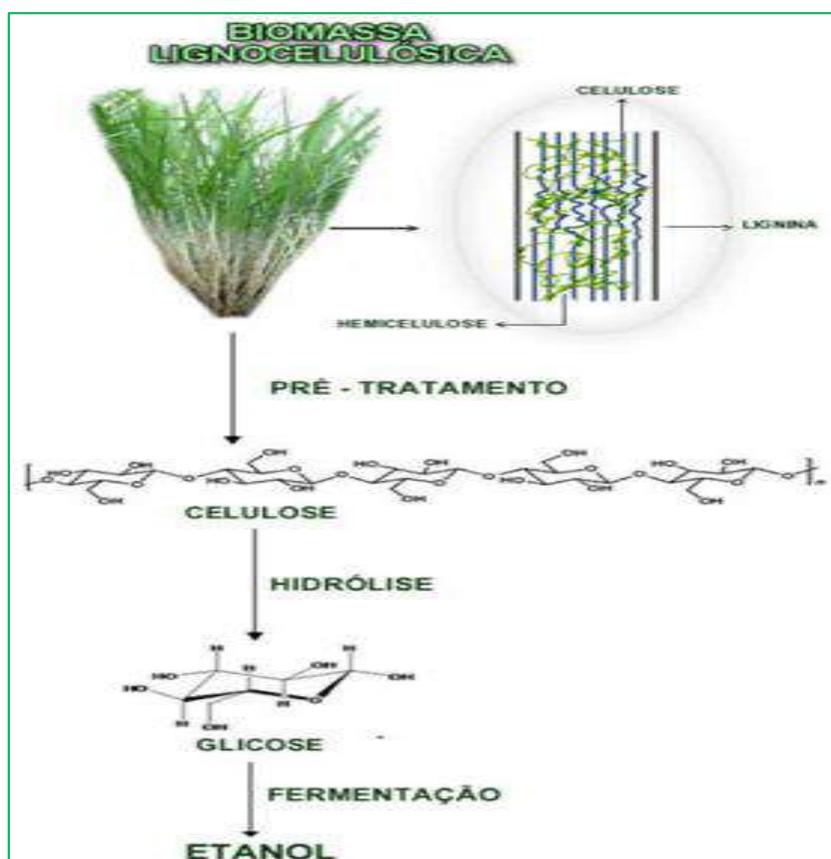


Figura 2.2 Representación esquemática de producción de etanol a partir de biomasa lignocelulósica (Otero, 2008).



---

## **2.4 Lignocelulosa y sus componentes: celulosa, hemicelulosa y lignina**

La lignocelulosa es un polímero muy abundante en la tierra, se encuentra de manera natural en muchas regiones del mundo y representa casi la mitad de la biomasa total, está presente en mucha de la biomasa residual de actividades agrícolas, industriales y forestales, es también el componente principal de las plantas; por lo que se tiene un soporte amplio para su utilización como base para la degradación de sus componentes y la obtención del sustrato base denominado celulosa para la generación de etanol lignocelulósico.

El material lignocelulósico está constituido esencialmente de tres materiales: celulosa, hemicelulosa y lignina, estos son monómeros degradables de la materia prima principal, los cuales están asociados unos con otros mediante enlaces llamados fuerzas de Van der Waals y puentes de hidrógeno (Ragauskas, 2006).

### **2.4.1 Celulosa**

Está formada por subunidades de D-glucosa, unidas por enlaces  $\beta$ -1,4 glucosídicos, que se estructuran en largas cadenas lineales altamente estructuradas; esta posee dos estructuras, una cristalina organizada y otra externa un poco amorfa (Laureano-Pérez et al., 2005).

Estas estructuras forman enlaces agrupados los cuales se unen y forman las llamadas microfibrillas de celulosa, que se estructuran en largas cadenas lineales, unidas por puentes de hidrógeno y fuerzas de Van der Waals intermoleculares, lo que la hace a su estructura de difícil degradación frente a la hidrólisis; así como también difícil descomposición de su región amorfa por actividad enzimática (Pérez & et al., 2005).

### **2.4.2 Hemicelulosa**

Es una estructura de hidrato de carbono complejo que se compone de diferentes polímeros como pentosas (como xilosa y arabinosa), hexosas (como manosa, glucosa y galactosa), y ácidos de azúcar (urónicos). Sus azúcares están unidos por enlaces  $\beta$ -1,4 y algunas veces  $\beta$ -1,3 por medio de cadenas laterales cortas. (Laureano-Pérez et al., 2005).



### 2.4.3 Lignina

Heteropolímero amorfo que consta de tres diferentes unidades de fenilpropano (p-hidroxiben, aldehído, siringal), unidos por diferentes enlaces, está presente en la pared celular de las plantas para dar soporte estructural a la planta, impermeabilidad, resistencia y dureza contra ataques microbianos o ante estrés oxidativo.

Es el segundo polímero más abundante en la superficie terrestre después de la celulosa, no es soluble en agua y ópticamente inactivo; esto hace que la degradación de la lignina sea muy complicada (Fengel y Wegener, 1984). En la figura 2.3 se presenta la composición usual del material lignocelulósico.

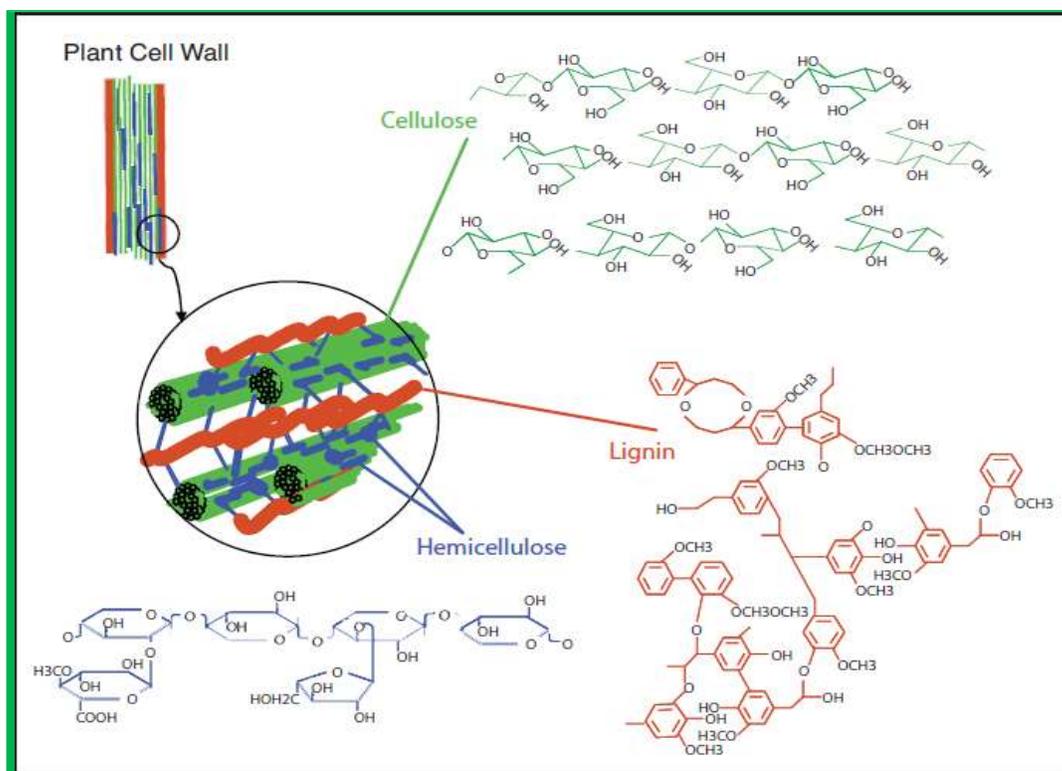


Figura 2.3 Composición de un material lignocelulósico (Hermoso, García, Polaine, Topakas, 2007).



---

## **2.5 Pretratamientos del material lignocelulósico**

Debido a la composición del material lignocelulósico y la presencia de lignina en el conjunto de estructuras entre los enlaces hemicelulosa-celulosa, se limita la degradación a sus monómeros más simples; por esto es necesario aplicar ciertos tratamientos a la materia prima para la remoción de la lignina y facilitar la penetración a sus estructuras más sencillas como la celulosa, la cual es la base para etapas posteriores en la generación de biocombustibles, ya que de ésta obtenemos glucosa; esto lo podemos lograr por varios tratamientos: mecánico, térmico, químico (Galbe, M., & Zacchi, G, 2007).

En el tratamiento mecánico, se somete el material lignocelulósico a un proceso de molienda para lograr la reducción del tamaño de partícula y la cristalinidad; aumentando el área de la superficie de hidrólisis, logrando una reducción del grado de polimerización, facilitando el aumento en la velocidad del tratamiento de hidrólisis debido a que se reduce el tiempo de digestión en un rango de un 23 a 59 %; pero en función al rendimiento total de la etapa de hidrólisis solo se logra de un 5 a 25% de rendimiento; dependiendo de la biomasa a utilizar, y el tiempo de molienda empleada para la reducción del tamaño de partícula.

En este método físico, no se producen inhibidores de fermentación como furfural y HMF (hidroximetilfurfural), sin embargo se utiliza un alto consumo energético, además de que en la mayoría de los sustratos biomásicos no se produce la degradación de los componentes requeridos; por lo que su viabilidad económica queda poco factible como pretratamiento (Sugimoto, T., Magara, K., & Hosoya, S., 2008).

En el pretratamiento térmico, la biomasa se calienta. Si la temperatura aumenta por encima de 150-180 °C, parte de la hemicelulosa y poco después la lignina, comenzarán a solubilizarse dejando a la celulosa más expuesta para ser hidrolizada. La composición estructural de la hemicelulosa y los grupos de ramificación determinan la estabilidad térmica, el ácido y la alcalinidad de la hemicelulosa.

---



Pasando los 180 °C se produce una reacción exotérmica, se da una solubilización de la hemicelulosa favoreciendo la formación de ácidos que pueden catalizar a la hidrólisis. A temperaturas superiores de 160 °C, se causa la solubilización de la lignina, la desventaja son los compuestos producidos fenólicos y heterocíclicos como la vanilina, etil vanilina, furfural y HMF (hidroximetilfurfural), en medios ácidos, los cuales tienen un efecto inhibitorio o tóxicos sobre las bacterias y la levadura utilizadas para etapas posteriores, como el caso de la hidrólisis (Yu, Z., & Zhang, H, 2007).

También se utilizan tratamientos ácidos y alcalinos, los cuales promueven de la misma forma, la solubilización de la lignina y principalmente la hemicelulosa, teniendo como mismo propósito el del tratamiento térmico.

En ocasiones se puede optar por tratamientos oxidativos, con la adición de agentes oxidantes como ácido peracético, peróxido de hidrógeno u ozono, con el objetivo de afectar la lignina, hemicelulosa y promover la accesibilidad a la celulosa para su hidrólisis. A excepción de los tratamientos mecánicos, los tratamientos químicos (ácidos, álcalis u oxidación) se pueden combinar con los térmicos para poder aumentar la susceptibilidad de la celulosa a la hidrólisis (Hendriks, 2009).

Para poder procesar adecuadamente los materiales lignocelulósicos es necesario someterlos a diversos pretratamientos, para poder favorecer la hidrólisis de la celulosa para generar azúcares fermentables.

La lignocelulosa es altamente resistente a la hidrólisis, ya que el conjunto de celulosa, hemicelulosa y lignina, están unidos entre sí por enlaces covalentes, diversos puentes intermoleculares y fuerzas de van der Waals (Kumar, S., Gupta, L. Y., & Gupta, R. B, 2010) .



A continuación en la tabla 2.1 se enlistan algunos parámetros y características de los pretratamientos comúnmente utilizados para materiales lignocelulósicos

**Tabla 2.1 Pretratamientos para material lignocelulósico**

Parámetro	Agente y Parámetro	Características (Ventajas y Desventajas)
Ácido diluido	<p>Ácido sulfúrico, clorhídrico, fórmico, nítrico, fosfórico a bajas concentraciones (0.5 – 5 %), con aplicación de calor (150-250 °C). A diversos tiempos y presión dependiendo de la cantidad de biomasa a degradar y de las características fisicoquímicas de la misma (composición).</p>	<p>La biomasa (materia prima), se pone en contacto con los catalizadores ácidos para lograr hidrolizar la hemicelulosa en xilosa, glucosa y otras pentosas; para mejorar una posterior hidrólisis de celulosa.</p> <p>Equipos caros y resistentes a corrosión, degradación y pérdida de azúcares, además de formación de inhibidores de fermentación.</p>
Ácido concentrado	<p>Ácido sulfúrico, clorhídrico, fórmico, nítrico, fosfórico a altas concentraciones (30 – 60 %), con aplicación de calor (100 – 150 °C). A diversos tiempos y presión dependiendo de la cantidad de biomasa a degradar y de las características fisicoquímicas de la misma (composición).</p>	<p>Se permite la hidrólisis de celulosa y hemicelulosa, además de poder disminuir la temperatura del proceso y gastar menos energía, para lograr una reducción en la degradación de azúcares.</p> <p>Mismas desventajas que los ácidos diluidos; así como costos extras por la disposición del catalizador químico y su recuperación y disposición.</p>
Hidrólisis alcalina	<p>Hidróxido de sodio diluido a bajas temperaturas (50 - 100 °C) por tiempos prolongados (12-24 horas).</p>	<p>Dependiendo de la composición de biomasa seleccionada, del contenido de lignina y su estructura, ya que se presenta saponificación de ésteres intermoleculares que unen a la hemicelulosa con los otros componentes.</p>



Explosión de vapor (steam explosión)	Utilización de vapor sobrecalentado (160-260 °C) a altas presiones (5-10 bares) con descompresión rápida y baños de ácidos a tiempos cortos de permanencia (5 a 30 minutos).	Por medio de la despresurización del vapor, este causa rompimiento de la matriz celular, al abrir las fibras y permitir una mejor hidrólisis parcial o total de la hemicelulosa.  Equipos costosos, se requiere de una etapa de lavado posterior, donde se pueden perder azúcares y existe una posible formación de inhibidores de fermentación.
Explosión con CO <sub>2</sub>	Se dispone el material biomásico en contacto con CO <sub>2</sub> (4 Kg de CO <sub>2</sub> /Kg de material seco), a una presión de entre 5 - 6 Mpa.	Rendimientos relativamente bajos, comparados con la explosión por vapor.
Solventes Orgánicos	Utilización de solventes orgánicos como el etanol y su mezcla con muy bajos porcentajes (1%) de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> y HCl.	Permite el fraccionamiento y extracción de la lignina, se incrementan rendimientos de hidrólisis en etapa posterior.  Costo adicional por los solventes orgánicos y porque se requieren recuperarlos y disponerlos. Formación de inhibidores de fermentación. No hidroliza la hemicelulosa.

Fuente: (Morales, 2015)

Durante la etapa de pretratamiento la matriz celular del material lignocelulósico se rompe liberando celulosa y hemicelulosa. Adicionalmente, la cristalinidad de la celulosa disminuye, haciéndola más susceptible a un ataque químico o enzimático posterior. El fin de someter a pretratamientos a la materia biomásica es facilitar la hidrólisis principalmente de la celulosa ya que la conformación natural, llamada cristalina, es muy resistente a la hidrólisis.



Los pretratamientos promueven la generación de regiones amorfas en la celulosa las cuales son más susceptibles a la hidrólisis posterior, ya sea química o enzimática (Taherzadeh, M., & Karimi, K, 2008).

En la figura 2.4 se muestra el efecto de los diversos tratamientos aplicados a la materia lignocelulósica.

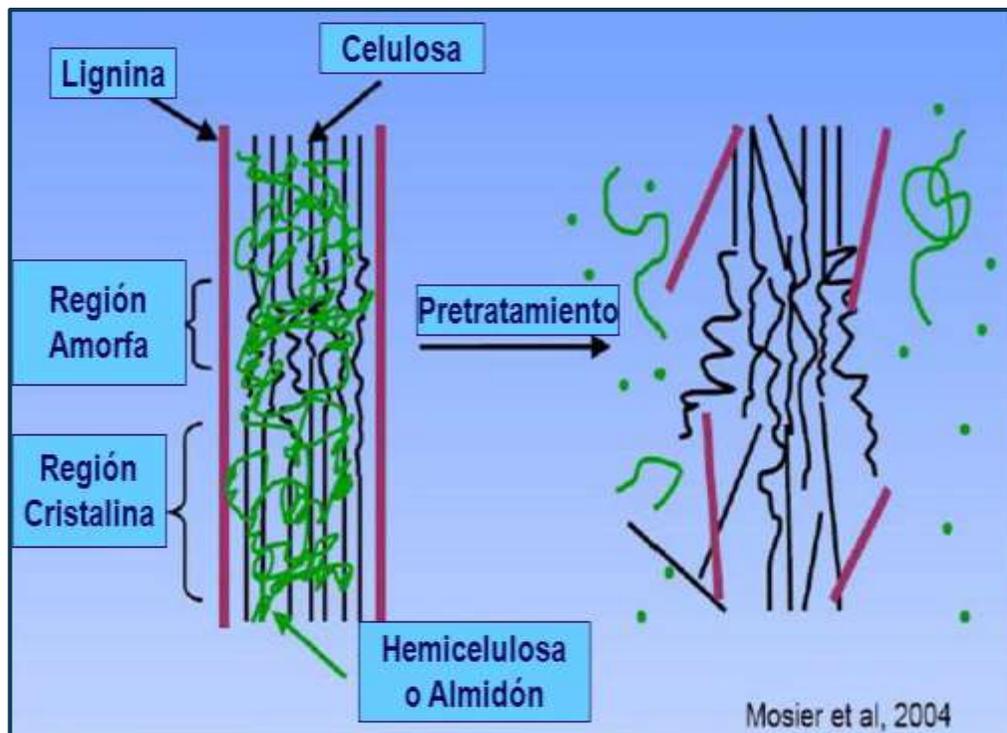


Figura 2.4 Mecanismo general de acción de los diversos pretratamientos para materiales lignocelulósicos (Mosier et al, 2004).

El pretratamiento de la materia prima debe cumplir con los siguientes requerimientos para garantizar altos rendimientos en la producción de azúcares:

- Aumentar la producción de azúcares o incrementar la formación de estos azúcares a través de un proceso de hidrólisis ácida o enzimática.
- Evitar la degradación o pérdidas de carbohidratos.
- Evitar la formación de subproductos que puedan convertirse en agentes inhibidores de los microorganismos fermentadores (Thompson, D, 2002)



---

Un pretratamiento ideal reduce el contenido de lignina y disminuye la cristalinidad de la celulosa. El pretratamiento permite que los rendimientos en la hidrólisis de celulosa aumenten de menos del 20% de los rendimientos teóricos a valores mayores al 90%. También el proceso debe ser económicamente rentable y ambientalmente seguro (Yu, Z., & Zhang, H, 2007).

## **2.6 Hidrólisis ácida**

La hidrólisis es un proceso químico que mediante el empleo de catalizadores ácidos, transforma las cadenas de polisacáridos que forman la biomasa (hemicelulosa, celulosa y lignina) en sus monómeros más simples, con el objetivo de obtener una solución rica en azúcares simples y luego fermentar; esto se logra través de la conversión del material lignocelulósico en diversos azúcares monoméricos como la xilosa, glucosa, arabinosa, etc.; por vía química (ácidos o álcalis), o por enzimática (enzimas celulasas) (Rodríguez-Chong, A., Ramírez, J. A., Garrote, G., & Vázquez, M, 2004).

Este proceso se basa en la adición de diversos ácidos a variadas concentraciones, de acuerdo a la cantidad de biomasa lignocelulósica que se tenga, para lograr el rompimiento de las estructuras y los enlaces, facilitando la cristalinidad de la celulosa para la obtención de los azúcares fermentables.

## **2.7 Fermentación del hidrolizado**

En esta etapa, tres factores preponderantes han de ser considerados para garantizar la obtención de altos rendimientos de producto y estos son: sustrato, condiciones de operación y microorganismo fermentador.

Los azúcares monoméricos y fermentables generados por la hidrólisis, ya sea por vía química o enzimática, proceden a ser metabolizados por microorganismos, que produzcan etanol partiendo de una alta cantidad de azúcares asimilables que son liberados de los componentes principales del polisacárido (Celulosa y Hemicelulosa) convirtiéndose en el sustrato que ha de consumir el microorganismo fermentador (Wen, H., Ben-Li, P., Ching-Tsung, Y., & Wen-Song, H, 2011).



El hidrolizado está compuesto principalmente por pentosas (en mayor medida xilosa) y por hexosas (en mayor medida glucosa); la cual será convertida a etanol por microorganismos ya sean bacterias, levaduras y hongos mediante la glucólisis.

Estos pueden ser usados para la fermentación especialmente la cepa de la levadura *Saccharomyces Cerevisiae*, es el más ampliamente utilizado debido a la capacidad de convertir rápidamente los azúcares reductores a etanol y que presentan una alta tolerancia al etanol (más de 80 g/l), elevada osmotolerancia y altas temperaturas.

Las bacterias como la *Z. mobilis*, presentan ciertas características favorables a la producción de etanol con gran velocidad de crecimiento y alta concentración específica de etanol y azúcares, sin embargo, solo usa como fuente de carbono a la glucosa, fructosa y sacarosa; también utiliza un amplio rango de sustratos en medios anaerobios y fermenta hexosas, di y tri sacáridos con enlace alfa y varios tipos de alcoholes de azúcares (Liu, X., Jiang, N., He, P., Lu, D., & Shen, A, 2005).

Las condiciones de operación son de mucha importancia ya que aseguran la reproducción del microorganismo de forma más eficiente. Los factores importantes en esta parte del proceso son temperatura, medio de fermentación, pH y velocidad de agitación. La fermentación se realiza en condiciones anaeróbicas (sin presencia de oxígeno, debido a que las condiciones de aireación producen un efecto inhibitorio sobre el consumo de sustrato y el crecimiento microbiano.

En intervalos de tiempo y dependiendo de la velocidad de fermentación se produce  $\text{CO}_2$ , el cual se debe ir eliminando, por lo regular las fermentaciones se llevan a temperaturas de entre 25 a 40 °C; dependiendo del organismo utilizado para llevar a cabo el proceso de fermentación (Pandey, A., Larroche, C., Soccol, C. R., & Dussap, C. G., 2008).

En la fermentación por levaduras la ruta productora es la glucólisis a través de la cual una molécula de glucosa es metabolizada y dos moléculas de piruvato son producidas. Bajo condiciones anaerobias, el piruvato es posteriormente reducido a etanol con emisiones de  $\text{CO}_2$ .

---



---

En la glucólisis se producen dos moléculas de ATP los cuales son empleados para llevar a cabo la biosíntesis de las células de la levadura lo cual involucra una variedad de bioreacciones que requieren cierta cantidad de energía, algunos subproductos de la ruta son el glicerol (Song, H., Morgan, J., & Ramkrishna, D., 2009).

La recuperación de etanol producido mediante diferentes configuraciones tecnológicas y diferentes tipos de materia primas se lleva a cabo de forma similar a través de procesos de destilación y recuperación del etanol final. El contenido de etanol en el caldo de cultivo resultante de la fermentación es de alrededor 10% (en peso). Parte de la concentración del etanol presente en el caldo de cultivo glucosado, ésta se efectúa en una columna de destilación convencional y se obtiene un alcohol concentrado al 50% aproximadamente.

El siguiente paso es la rectificación de la corriente concentrada hasta una composición de etanol cercana a la azeotrópica. La deshidratación del etanol a partir de su concentración azeotrópica puede efectuarse con métodos, como la destilación con variación de presión, destilación adsortiva, destilación extractiva y pervaporación (Gupte, A., & Madamwar, D., 1997).

En el caso biotecnológico y agroindustrial de producción de etanol celulósico, se busca que microorganismos (principalmente levaduras y bacterias) nativos o genéticamente modificados permitan a través de sus rutas metabólicas convertir los diferentes sustratos asimilables en etanol y su rendimiento final.

En relación a la inhibición por producto (etanol generado) afecta el desempeño de los microorganismos fermentadores causando inhibición en el crecimiento microbiano y la reducción en el rendimiento producto/sustrato.



## 2.8 Generalidades del arroz

En la tabla 2.2 se presenta el nombre científico del arroz.

**Tabla 2.2 Nombre Científico de Arroz**

<b>Nombre científico:</b>	Oryzasatival
<b>Familia:</b>	Gramíneas

Fuente: INTA 2016

### 2.8.1 Descripción general

El arroz es una gramínea anual, de tallos redondos y huecos compuestos por nudos y entrenudos, hojas de lámina plana unidas al tallo por la vaina y su inflorescencia es una panícula. Se cultiva en todo el territorio nacional en alturas entre 0 a 800 m.s.n.m y presenta un crecimiento óptimo a temperaturas de 25-30 °C, siendo la máxima hasta 40 °C.

En Nicaragua, el arroz es uno de los cultivos más importantes dentro del sector agropecuario nacional y al mismo tiempo uno de los principales alimentos en la dieta de los nicaragüenses con un consumo per cápita de 123 lb/año con tendencia a incrementarse, el sector arrocero produce 5.1 millones de quintales esto equivale a 70 % de consumo nacional.

A nivel nacional se siembra 59 mil mz arroz de riego (Granada, Matagalpa y Managua) y 41 mil arroz seco (RAAN, Rivas y Chinandega). De las 62 mil 500 mz de granos básicos con riego, el arroz de riego representa el 95 %. De los 24 mil 442 productores de arroz a nivel nacional el 92 % son productores de seco. Actualmente los índices de rendimientos nacionales en el arroz de riego son de 75 qq/mz de Arroz Seco y limpio, superior a los 26-32 qq/mz de Arroz Seco y limpio que se obtienen en los sistemas de producción de arroz de seco donde la única fuente de agua es la lluvia.



## **2.8.2 Métodos de siembra**

### **2.8.2.1 Secado no tecnificado**

Departamentos de Matagalpa, Jinotega, Boaco, Chontales, Río San Juan y Nueva Segovia. Se prepara la tierra con bueyes y se utiliza mano de obra familiar para el resto de las labores. La cosecha es manual y la semilla se selecciona en la finca de forma artesanal. En RAAS y RAAN la siembra es manual. ((INTA), 2010)

### **2.8.2.2 Secado tecnificado**

Nueva Segovia, Chinandega. Rivas Granada, Río San Juan y Boaco la siembra de arroz de secano tecnificado se caracteriza por la utilización de maquinaria, para la preparación de tierras y la cosecha. Es un sistema intensivo en mano de obra e insumos agrícolas. ((INTA), 2010)

### **2.8.2.3 Sistema de siembra bajo riego**

Malacatoya, Sébaco, Río San Juan, Chinandega, León, Nandaime, Boaco y Chontales. Cultivan el arroz bajo riego con maquinaria y avión, algunos productores poseen equipos para el secado de la granza y trillos. ((INTA), 2010)

## **2.8.3 Plagas del suelo y la raíz**

### **2.8.3.1 La gallina ciega**

Es muy dañina, se controla antes de la siembra con la preparación del suelo, el arado la saca a la superficie, mueren por el sol y las aves se las comen. También se pueden recolectar manualmente.

### **2.8.3.2 El grillotopo de la raíz y el coralillo**

Se previenen los daños aumentando la cantidad de semilla de siembra y eliminando los residuos de cosecha y malezas.



## **2.8.4 Plagas del follaje**

### **2.8.4.1 La novia del arroz**

Es un gusano barrenador que se mete dentro del tallo donde se alimenta. La presencia de masas de huevos son signos de la plaga en el futuro.

### **2.8.4.2 La sogata**

Afecta las hojas y tallos tiernos en los primeros 30 días. Transmite la enfermedad conocida como hoja blanca.

## **2.8.5 Enfermedades**

### **2.8.5.1 La piricularia**

Es una enfermedad que se presenta en el follaje del arroz, es producida por hongo y afecta a la planta en cualquier etapa. Se puede controlar con variedades resistentes y controles químicos.

### **2.8.5.2 El manchado del grano**

Es otra enfermedad del arroz producida por bacteria y hongo. Se previene con fungicidas y bactericidas antes y durante la floración.

### **2.8.5.3 La hoja blanca**

Se previene controlando las poblaciones de sogata y con el uso de variedades resistentes.

Las enfermedades se previenen con variedades de plantas resistentes, controlando los insectos que las transmiten, con un buen control de malezas, fertilización adecuada, uso de semillas sanas y control químico con productos autorizados. (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA, 2014)



## 2.9 Producción Mundial de Arroz ciclo agrícola 2015/2016.

Según estadísticas promulgadas por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), la Producción Mundial de Arroz 2015/2016 fue de 478 mil 65 millones de toneladas. En la siguiente tabla se muestran los mayores productores de arroz a nivel mundial.

**Tabla 2.3** Principales países productores de arroz a nivel mundial en el ciclo agrícola 2015/2016

Principales países productores de arroz a nivel mundial en el ciclo agrícola 2015/2016				
China	India	Indonesia	Bangladesh	Tailandia
146,000,000	104,000,000	36,650,000	35,000,000	18,000,000

Fuente: Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA)

### 2.9.1 Producción de arroz en Nicaragua

La producción de arroz en Nicaragua, correspondiente al ciclo agrícola 2015/2016 según la Asociación Nicaragüense de Arroceros (ANAR) ascendió de 5.20 millones de quintales oro (entre riego y seco) de los cuales el 20% corresponde a cáscara, es decir 1.04 millones de quintales de residuo.

## 2.10 Cascarilla de Arroz

La cascarilla de arroz es un subproducto de la industria molinera, que resulta de la separación del grano de arroz de los residuos, está es un sustrato orgánico de baja tasa de descomposición, liviano, buen drenaje, buena aireación. El principal inconveniente que presenta la cascarilla de arroz es su baja capacidad de retención de humedad y lo difícil que es lograr el reparto homogéneo de la misma (humectabilidad).

La cascarilla de arroz, por sus características, presenta un 10% de humedad aproximadamente, aunque esta varía dependiendo de las zonas.



Además es una buena fuente energética para todas las especies, y sobre todo para rumiantes, dado su alto contenido en grasa (12-15%), su apreciable contenido de almidón (23-28%), bajo grado de lignificación (2,5 %) y fracción fibrosa (17.5 %). Tiene también un notable contenido en proteína, con una composición en aminoácidos esenciales relativamente equilibrada. Su contenido en fósforo es bastante alto (1.35%) pero en su mayor parte (90%) está en forma de filatos. (Arévalo, 2009)

### **2.10.1 Usos de la cascarilla de arroz**

Según las variedades, el porcentaje de cascarilla extraída por descascarilladoras de rodillos varía aproximadamente del 15 al 20%. Pueden utilizarse en un cierto número de aplicaciones, para las cuales se acostumbra a tener más en cuenta el aspecto económico que el técnico. (Angladette, 1969)

#### **2.10.1.1 Utilización como combustible**

La composición de las cascarilla varía según las variedades de arroz, esta contiene del 17 al 20% de cenizas de cascarilla seca; su poder calorífico se establece en unas 3.3 a 3.6 calorías/kg; arde a los 800-1000 grados, pero con el inconveniente de dejar mucho residuo de cenizas, parte del cual no ha experimentado la combustión completa, como demuestra un análisis de las cenizas negras en la que se encuentra de un 12 a un 40% de residuo sólido por consumir; las cenizas grises o rosáceas están totalmente consumidas.

La cascarilla puede servir de combustible en las máquinas de vapor fijas o semifijas, destinadas a la mecanización de las instalaciones arroceras; su alto contenido en cenizas obliga a superar algunas dificultades; en cambio, la carencia de productos perjudiciales (el azufre en este caso) que siempre están presentes en el carbón, favorece la utilización de la cascarilla en los hogares de las calderas, porque no provoca corrosión ni formación de adherencias o irritaciones. (Angladette, 1969)

---



### 2.10.1.2 Utilización por gasificación

La cascarilla puede ser aprovechada en un gasógeno según sea el procedimiento, para obtener gas pobre o para gas mixto. Existen diversas patentes para la construcción de estos gasógenos que emplean la cáscara de arroz.

Una instalación completa comprende: un generador en el que la cascarilla quema la temperatura de 800-1000°C, un condensador un separador centrifugo de alquitrán y una columna para el lavado de gas, el cual una vez libre de agua e impurezas tales como el alquitrán y cenizas, pasa al motor de gas pobre.

En la tabla 2.4 se presenta la distribución de gases y residuos al quemar 100 kg de cascarilla de arroz.

**Tabla 2.4** Distribución de gases al quemar 100 kg de cascarilla de arroz

<b>100 a 130 m<sup>3</sup> de gas que contienen</b>	
<i>CO<sub>2</sub></i>	4 a 8%
<i>O</i>	2.4 a 2.8%
<i>H</i>	5 a 8%
<i>CH<sub>4</sub></i>	4.5 a 7%
<i>CO</i>	23 a 25%
<i>N</i>	54 a 57%
• De 2 a 4kg de alquitrán	
• De 20 a 25 kg de carbón	

Fuente: (Angladette, 1969)

El poder calorífico de este gas (densidad 1.22 a 1.25kg/m<sup>3</sup>) oscila entre 1300 a 1600 calorías. Se calcula un rendimiento térmico del 20-22%. (Angladette, 1969)



### **2.10.1.3 Utilización como abono**

La ceniza de cascarilla, puede emplearse como abono debido a su contenido en elementos fertilizantes; posiblemente podría utilizarse directamente, sin previa incineración, pero se correría el riesgo de propagar enfermedades criptogámicas o microbianas que pudiera llevar en si la cosecha de paddy.

Resulta indicado el aprovechamiento de esta cascarilla como materia básica para preparar abonos compuestos o artificiales por ser rica en celulosa y lignina, se presta bien para la fabricación de los mismos, a condición que no esté demasiado seca, puesto que el polvillo que produce es muy nocivo y conviene evitarlo. Sin embargo, es indispensable su completa fermentación para destruir los elementos de propagación de las diversas enfermedades criptogámicas o bacterianas que puede contener (Angladette, 1969)

## **2.11 Generalidades del Café**

### **2.11.1 Información General**

La planta del café es un arbusto tropical africano (genero coffea), familia de las rubiáceas. El cafeto de variedad arábica proviene de kefa, en donde se encontró en forma de arbusto silvestre. Otras variedades se han encontrado en el mismo estado, sumando hasta 70 especies diferentes, pero la variedad arábica es la más difundida, la que da mejor calidad de taza y la que se cultiva en Nicaragua. (Arauz, 2004).

### **2.11.2 Variedades de café**

Las variedades de soporte de la caficultura nicaragüense es el Caturra con el 72%. El 28% está compuesto por Borbones, Paca, Catuai, Catimore, Maragogype, Pacamara, todas estas variedades son las que expresan las mejores calidades de taza de café exportables.



### **2.11.3 Situación fitosanitaria**

Los niveles de incidencias de enfermedades y plagas, están determinadas por una alta presencia de roya con 37% y un complejo de enfermedades entre ellas ojo de gallo, antracnosis, broca, macha de hierro, mal de hilacha, nematodos y enfermedades bacteriales (Ministerio Agropecuario MAG, 2013)

### **2.12 Cascarilla de Café**

La cascarilla de café es la capa gruesa de la cereza y representa cerca del 43% del peso. Debido a la cantidad que representa en peso, es el residuo que aporta el mayor porcentaje de contaminación al balance global, por tanto, se considera una gran fuente de investigación en la fabricación de nuevos productos.

Está constituida por un alto contenido de azúcares, por lo que su potencial industrial es grande. De acuerdo a estudios realizados por (Roa, 2003), la cascarilla del café presenta un poder calorífico aproximado a 4180 cal/g o 7458 kcal/kg, cuya composición en material volátil es de 87.7% y el tamaño de la cascarilla ronda entre 0.425 y 2.36 mm de diámetro. Tomando en cuenta estas propiedades, se puede considerar como materia prima apta para la elaboración de biocombustibles. En la tabla 2.5 se muestra algunos componentes de la cáscara de café.

**Tabla 2.5 Composición Química de Cascarilla de Café**

<b>COMPONENTES</b>	<b>% Total BASE SECA</b>
Cenizas	10.5
Fósforo	0.10
Potasio	3.03
Calcio	0.25
Magnesio	0.05

Fuente: CENICAFE



---

### **2.12.1 Usos de la cascarilla de café**

El aprovechamiento de la cascarilla de café es muy limitado, sin embargo, algunos productores la utilizan como:

#### **2.12.1.1 Combustible**

La cascarilla del café es prácticamente lignocelulosa pura. Se quema habitualmente en hornos toscos para secar el café en pergamino. Si la mayor parte del pergamino se seca parcialmente al sol por motivos de calidad, es aún posible tener un excedente de combustible después de una operación de acabado del secado incluso con los toscos secadores de aire caliente de un paso de hoy en día.

Puede quemarse la cascarilla en un generador de gas pobre y después accionar un motor sobre ese gas para producir electricidad. Al igual que con el biogás, el calor residual procedente del generador de gas y del motor puede usarse para calentar una corriente de aire limpio, y eso puede todavía usarse para secar aún más café.

#### **2.12.1.2 Abono Orgánico**

Se puede utilizar la cascarilla de café como abono orgánico con la finalidad de acondicionar el suelo mejorando su contenido de humus, estructura, estimulando la vida micro y meso biológica del mismo. Del café uva solo el 18.5% es café oro, el resto del fruto es 20 % agua, 41 % pulpa, 4.5 % cascarilla, 16 % mucílago. El desperdicio de la cascarilla de café genera el 60% de la contaminación del agua en las zonas cafetaleras. La cascarilla contiene materias orgánicas y nutrientes.

Procesado como abono orgánico, estos nutrientes se liberan paulatinamente. El abono de la cascarilla de café, en la actualidad, se utiliza preferiblemente para establecer nuevas plantaciones de café y viveros. Sin embargo se puede utilizar en plantaciones de producción.

Los sólidos de la cascarilla del café contienen solamente una quinta parte de los nutrientes que se sacan del suelo con la exportación del grano verde. Sin embargo, son una buena fuente de humus y de suelo de carbono orgánico.



## 2.13 Producción Mundial de Café

Las cifras y estimaciones sobre la producción mundial de café varían de una fuente estadística a otra, existiendo en ocasiones diferencias considerables. Sin embargo, las dos fuentes consultadas la Organización Internacional del Café (OIC) y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), coinciden en que la producción en 2015 fue menor que la cosecha anterior. (Rivas, 2015), en la tabla 2.6 se muestra la producción mundial de café en el periodo 2010-2015.

**Tabla 2.6 Producción Mundial de Café (millones de toneladas), periodo 2010-2015.**

Periodo	OIC
2010	7,389
2011	6,302
2012	6,918
2013	6,548
2014	7,050
2015	7,090

Fuente: OIC.

De acuerdo a datos proporcionados por la Organización Internacional del Café (OIC), la producción mundial de café en el 2015, fue de 7.09 millones de Toneladas, registrando una disminución de 5.88% con respecto al periodo anterior; en cambio USDA reporta una producción mundial de 7.37 millones de toneladas de café, es decir 4.0% más de lo reportado por la OIC. (Rivas, 2015).

Además la Organización Internacional del Café (OIC), asegura que se produjo 143.4 millones de sacos de 60 kilos según datos específicos en 2015.



En la siguiente tabla se presenta los principales países productores en los últimos cuatro años.

**Tabla 2.7 Principales países productores de Café (Miles de toneladas), periodo 2012-2015**

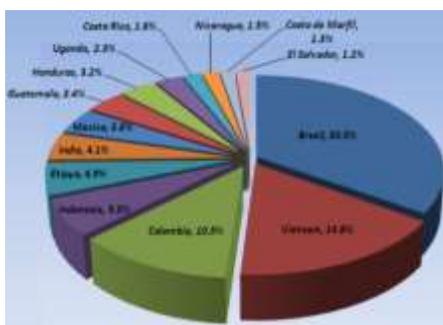
Países	2012	2013	2014	2015
ASIA Y OCEANIA	1,723	1,744	1,938	1,886
SUR AMERICA	3,385	2,985	3,664	3,208
MEXICO Y AMERICA CENTRAL	948	1,042	1,026	1,124
TOTAL	6,918	6,548	7,532	7,089

Fuente: Organización Internacional del CAFÉ (OIC).

La producción total de café arábico en el año de cosecha 2015 fue de 4.35 millones de toneladas, frente a 2.74 millones de toneladas de café robusto. La proporción correspondiente al café arábico en la producción mundial es de 61.31%, frente al 38.69% correspondiente al café robusto.

El análisis de la evolución de la producción de café robusto indica un aumento de la proporción correspondiente en la producción mundial de café, que pasó de 18.35% en 1965 a 39% en 2007. Ese incremento de producción fue acompañado de un aumento del diferencial de precio. El análisis de un período de más de 40 años muestra una fuerte correlación entre esos dos indicadores. (Rivas, 2015)

**Grafico 2.1 Principales Regiones Productoras de Café en el mundo**



Fuente: En base a datos de la Organización Internacional del CAFÉ (OIC).



Según las proyecciones realizadas por la Organización Internacional del Café (OIC), la producción mundial para el ciclo 2016-2017 de café se prevé en aproximadamente 7.68 millones de toneladas. Con respecto al ciclo 2015-2016 (7.09 millones de toneladas), se estima un crecimiento de aproximadamente 8.3% en la producción mundial. Brasil, Vietnam y Colombia producen en conjunto aproximadamente el 56% de la producción total de café en el mundo. (Rivas, 2015)

### **2.13.1 Producción Regional**

Centroamérica posee las condiciones edafoclimáticas ideales para producir todas las variedades de café, pero su potencial no se explota plenamente. Guatemala, Honduras y Nicaragua, podrían alcanzar mejores niveles de productividad para competir en el mercado mundial del grano de oro. A pesar de los atrasos tecnológicos en la actividad, la productividad centroamericana promedio, no obstante, es superior a la colombiana, país que se ubica como el segundo productor mundial.

En lo que respecta a la producción Centroamericana, ésta ascendió a 776.46 miles de toneladas en el 2007 y representa el 11% de la producción mundial, siendo Guatemala el mayor productor de la región. (Rivas, 2015)

### **2.13.2 Producción Nacional**

En la tabla 2.8 se muestra la producción de café del ciclo 2010-2015 en Nicaragua.

**Tabla 2.8 Producción de café en Nicaragua, periodo 2011-2015**

<b>Año</b>	<b>2010/11</b>	<b>2011/12</b>	<b>2012/13</b>	<b>2013/14</b>	<b>2014/15</b>	<b>2015/16</b>
<b>Kg</b>	98,280	131,580	119,460	116,460	123,000	130,500

**Fuente:** Ministerio agropecuario, 2013

Según datos del Ministerio Agropecuario en el 2013 se produjo 2.2 millones de quintales de café, con un rendimiento promedio: 12 quintales por manzana y un rango de rendimientos que oscilan entre 4 a 40 quintales por manzana. (Ministerio Agropecuario MAG, 2013)



### **2.13.3 Principales zonas de producción**

El sector cafetalero está compuesto por 44,519 productores y productoras que cultivan 180,219.7 manzanas de café, de los cuales: 18,640 tienen fincas con un máximo de tierra de 5 manzanas. (Ministerio Agropecuario MAG, 2013)

El 74% de la producción se obtuvo en la región VI, siguiéndole la región I con el 17%; el resto corresponde en orden de importancia a las regiones, IV, V, III, II. A nivel departamental, la mayor producción correspondió a Jinotega, luego Matagalpa, Nueva Segovia y Madriz. En estos cuatro departamentos se produjeron los equivalentes al 91% de la producción nacional. (Rivas, 2015)

#### **2.13.3.1 Región Norte Central**

Esta región produce aproximadamente el 83.80% de la producción nacional y posee unas condiciones agro-ecológicas excepcionales para la producción del café, incluye los departamentos de Matagalpa, Jinotega y Boaco. La región central produce más que todo café Strictly High Grown (SHG) o tipo grano estrictamente de altura, con una taza perfectamente balanceada. Esta zona incluye la llanura de montañas Isabelia, las montañas de Peñas Blancas y las montañas de Matagalpa y Jinotega. Estas condiciones hacen de estas tierras primordiales para la producción del café.

#### **2.13.3.2 Región Noreste**

Esta región es responsable por la producción del 13.60% de la producción nacional y comprende los departamentos de Madriz, Nueva Segovia y Estelí. Las plantaciones de café se han desarrollado mayormente en las lomas de Dipilto y Jalapa en Nueva Segovia; Mirafior y Pueblo Nuevo en Estelí; las Sabanas, Somoto Viejo, San Juan de Río Coco y Telpaneca en Madriz. Cada área tiene calidades diferentes en la producción de su café, por lo cual estas zonas pueden crear marcas diferenciadas en la taza, abriendo la ventana para productos geográficos distintivos.

---



### **2.13.3.3 Región Pacífica Sur**

Esta zona produce alrededor del 2.60% de la producción nacional. Las zonas de cultivo en esta región incluyen los departamentos de Carazo, Granada, Masaya, Managua y Rivas. Las ciudades importantes son Jinotepe, San Marcos, Diriamba, El Crucero, Masatepe, La Concha, los volcanes Mombacho y Casitas, y la Isla de Ometepe.

Esta región ofrece café de muy alta calidad con un excelente aroma, fragancia y acidez moderada para crear una taza fresca y bien balanceada. La producción en esta región es muy tradicional ya que es dirigida por productores pequeños, aunque se diferencia del resto del país en que las técnicas de procesamiento son mucho más integradas y centralizadas. (Rivas, 2015)



# CAPÍTULO III

---

---

## PREGUNTA DIRECTRIZ

---



### **3. PREGUNTA DIRECTRIZ**

¿Es Potencial la Cascarilla de Arroz y Cascarilla de Café para Producir Bioetanol?



# CAPÍTULO IV

## DISEÑO METODOLÓGICO



---

## **4. DISEÑO METODOLÓGICO**

### **4.1 Descripción del ámbito de estudio**

La caracterización física y química de los residuos agroindustriales, se desarrolló en los laboratorios de Química 101 y 107 de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, ubicados en el recinto universitario “Rubén Darío”, pabellón # 1, además se realizó la cuantificación de azúcares reductores en el Laboratorio de Análisis Físico-Químico de Alimentos (LAFQA), ubicado en pabellón # 3 de dicho recinto.

### **4.2 Tipo de estudio**

La presente investigación es analítica y experimental, analítica por qué se analizan las características y propiedades de la materia prima y experimental porque se basa en manipulación de variables y se evalúan las respuestas.

### **4.3 Población y muestra**

#### **4.3.1 Población**

Se considera como población 167.261 kg de cascarilla de café, recolectado de los trillos Raúl Ferrer ubicado de los semáforos de la bodega Estrada 150 varas al oeste en el municipio de Jinotega, departamento de Jinotega. Y 127.356 kg de cascarilla de arroz obtenidos del trillo Santa Rosa ubicado en la ciudad de Granada.

#### **4.3.2 Muestra**

La obtención de las muestras se realizó mediante un muestreo aleatorio simple, en el cual se tomaron 5 muestras de 80 g por cada residuo, estos se encontraban almacenados en sacos, las muestras fueron depositadas en bolsas de polietileno previamente rotuladas, se transportaron y almacenaron en el laboratorio del recinto de la UNAN-Managua. Una vez las muestras en el laboratorio se procedieron a darle tratamiento físico de molienda y posterior a realizar cada uno de los análisis específicos para caracterizarlas.



#### **4.3.2.1 Criterios de Inclusión**

- ✚ Cascarilla de arroz.
- ✚ Cascarilla de café.

#### **4.3.2.2 Criterios de Exclusión**

- ✚ Muestras con suciedad.
- ✚ Muestras con gorgojos.
- ✚ Muestras con manchas.
- ✚ Muestras con exceso de humedad.

### **4.4 Variables y Operacionalización**

#### **4.4.1 Variables Independientes**

- ✚ Cantidad de materia prima (cascarilla de arroz y cascarilla de café)

#### **4.4.2 Parámetros constantes**

- ✚ Concentración de ácido sulfúrico
- ✚ Temperatura de hidrólisis
- ✚ Tiempo de hidrólisis
- ✚ Cantidad de levadura
- ✚ pH de la fermentación
- ✚ Tiempo de fermentación

#### **4.4.3 Variables Dependientes**

- ✚ Porcentaje de rendimiento (%R)



### 4.4.3 Operacionalización de Variables

Variables	Concepto	Indicadores	Valores
<b>Dependientes</b>			
Porcentaje de rendimiento	Masa en gramos de bioetanol obtenido experimentalmente, dividido entre la masa teórica de bioetanol, multiplicado por cien.	$\%X = \frac{\text{masa de ROH experimental}}{\text{masa teorica de ROH}} \times 100$	20-90%
<b>Independientes</b>			
Cantidad de materia prima	Masa de cascarilla.	Gramos	25 gramos
<b>Parámetros constantes</b>			
Concentración de ácido sulfúrico	Porcentaje de ácido sulfúrico presente en un volumen de solución capaz de provocar el rompimiento de los enlaces del material lignocelulósico.	Porcentaje	5%
Temperatura de hidrólisis	Nivel térmico al cual se sometió la cascarilla de arroz y cascarilla de café para acelerar el proceso de hidrólisis	Grados Celsius (°C)	90°C



---

Tiempo de hidrólisis	Tiempo necesario para provocar el rompimiento de los enlaces químicos del material lignocelulósico.	Minutos	30
pH de fermentación	Coeficiente que mide el grado de acidez o basicidad para controlar la actividad microbiana en el proceso fermentativo.	Acido	5.3
Tiempo de fermentación	Magnitud física que permite medir la duración a la cual se da la conversión de azúcares a alcohol.	Días	6



## **4.5 Materiales y Método**

### **4.5.1 Materiales para recolectar información**

Para la elaboración del documento se llevó a cabo mediante la revisión bibliográfica, de artículos científicos, tesis de grado, libros de texto, enfocados en la caracterización de materia lignocelulósica y en la obtención de bioetanol a partir de materia lignocelulósica, de igual modo la realización de fichas de resumen y fichas de citas textuales.

Esta revisión bibliográfica se realizó con el objeto de obtener información entorno a nuestro tema en investigación, con el enfoque de antecedentes y marco teórico en este documento, además de la realizaron de tablas conteniendo datos estadísticos de la producción mundial de arroz y café.

También se usaron libretas para recolectar datos durante los distintos experimentos realizados en el laboratorio.

### **4.5.2 Materiales para procesar la información**

Los materiales utilizados para procesar la información obtenida en los procesos experimentales fueron tablas descriptivas para resumir los resultados, figuras, diagramas así también los obtenidos a partir de la revisión bibliográfica, de igual manera se utilizaron herramientas informáticas detalladas a continuación:

- ✓ **Office Word 2013:** Software utilizado para realizar el procesamiento de textos, elaboración y editar el documento.
- ✓ **Office Excel 2013:** software utilizado para cálculos de resultados, cálculos errores en los mismos, curvas de calibración y elaboración de gráficas.
- ✓ **Office Power Point 2013:** utilizado para la realización de presentación visual.



### **4.5.3 Método a utilizar**

Para el desarrollo experimental de esta investigación, se realizaron ensayos analíticos de acuerdo a los objetivos planteados, desarrollando la caracterización de los residuos bajo las Normas TAPPI (Technical Assosiation of the Pulp and Paper Industry), Asociación Técnica de la Industria de la Celulosa y el Papel.

Los parámetros que se tomaron en cuenta en la cuantificación analítica para la caracterización fisicoquímica de los residuos fueron: Determinación de Humedad (TAPPI T211 om-85), Cenizas con Extractivos (TAPPI T211 om-85), pH (TAPPI T252 om-90), Extractivos Totales (TAPPI 264 om-88), % de Celulosa(Método Kurschner & Hoffer), % Lignina (TAPPI 222 om-88), Cuantificación de Azúcares Totales por el Método Dubois (Método Fenol-Sulfúrico).

A continuación se presentan los procedimientos utilizados en la caracterización fisicoquímica, los resultados obtenidos se muestran en anexo 4.



#### 4.5.3.1 Determinación de Humedad (TAPPI T211 om-85)

##### Materiales

- ✓ Cápsulas de porcelana
- ✓ Balanza analítica
- ✓ Horno
- ✓ Desecador

##### Fase experimental

- ✓ Se lavó las cápsulas de porcelana y se llevaron a peso constante
- ✓ Luego se pesó 1 g de muestra en las cápsulas (Pi)
- ✓ Se llevaron las muestras al horno a temperatura 105 durante 24 horas
- ✓ Se dejó enfriar las cápsulas en el desecador
- ✓ Se pesó las cápsulas que contenían las muestras (Pf)

##### Expresión de resultados

##### Ecuación

$$H = \frac{P_i - P_f}{P_i}$$

Fig. 4.1 Muestras de cascarilla de café y cascarilla de arroz en desecación para determinar humedad





#### 4.5.3.2 Determinación de Cenizas (TAPPI T211 om-85)

##### Materiales

- ✓ Cisoles de cerámica
- ✓ Mufia
- ✓ Balanza analítica

##### Procedimiento Experimental

- ✓ Se lavó los crisoles y se llevaron a peso constante
- ✓ Se pesó 2 g de la muestra ( $P_i$ ), en los crisoles antes lavados
- ✓ Luego se introdujeron los crisoles que contenían las muestra a la mufia calentándolas lentamente hasta 100 °C, se aumentó la temperatura paulatinamente hasta 575 °C para carbonizar toda la muestra
- ✓ Cuando el residuo cesó de carbonizarse, se dejó que se calcinara durante 3 horas más, hasta que no hubo partícula negra en el residuo
- ✓ Se dejó enfriar los crisoles a temperatura ambiente en un desecador
- ✓ Se pesó los crisoles y anotamos el peso final ( $P_f$ )

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{P_f}{P_i} \times 100$$

**Fig. 4.2 Cenizas de Cascarilla de Arroz y Cascarilla de Café**





#### **4.5.3.3 Determinación de pH (TAPPI T252 om-90)**

##### **Materiales**

- ✓ Beacker 250 mL
- ✓ Matraz de ebullición de 250 mL Pyrex
- ✓ Balanza analítica
- ✓ Refrigerantes
- ✓ Mangueras
- ✓ Mantas calefactoras
- ✓ Termostatos

##### **Fase experimental**

- ✓ Se pesó 10 g de muestra
- ✓ Luego se colocó los 10 g de muestra en un matraz de ebullición de 250 mL
- ✓ Se les añadió 100 mL de agua destilada y se mezclaron
- ✓ Se armó el equipo de reflujo y se sometió a ebullición durante 3h
- ✓ Al finalizar las 3horas, se removieron los matraces y se taparon las soluciones dejándolas enfriar hasta 25 minutos.
- ✓ Se les midió el pH a las soluciones antes obtenidas con el pHmetro durante 3 minutos.



<p><b>Fig. 4.3 Sistema de Reflujo para Extracción de Muestra Liquida de Cascarilla de Café</b></p>	<p><b>Fig. 4.4 Sistema de Reflujo para Extracción de Muestra Liquida de Cascarilla de Arroz</b></p>
	

<p><b>Fig. 4.5 Medición de pH en muestra de Cascarilla de Café</b></p>	<p><b>Fig. 4.6 Medición de pH en muestra de Cascarilla de Arroz</b></p>
	



#### **4.5.3.4 Determinación Extractivos Totales (TAPPI 264 om-88)**

##### **Materiales**

- ✓ Balanza analítica
- ✓ Vidrio de reloj
- ✓ Beacker de 100 mL
- ✓ Probeta de 100 mL
- ✓ Balón de fondo redondo de 500 mL
- ✓ Soxhlet 24/40: balón, refrigerante, mangueras, pinzas, soporte universal
- ✓ Embudo de Buchner
- ✓ Matraz kitazato de 250 mL
- ✓ Bomba de succión al vacío
- ✓ Mangueras

##### **Reactivos**

- ✓ Agua destilada
- ✓ Etanol 99.8 %
- ✓ Benceno 99.7 %

##### **Procedimiento experimental**

- ✓ Se pesó 10 g de muestra molida y tamizada
  - ✓ Se midió en una probeta 100 mL de etanol y 300 mL de benceno
  - ✓ Luego se depositó la mezcla etanol-benceno en un balón de ebullición de 500 mL
  - ✓ Se armó el montaje del equipo Soxhlet, depositando los 10 g de muestra en el dedal, e iniciamos la extracción, con un sifoneo cada hora
  - ✓ Se procedió a extraer solubles con el Soxhlet por 6 horas con 400 mL de etanol-benceno relación (1:3), 100 mL de etanol y 300 mL de benceno
  - ✓ Se cambió el balón por otro de 500 mL que contenía 400 mL de etanol  
Y se inició la extracción con etanol durante 5 horas.
-



- ✓ Se cambió el balón por otro de 500 mL que contenía 500 mL de agua destilada, y se inició la extracción por una hora
- ✓ Se extrajo la muestra y se le realizó un lavado al vacío con 500 mL de agua destilada caliente
- ✓ Se observó que había un cambio de color del agua que salía del lavado
- ✓ Luego se dejó secar la muestra al aire libre

Fig. 4.7 Extracción Soxhlet en Muestras de Cascarilla de Arroz	Fig. 4.8 Extracción Soxhlet en Muestras de Cascarilla de Café
	

Fig. 4.9 Filtración al Vacío de Muestra de Café	Fig. 4.10 Secado de Muestra de Café a Temperatura ambiente
	



#### **4.5.3.5 Determinación % de Celulosa (Método Kurschner&Hoffer)**

##### **Materiales**

- ✓ Balanza analítica
- ✓ Vidrio de reloj
- ✓ Espátula
- ✓ Beacker de 100 mL
- ✓ Matraz erlenmeyer 250 mL
- ✓ Probeta de 25 mL
- ✓ Plancha de calentamiento
- ✓ Condensador
- ✓ Mangueras
- ✓ Termómetro
- ✓ Crisoles Gooch

##### **Reactivos**

- ✓ Etanol 99.8
- ✓ Ácido nítrico 65
- ✓ Acetato de sodio 99.5
- ✓ Agua destilada

##### **Fase experimental**

- ✓ Se pesó 1 g de materia anhidra libre de extractos, luego se colocó en un matraz, al mismo se le añadió 20 mL de etanol y 5 mL ácido nítrico concentrado relación (1;0,25)
  - ✓ Se hirvió la muestra antes pesada en baño maría a reflujo durante 30 min, la solución se pasó por un filtro Gooch de porosidad media y peso conocido
  - ✓ Se desechó el líquido y el sólido se sometió a una segunda digestión durante 30 min con 25 mL de etanol-ácido nítrico
-



- ✓ Se realizó una decantación como en la etapa anterior y se efectuó una tercera digestión con 100 mL de agua destilada por una hora. La muestra se filtró en un filtro Gooch, se lavó con agua destilada caliente y posteriormente con 100 mL de solución saturada de acetato de sodio y por último con 500 mL de agua destilada caliente
- ✓ El residuo se secó en un horno eléctrico a una temperatura de 105°C
- ✓ Cuando el residuo estuvo seco, se procedió a enfriarlo en un desecador de cristal sobre sílice gel
- ✓ Por último, se pesó la muestra seca

$$\% \text{ Celulosa} = \frac{P_f}{P_i} \times 100$$

Fig. 4.11 Extracción a reflujo de muestra de Cascarilla de café	Fig. 4.12 Extracción a reflujo de muestra de Cascarilla de arroz	Fig. 4.13 Muestras secas de Cascarilla de arroz y Cascarilla de café
		



#### **4.5.3.6 Determinación de % Lignina (TAPPI 222 om-88)**

##### **Materiales**

- ✓ Balanza analítica
- ✓ Probeta de 250 mL
- ✓ Balón aforado 250 mL
- ✓ Termómetro
- ✓ Beacker 100 mL
- ✓ Vidrio de reloj
- ✓ Matraz Erlenmeyer 250 mL
- ✓ Varilla de agitación
- ✓ Plancha de calentamiento
- ✓ Refrigerante 24/40
- ✓ Balón de fondo plano 250 mL
- ✓ Mangueras
- ✓ Crisoles Gooch
- ✓ Horno

##### **Reactivos**

- ✓ Ácido sulfúrico 96.7 %
- ✓ Hielo
- ✓ Agua destilada

##### **Fase Experimental**

- ✓ Se pesó 1 g de muestra anhidra
- ✓ Se preparó una solución de ácido sulfúrico al 72 % (%m/v)
- ✓ A una muestra de 1 g del material libre de extractos se le agrego 15 mL de ácido sulfúrico al 72 %, en agitación en baño maría a 20°C



- ✓ Se transfirió a un matraz con 360 mL de agua destilada para diluirlo hasta alcanzar una concentración aproximada de ácido al 3 %
- ✓ Se hirvió a reflujo por 4h para asegurar un volumen constante de agua
- ✓ Se decantó la solución manteniendo el matraz en una posición inclinada hasta que el material esta finalmente dividido. Durante 12h
- ✓ Se filtró a través de un crisol tipo Gooch de porosidad fina
- ✓ Se lavó con agua caliente para eliminar el ácido
- ✓ Se secó en un horno eléctrico a 105 hasta alcanzar un peso constante

$$\% \text{ lignina} = \frac{\text{peso seco de lignina (g)}}{\text{peso anhidro de la muestra (g)}} \times 100$$

Fig. 4.14 Extracción a reflujo con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> en muestras de café	Fig. 4.15 Muestras en reposo por 12 horas	Fig. 4.16 muestras secas de cascarilla de arroz y cascarilla de café
 A laboratory setup for reflux extraction, showing a round-bottom flask connected to a vertical condenser, placed on a magnetic stirrer over a heat source.	 Several round-bottom flasks containing dark, viscous liquid, likely the extracted lignin solution, resting on a surface.	 A collection of small white plastic cups, each containing a small amount of dark, dried residue, representing the dried lignin samples.



#### **4.5.4 Cuantificación de Azúcares Totales según el Método Dubois (Método Fenol-Sulfúrico).**

##### **a) Reactivos.**

- ✓ Fenol
- ✓ Ácido sulfúrico concentrado 96.7 %
- ✓ Glucosa Grado Analítica
- ✓ Agua destilada

##### **b) Materiales y Equipos.**

- ✓ 1 Balón aforado 25 mL.
- ✓ 1 Balón aforado 100 mL
- ✓ 40 tubos de ensayo 20 mL
- ✓ 1 Micro pipetas 100  $\mu$ L
- ✓ 1 Micro pipetas 500  $\mu$ L
- ✓ 1 Micro pipetas 1000  $\mu$ L
- ✓ 1 Micro pipetas 5000  $\mu$ L
- ✓ 1 Beacker 600 mL
- ✓ Espectrofotómetro UV-Visible
- ✓ Mezclador vortex
- ✓ Varilla de agitación
- ✓ Succionador
- ✓ Balanza analítica
- ✓ Campana extractora de gases
- ✓ Hielo



#### 4.5.4.1 Preparación de Soluciones.

#### 4.5.4.2 Preparación de la solución de Fenol al 5%(p/v)

Se pesó 1,25 g de fenol y se disolvieron en agua destilada en un balón de aforo de 25 mL, esta solución se preparó en la cámara de extracción de gases y vapores tóxicos.

Figura 4.17: Preparación de Fenol



#### 4.5.4.3 Preparación del Stock de Glucosa (400 µg/mL)

Se pesaron 0,04 g de glucosa y se disolvió en agua destilada en un balón de aforo de 100 mL.

Figura 4.18: Preparación de Solución Stock de Glucosa





#### 4.5.4.4 Preparación de estándares para la curva patrón

Se colocó los tubos de ensayo previamente etiquetados en una gradilla siguiendo el orden B, E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub> y E<sub>5</sub>.

Para la preparación de los estándares se colocan las respectivas soluciones a las concentraciones indicadas en la tabla

**Tabla 4.2:** Diluciones de Solución Stock de Glucosa

Dilución	B	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>
Stock de azúcar (400 µg/mL)	0	10	20	30	40	50
µL de H <sub>2</sub> O destilada	2000	1990	1980	1970	1960	1950

Figura 4.19: Diluciones de Solución Stock de Glucosa

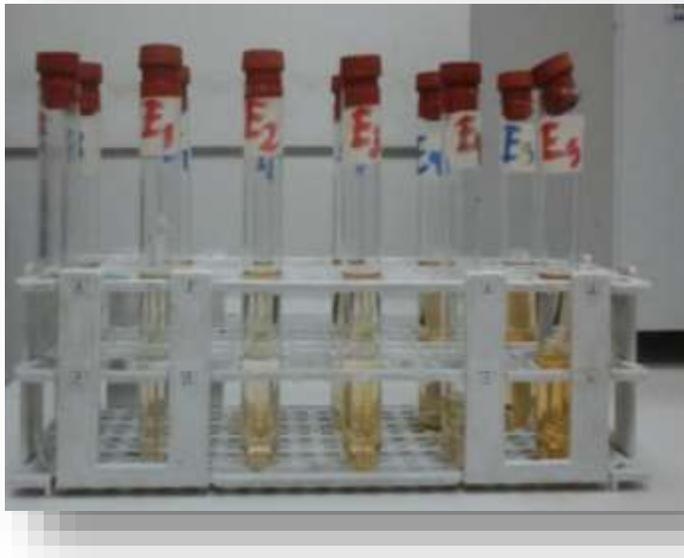




#### 4.5.4.5 Procedimiento Experimental

1. Se añadió a cada tubo de ensayo 1000 $\mu$ L de la solución de fenol antes preparada al 5 %, incluyendo al blanco y 5 mL de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentrado 96.7 %, en esta etapa se mostró una coloración amarillenta indicando la presencia de azúcares.

Figura 4.20: Adición de 1000  $\mu$ L Fenol y 5 mL Ácido Sulfúrico



2. Se introdujeron los tubos de ensayo en agua con hielo por 2 min, para disminuir la temperatura dada que la reacción producido entre el fenol y ácido sulfúrico.
3. Una vez cumplido el tiempo se realizó las lecturas de los estándares en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 488 nm, los resultados obtenidos se utilizaron para realizar la curva de calibración, en anexo 6.1 se muestran las lecturas de estos estándares y la curva de calibración obtenida



#### **4.5.4.6 Cuantificación de la concentración de Azúcares Totales en muestras hidrolizadas.**

El procedimiento a seguir para la cuantificación de los azúcares totales fue del mismo modo con el cual se realizó la curva de calibración, con la diferencia que se sustituyó la solución de glucosa por cada una de las diez muestras hidrolizadas.

Para la preparación de la muestra se tomaron 2 mililitros de cada uno de los diez hidrolizados para llevarlos a centrifugación durante 15 minutos a 2,500 rpm con el objetivo de separar sedimentos, de este centrifugado se pipeteo 1 mililitro, el cual se diluyo en 100 mililitros de agua destilada aforandola en un balón. Se tomaron 100  $\mu$ L (microlitros), de la muestra anteriormente aforada y se le añadió 2 mililitro de agua destilada, 1 mililitro de Fenol al 5% y 5 mililitros de Ácido sulfúrico concentrado, la cuantificación se realizó por duplicado y las lecturas por triplicado.

**Fig. 4.21 Muestras diluidas en 100 mL de agua destilada**



**Fig. 4.22 Muestras preparadas para la lectura**



En anexos 7.1 se muestran los resultados obtenidos de las lecturas de las muestras de los hidrolizados de cascarilla de arroz y cascarilla de café.



- **Procedimiento de obtención del bioetanol.**

- 1. Selección y recepción de materia prima**

La cascarilla de arroz y cascarilla de café fueron recolectadas en trillos ubicados en las ciudades de Jinotega y Granada, se seleccionaron de acuerdo a los criterios de inclusión y exclusión.

- 2. Reducción del tamaño**

Las cascarillas recepcionadas se trituraron en un molino artesanal, llevadas a un tamaño aproximadamente de 5mm, con el objetivo de favorecer en los análisis a realizar (hidrólisis, azúcares totales).

- 3. Pesado**

Se pesaron las cantidades de muestra para cada análisis de la caracterización físico-química y posterior proceso de hidrólisis ácida.

- 4. Eliminación de lignina**

Las cascarillas de arroz y de café fueron sumergidas en 150 mL de NaOH al 0.1N por un periodo de tiempo de dos horas para realizar la eliminación de la lignina, luego se filtró cada una de las muestras separando el sólido con NaOH y los azúcares presentes en las muestras.

- 5. Hidrólisis ácida diluida**

Las muestras fueron sometidas a una temperatura de 90°C con agitación, agregando 150 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 5 % por cada 25 g de cascarilla de café y cascarilla de arroz.



## **6. Neutralización**

Las muestras hidrolizadas con una solución de NaOH al 8 N y 0.1 N para regular el pH a 5.3 para luego iniciar con el proceso fermentativo.

## **7. Fermentación**

Para este proceso se preparó un cultivo de levadura al 12 % del peso total de los azúcares totales. El medio se preparó con levadura *Saccharomyces cerevisiae*, y como medio nutritivo Peptona y Glucosa, disueltos en agua destilada, la relación masa levadura, peptona y glucosa fue de (1:2:2), luego estas muestras se esterilizaron en el horno a 121°C por 15 minutos, posteriormente se colocaron en una plancha de agitación magnética a 220 rpm por un periodo de 18 horas.

El hidrolizado se sometió a fermentación anaeróbica tomando en cuentas las condiciones operacionales como porcentaje de inóculo de levadura 12 %, tiempo de fermentación de 6 días, las muestras se agitaron 3 veces al día para liberar el CO<sub>2</sub>, el proceso fermentativo se realizó a temperatura ambiente.

## **8. Desgasificación**

Como producto en una reacción de fermentación es el CO<sub>2</sub>, el cual tiene que ser separado del sistema en fermentación, para esto se colocó una manguera en la parte superior del montaje de fermentación conectada con un beacker con agua.

## **9. Destilación**

Una vez cumplido el tiempo de fermentación de 6 días se procedió a separar el bioetanol del material hidrolizado mediante destilación simple, controlando la temperatura, tomando muy en cuenta la temperatura de ebullición del etanol (78°C).

---



## **10. Almacenamiento**

Finalmente se almacenó el producto destilado en recipientes plásticos cerrados para evitar la volatilización del producto, tomándose muestras de bioetanol para realizar pruebas físicas para detectar la presencia de alcohol.



#### 4.6 Materiales utilizados en la caracterización

Materiales	Marca	Capacidad mL
Matraces Volumétricos	Pyrex®	500 mL
Matraces Volumétricos	Pyrex®	250 mL
Matraces Volumétricos	Pyrex®	100 mL
Pipetas Volumétricos	Pyrex®	100 µL
Pipetas Volumétricos	Pyrex®	5000 µL
Probetas volumétricas	Pyrex®	25 mL
Probetas volumétricas	Pyrex®	50 mL
Probetas volumétricas	Pyrex®	100 mL
Buretas	Pyrex®	50 mL
Beakers	Pyrex®	50 mL
Beakers	Pyrex®	100 mL
Beakers	Pyrex®	250 mL
Beakers	Pyrex®	600 mL
Beakers	Pyrex®	1000 mL
Matraz Erlenmeyer	Pyrex®	500 mL
Matraz Erlenmeyer	Pyrex®	1000 mL
Termómetro	Fisher	-10 a 260° C
Tubos de ensayo	Pyrex®	16x150 mm
Vidrio reloj	Pyrex®	5 cm de diámetro
Espátula	Fisher	-



#### 4.7 Equipos

Nombre del equipo	Marca	Modelo
Termostato eléctrico	Barnstend electrothermal	M242X1
Termostato eléctrico	Barnstend electrothermal	M242X1
Termostato eléctrico	Barnstend electrothermal	M242X1
Termostato eléctrico	Barnstend electrothermal	M242X1
Termostato eléctrico	Barnstend electrothermal	M242X1
Manta calefactora 120V	Electrothermal	HM 2000-HS1
Manta calefactora 120V	Brisk heat	HM 1000-HS1
Manta calefactora 120V	Brisk heat	HM 1000- HS1
Manta calefactora 120V	Brisk heat	HM0250-HS1
Manta calefactora 120V	Brisk heat	HM0250-HS1
Calentador y agitador magnético. 110V	BUNSEN	-
Calentador y agitador magnético. 110V	BUNSEN	-
Calentador y agitador magnético. 110V	BUNSEN	-
pH-Metro	CRISON INSTRUMENTS, S.A.	GLP 21
Mufla	Conterm	Conterm
Horno	Thermolyne	F62735
Baño María	J.P. Selecta	29064
Centrifuga	Burdinola	3000916
Balanza Analítica	Ohaus	Digicen 21
Desecadores de Vidrio	Pyrex®	Adventure AR0640
Espectrofotómetro		Perkin Elmer



#### 4.8 Reactivos

Nombre del Reactivo	Formula Química	Grado	Marca
Ácido sulfúrico 96.7 %	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ACS, para de metales trazas	J.T. Baker
Ácido clorhídrico 10%	HCl	Pureza media	Fisher
Levadura	—	Puro	Fleischmann
Hidróxido de Sodio	NaOH	ACS	Merck
Agua destilada	H <sub>2</sub> O	—	—
Fenol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O	ACS	Merck
Glucosa	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	ACS	Merck
Etanol	CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -OH	ACS	Merck
Benceno	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	ACS	Merck
Sulfato de calcio	CaSO <sub>4</sub>	ACS	-



# CAPÍTULO V

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS



## 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

### 5. Residuos de arroz y café, generados en el periodo 2013-2015 en Nicaragua.

En la tabla 5.1 se presentan las cantidades disponibles de cascarilla de arroz y cascarilla de café en los últimos tres años.

**Tabla 5.1** Cantidades disponibles de materia prima en Nicaragua

Materia	Año (qq) por hectáreas		
	2013	2014	2015
Cascarilla de arroz	1, 000,000	1, 226, 000	1, 040,000
Cascarilla de café	880, 000	600, 000	800, 000

Fuente: Propia

Se observa una disminución de cascarilla de arroz y cascarilla de café en el último año, debido al cambio climático disminuyendo las precipitaciones del período lluvioso, esta diferencia corresponde aproximadamente al 20%.

#### 5.1 Análisis de la caracterización físico-química de cascarilla de arroz

En la tabla 5.2 se muestran los valores promedios obtenidos de la caracterización físico-química de cascarilla de arroz; % Humedad, % Extractivos totales, % Celulosa, % Lignina y % Hemicelulosa, se realizaron 5 repeticiones por análisis.

**Tabla 5.2:** Caracterización fisicoquímica de cascarilla de arroz.

No	Parámetro realizado	Valor Promedio Obtenido	Desviación Estándar
1	% Humedad	6.59	0.1612
2	% Cenizas	18.52	0.3652
3	% Extractivos Totales	0.50	0.0948
4	% Celulosa	36.03	0.9866
5	% Lignina	18.49	0.2296
6	% Hemicelulosa	45.48	1.0796

Fuente: propia



El contenido de humedad de la cascarilla de arroz varía entre 5 y 40%, expuesta a la intemperie, en época no lluviosa (Morales, 2015). El porcentaje de humedad promedio de la cascarilla es aproximadamente entre el 8 y 15% después de secada al sol; se observa que el porcentaje de humedad de la cascarilla de arroz es de 6.59%, la cual está en los rangos reportados por (Aguilar, 2007) .

Con respecto a la desviación estándar ( $\sigma$  o  $s$ ), todos los valores están por debajo de 5% lo cual indica que son aceptables.

En la tabla 5.3 se presentan los valores promedios obtenidos y dos referencias.

**Tabla 5.3 Comparación con resultados de referencia, cascarilla de arroz**

<b>Parámetro</b>	<b>Resultados (%)</b>	<b>Referencia 1 (%)</b> (Valverde, Sarria, & Monteagudo, 2008)	<b>Referencia 2 (%)</b> (Riaño, Morales, Hernández, & Barrero, 2009)
<b>Celulosa</b>	36.03	25.89	25.89-36.5
<b>Hemicelulosa</b>	45.48	43.10	38.1-46.5
<b>Lignina</b>	18.49	22.80	18.20-24.6

Fuente: Propia

En tabla 5.3 se observa que los resultados obtenidos de celulosa y hemicelulosa, (polímeros de alto peso molecular), comparados con los resultados por (Valverde, Sarria, & Monteagudo, 2008), estos son menores, esta variación se atribuye a la variedad de arroz cultivada, condiciones climáticas y suelo. (Morales, 2015)

También se observa que con respecto a los datos reportados por (Riaño, Morales, Hernández, & Barrero, 2009), los valores obtenidos están dentro de los rangos lo que permite establecer, que este residuo agroindustrial contiene altas cantidades, de celulosa y hemicelulosa, ideales para la producción de bioetanol, mediante la transformación a azúcares y por fermentación a bioetanol.



## 5.2 Análisis de la caracterización fisicoquímica de cascarilla de café

En la tabla 5.4 se muestran los valores promedios obtenidos de la caracterización físico-química de la cascarilla de café, % Humedad, % Extractivos totales, % Celulosa, % Lignina y % Hemicelulosa, se realizaron 5 repeticiones por análisis.

**Tabla 5.4: Caracterización físico-química de cascarilla de Café.**

No	Análisis realizado	Valor Promedio Obtenido	Desviación Estándar
1	% Humedad	8.60	0.2184
2	% Cenizas	3.67	0.3234
3	% Extractivos Totales	0.44	0.1890
4	% Celulosa	36.70	1.0159
5	% Lignina	15.93	0.6079
6	% Hemicelulosa	47.37	1.5887

Fuente: propia

Se observa que el porcentaje de humedad es de 8.6 %, el reportado por (Rodríguez, 2007); es de 11.6 % de cascarilla de café en base seca, este es menor alrededor del 26 % de humedad; el reportado por (Orozco S., Cantarero P., & Rodríguez M., 1992), es de 7,6% en base seca similar al obtenido.

El valor mínimo reportado de humedad esta entre 10 % y el 12 % después de secada la cascarilla de café al sol. Esta variación del porcentaje de humedad, se debe principalmente a la variedad de café, zonas de cultivo, tipo de secado, y almacenamiento.

Según (FOCER, 2002), es importante mencionar que para la mayoría de los procesos de conversión energética es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 30%.



**Caracterización físico-química de residuos agroindustriales (cascarilla de arroz y cascarilla de café), como materia prima potencial para la obtención de bioetanol, laboratorios de química UNAN-Managua I-II semestre 2016.**

Con respecto a las cenizas, subproducto no combustible fundamentalmente sales inorgánicas de calcio, potasio y magnesio, así como sílice, se encuentra en el rango reportado por (Carchi, 2014)

**Tabla 5.5 Comparación con resultados de referencia, cascarilla de café**

Parámetro	Resultados (%)	Referencia (%) (Rodríguez & Cárdenas, 2010)
<b>Celulosa</b>	36.70	25.51
<b>Hemicelulosa</b>	47.37	46.30
<b>Lignina</b>	15.93	16.85

Fuente: Propia

Se observa en la tabla 5.5 que entre el % Celulosa, % Hemicelulosa obtenido y el reportado, existe una diferencia alrededor de 11 % de celulosa y 1 % de hemicelulosa, atribuible a la variedad de café cultivado, sin embargo, los resultados obtenidos experimental son altos, los cuales son ideales para la conversión de celulosa en azúcares más simples (xilosa, glucosa, arabinosa, etc.) y por fermentación a etanol. (Morales, 2015).

En la tabla 5.6 se presenta la comparación de la composición química de la cascarilla de arroz y cascarilla de café.

**Tabla 5.6 Comparación de composición química de la cáscara de arroz y cáscara de café**

Parámetro	Cascarilla de Arroz	Cascarilla de café
<b>Celulosa</b>	36.030	36.700
<b>Hemicelulosa</b>	45.480	47.370
<b>Lignina</b>	18.490	15.930

Fuente: Propia



Se observa que los resultados obtenidos de la caracterización de los residuos, la cascarilla de café contiene mayor porcentaje de celulosa y hemicelulosa alrededor del 6% respectivamente, por tanto, se espera que esta produzca mayor cantidad de bioetanol.

### 5.3 Obtención de bioetanol

En la tabla 5.7 se presentan los resultados en el proceso de hidrólisis ácida diluida, considerando las siguientes condiciones: masa de cascarilla de arroz (25 g) y masa de cascarilla de café (25 g), concentración de ácido sulfúrico (5 %), temperatura de hidrólisis (90 °C), tiempo de hidrólisis (30 min) y 12 % del peso en levadura de los azúcares cuantificados.

**Tabla 5.7 Datos experimentales obtenidos en el proceso de hidrólisis ácida y fermentación separada de cascarilla de café y cascarilla de arroz.**

	Cascarilla de café	Cascarilla de arroz
Resultados promedios	$\bar{x}$	$\bar{x}$
Azúcares Totales (g)	3.3407	4.1806
<b>Fermentación</b>		
Volumen experimental de bioetanol (mL)	4.8	5.8
% Rendimiento	30	36

Fuente: Propia

Se observa en la tabla 5.7 que los rendimientos de alcohol para ambas materias son bajos, a causa de la utilización de la levadura *saccharomyces cerevisiae* que fermenta los azúcares (glucosa, fructosa y sacarosa), sin embargo, existen otros azúcares que no son fermentables por esta pero pueden ser fermentados por la levadura *pichia stipitis*.



# CAPÍTULO VI

## CONCLUSIONES



De los resultados obtenidos en la caracterización físico-química de la cáscara de arroz y cáscara de café se concluye que:

- 1- Nicaragua produce aproximadamente 2 millones de quintales de café por año, de los cuales el 40% en peso es residuo, siendo 800 mil quintales los que se generan de cascarilla de café en 1400 hectáreas de terreno cultivadas en 2016. Por otro lado, son 5.2 millones de quintales producidos de arroz en 115, 290 hectáreas de terreno cultivadas, de los cuales el 20% es residuo, siendo 1.04 millones de cascarilla de arroz los que se generan.
- 2- El porcentaje de humedad de la cascarilla de arroz es: 6.59 % y de la cascarilla de café es: 8.60 % respectivamente.
- 3- La cascarilla de Arroz está compuesta por: 36.03 % de Celulosa, 18.49 % de Lignina y 45.48 % de Hemicelulosa; La cascarilla de Café en su composición química contiene: 36.70 % de Celulosa, 15.93 % de Lignina y 47.37 % de Hemicelulosa.
- 4- Se obtuvieron 4.8 mililitros de alcohol a partir de 25 gramos de cascarilla de café y 5.8 mililitros de alcohol a partir de 25 gramos de cascarilla de arroz.



# CAPÍTULO VII

## RECOMENDACIONES



Con base a lo experimentado se sugiere lo siguiente:

- 1- Determinar el porcentaje de hemicelulosa y comparar con los resultados reportados en dicho trabajo.
- 2- Evaluar otro tipo de hidrólisis, con el objetivo de disminuir la contaminación producida por la hidrólisis ácida y la exposición a reactivos químicos.
- 3- Obtener bioetanol a partir de mezclas de cascarilla de arroz y cascarilla de café, para ver si aumenta la producción de bioetanol.
- 4- Cuantificar por cromatografía de gases, el volumen de alcohol obtenido del destilado y comprobar la concentración a la cual se encuentra.



---

## BIBLIOGRAFIA

- Angladette, A. (1969). *El arroz, Técnicas agrícolas* (1 ed.). Barcelona: Blume.
- Arauz, E. K. (2004). *Nicaragua y su café* (1 ed.). Managua, Nicaragua: Hispamer.
- Arevalo, R. I. (2009). *Escuela Superior Politecnica de Chimborazo*. Obtenido de <http://www.esPOCH.edu.ec/>
- Criado, M. A. (12 de octubre de 2015). Quemar el petróleo que queda derretirá todo el hielo de la Antártida.
- El Nuevo Diario. (01 de Enero de 2008). *El nuevo diario*. Recuperado el 01 de Febrero de 2016, de El nuevo diario: <http://www.elnuevodiario.com.ni/opinion/4917-produccion-etanol-nicaragua/>
- Glogal, F. I. (27 de septiembre de 2013). *Fundacion Internacional Para el Desafio Economico Glogal*. Recuperado el 29 de enero de 2016, de Fundacion Internacional Para el Desafio Economico Glogal: <http://www.elobservadoreconomico.com/articulo/450>
- Hernan, J. (2007). *Biocombustible*. San Jose, Costa Rica: IICA.
- INE. (2015). *CONSUMO NACIONAL DE LOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO POR MES, 2014 - 2015*. Managua.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA. (10 de febrero de 2014). *El morralito del INTA, Cultivo de arroz*. Recuperado el 06 de junio de 2016
- Rodríguez & Cárdenas. (2009). *Evaluación De La Producción De Bioetanol A Partir De La Degradación De La Pulpa De Café*. Bogota-Colombia.
- (INTA), I. N. (3 de abril de 2010). *Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA)*. Recuperado el 29 de enero de 2016, de Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria



- 
- Lopez Y, M. C. (2013). *“La producción de etanol combustible a partir de materiales lignocelulósicos la cascara de arroz como materia prima potencial”*. Cuba.
  - Lopez, M. O. (2013). cuba.
  - López, Medina & Orozco. (2013). *produccion de etanol combustible a partir de materiales lignocelulosicos la cascara de arroz como materia prima potencial*. Cuba.
  - Mercado, Y. (24 de junio de 2015). *Ministerio de Economía Familiar, Comunitaria, Cooperativa y Asociativa*. Recuperado el 28 de enero de 2016, de Ministerio de Economía Familiar, Comunitaria, Cooperativa y Asociativa: <http://cdoc.economiafamiliar.gob.ni/2015/06/24/ficha-tecnica-del-cultivo-de-arroz/>
  - Ministerio Agropecuario MAG. (2013). *MAG*. Recuperado el 16 de Junio de 2016, de <http://www.magfor.gob.ni/descargas/publicaciones/cafecacao/cafenicaragua.pdf>
  - Montiel & Romero . (2015). *Obtencion de Bioetanol a partir de la coronta (olote) de maíz variedad HS-5, por el método de hidrólisis acida diluida fermentacion separada*. Unan-Managua, Managua, Managua.
  - Orozco, L. M. (2013). *“La producción de etanol combustible a partir de materiales lignocelulósicos la cascara de arroz como materia prima potencial”*.
  - Renan et. (2011). *“Producción de bioetanol a partir de la cascara de café (Coffea arabica. L)”*. Honduras.
  - Riaño, S., Morales, G., Hernández, M., & Barrero, R. (2009). Argentina.
  - Rivas, M. C. (28 de 07 de 2008). *Monografias*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/cafe-nicaragua/cafe-nicaragua.pdf>
-



- 
- Rodríguez & Cárdenas. (2009). *Evaluación De La Producción De Bioetanol A Partir De La Degradación De La Pulpa De Café*. Bogota-Colombia.
  - Sarria, B. (2007). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LA*. Cuba.
  - Valverde, A. (2007). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LA*. Cuba.
  - Zheng, Y., Pam, Z., Zhang, R. (2009) Overview of biomass pretreatment for cellulosic ethanol production. *Int J Agric&Biol Eng.* 2, 51-58



# ANEXOS



---

## Anexo 1

### **1. Diagnóstico sobre potencialidades y restricciones biofísicas, sociales, institucionales y económicas para el desarrollo de los biocombustibles en Nicaragua.**

Nicaragua tiene un gran potencial para la producción de biocombustibles en esquema de negocios inclusivos. En los próximos años es posible alcanzar importantes desarrollos en materia de cultivos energéticos promovidos por el proyecto de Política Nacional de Agroenergía y Biocombustibles (PNAB), impulsado por el Ministerio de Energía y Minas de Nicaragua (MEM), sin que estas actividades pongan en peligro la seguridad alimentaria o la sustentabilidad ambiental y que generen nuevos empleos, principalmente en zonas rurales, con una contribución importante a la reducción de la pobreza. Los cultivos evaluados en el presente estudio son:

- Caña de azúcar: 513.000.000 litros de etanol obtenidos de un máximo de 60,000 hectáreas en régimen de riego, siempre y cuando toda la producción se convierta en etanol. El costo de producción estimado es de USD 0,60/litro.
- Palma africana: 662.000.000 litros de biodiesel si toda la producción se convierte en biodiesel y que corresponde a 200.000 hectáreas en cultivo (1.440.000 hectáreas disponibles). El costo estimado de producción es de USD 0,72/litro.
- Jícara: 447.500.000 litros de etanol y 137.500.000 litros de biodiesel con base en 500.000 hectáreas (3.282.000 hectáreas disponibles para producción) en asociación con ganadería extensiva. El costo estimado para ambos biocombustibles es de USD 0,40/litro.

Con la excepción de la caña de azúcar, ninguno de los cultivos competirá con cultivos de seguridad alimentaria dado que hay tierras más que suficientes disponibles y, en general, los agroenergéticos estudiados o, no son alimentos, o se pueden cultivar sin competir con suelo agrícola y/o contribuyendo a suplir el déficit de alimentos (aceite de palma) o se cultivan de manera asociada (silvopastoreo en jícara).



## Anexo 2

### 2. Situación energética de los biocombustibles

Los biocombustibles sólidos han sido utilizados siempre por el hombre, el hombre de las cavernas utilizaba leña y paja para calentarse, calentar su comida y transformar metales; sin embargo, actualmente parecen ser unos combustibles nuevos, cuando lo que realmente es nuevo son las tecnologías que los manejan y aprovechan.

Las reservas de combustibles fósiles son cada día menores, debido al alto consumo que hacemos de ellos. Una de las estimaciones de las reservas y recursos de combustibles fósiles se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 2.1 Reserva y recurso de combustibles fósiles y combustibles nucleares en el mundo**

Grupo	Combustible fósil y combustible nuclear	Reserva	Recurso
Primero	Petróleo	$1,4 \cdot 10^{11}$	$4,4 \cdot 10^{11}$
	Gas Natural	$1,0 \cdot 10^{11}$	$3,4 \cdot 10^{11}$
	Sólidos	$6,8 \cdot 10^{11}$	$1,0 \cdot 10^{13}$
Segundo	Petróleo pesado +Arenas asfálticas +pizarras bituminosas	$5,0 \cdot 10^{11}$	$5,0 \cdot 10^{11}$
Tercero	Deuterio	*****	$3,4 \cdot 10^{17}$

Fuente: Propia

- Primer grupo corresponde a importantes fuentes económicas con tecnologías plenamente desarrolladas.
- Segundo grupo son fuentes de poca importancia económica actual a nivel regional, con tecnologías pocas desarrolladas y que presentan interés a medio plazo.
- El tercer grupo son fuentes no utilizables actualmente con tecnologías pocas o nada desarrolladas y que presentan interés a largo plazo.



A pesar de lo mencionado anteriormente, el mayor consumo de energía primaria y final en el mundo es debido a combustibles fósiles. En términos de energía primaria estos suponen un 84% del consumo total, a nivel mundial. Los biocombustibles (englobados en parte de la biomasa) a nivel mundial suponen más de 9% de la energía final ya que hay una pequeña cantidad de calor y electricidad que es obtenida con biocombustibles que añade al 9% de la biomasa.

Los problemas más importantes en relación con el combustible empleado para conseguir energía son de diversa índole, empezando por la dependencia general de los países productores de petróleo, y acabando con la realidad ecológica imperante hoy en día. Si buscamos la solución de ambos a través de la producción de combustibles basándose en fuentes renovables se puede obtener además otras ventajas.

Dentro de estas fuentes renovables aparece el alcohol, obtenido por la producción en masa de vegetales ricos en materias azucaradas, y su posterior fermentación. Con esta producción, se podría resolver en cierta forma, el problema de la conservación de los suelos, tan preocupante en los últimos tiempos.

Cuando se trata de productos que contienen almidón (grano o tubérculo), se necesita un camino más largo. Antes de la fermentación, el almidón debe ser convertido en azúcar. Experiencias realizadas avalan la utilización de alcoholes de encendido por chispa. El etanol es, con diferencia, el más usado hasta ahora.

Los países pioneros son Brasil y Estados Unidos, el etanol se puede usar solo o mezclado con gasolina, dependiendo de su pureza; así, cuando esta puro (99.5%), se puede mezclar, sin apenas modificaciones en el motor; si impuro (95-96%), se utiliza en solitario, si bien es preciso realizar importantes modificaciones. Los principales programas son el Pro alcohol, en Brasil (etanol a partir de caña de azúcar) y Gasohol en Estados Unidos (mezcla de gasolina súper y de etanol obtenido a partir de maíz).

---



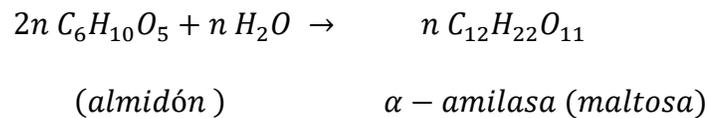
## Anexo 3

### 3. Obtención de etanol mediante fermentación

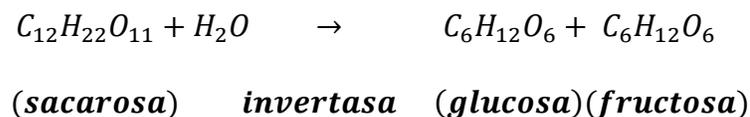
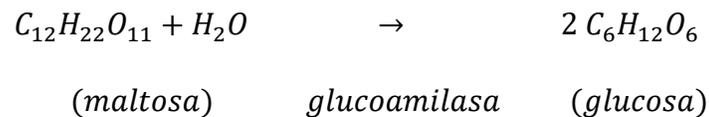
Químicamente, la obtención de etanol a partir de almidón se realiza del siguiente modo:

#### 3.1 Conversión enzimática del almidón en azúcar:

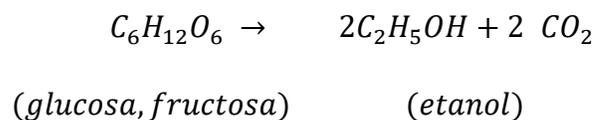
- **Hidrólisis del almidón:**



- **Sacarificación:**



**3.2 Fermentación:** la levadura se añade a la mezcla para convertir los monosacáridos en etanol (8-12%) y  $CO_2$ .



**3.3 Destilación:** el etanol se separa, destilando a 78 °C, que es el punto de ebullición del etanol.



**Anexo 4**

**4. Resultados de los análisis en la caracterización físico-química de cascarilla de arroz y café**

**Tabla 4.1:** Porcentaje de Humedad

<b>Determinación de % Humedad</b>			
<b>Cascarilla de Arroz</b>		<b>Cascarilla de Café</b>	
Muestra 1	6.6879	Muestra 1	8.4471
Muestra 2	6.3712	Muestra 2	8.7365
Muestra 3	6.7992	Muestra 3	8.9308
Muestra 4	6.5406	Muestra 4	8.4391
Muestra 5	6.5700	Muestra 5	8.4825
X - Media	6.5938	X - Media	8.6072
Desviación estándar	0.1612	Desviación estándar	0.2184

Fuente: Propia

**Tabla 4.2:** Porcentaje de Cenizas con Extractivos

<b>Determinación de Cenizas con Extractivos</b>			
<b>Cascarilla de Arroz</b>		<b>Cascarilla de Café</b>	
Muestra 1	18.1759	Muestra 1	3.8390
Muestra 2	18.8409	Muestra 2	3.1900
Muestra 3	18.9809	Muestra 3	3.4850
Muestra 4	18.2400	Muestra 4	3.9101
Muestra 5	18.3741	Muestra 5	3.9300
X - Media	18.5224	X - Media	3.6708
Desviación estándar	0.3652	Desviación estándar	0.3234

Fuente: Propia



**Tabla 4.3:** pH

<b>Determinación de pH</b>			
<b>Cascarilla de Arroz</b>		<b>Cascarilla de Café</b>	
Muestra 1	5.94	Muestra 1	6.09
Muestra 2	5.72	Muestra 2	6.21
Muestra 3	5.69	Muestra 3	6.26
Muestra 4	5.8	Muestra 4	6.24
Muestra 5	5.73	Muestra 5	6.23
̄ - Media	5.74	̄ - Media	6.2
Desviación estándar	0.0472	Desviación estándar	0.0673

Fuente: Propia

**Tabla 4.4:** Extractivos Totales

<b>Determinación de % Extractivos Totales</b>			
<b>Cascarilla de Arroz</b>		<b>Cascarilla de Café</b>	
Muestra 1	0.4497	Muestra 1	0.4194
Muestra 2	0.5780	Muestra 2	0.7501
Muestra 3	0.4133	Muestra 3	0.4038
Muestra 4	0.4441	Muestra 4	0.2270
Muestra 5	0.6295	Muestra 5	0.4435
̄ - Media	0.5029	̄ - Media	0.4488
Desviación estándar	0.0948	Desviación estándar	0.1890

Fuente: Propia



**Tabla 4.5:** Porcentaje de Celulosa

<b>Determinación de % de Celulosa</b>			
<b>Cascarilla de Arroz</b>		<b>Cascarilla de Café</b>	
Muestra 1	35.62	Muestra 1	37.01
Muestra 2	36.95	Muestra 2	38.14
Muestra 3	36.73	Muestra 3	35.71
Muestra 4	36.36	Muestra 4	36.94
Muestra 5	34.52	Muestra 5	35.74
̄ - Media	36.03	̄ - Media	36.70
Desviación estándar	0.9866	Desviación estándar	1.0159

Fuente: Propia

**Tabla 4.6:** Porcentaje de Lignina

<b>Determinación de % de Lignina</b>			
<b>Cascarilla de Arroz</b>		<b>Cascarilla de Café</b>	
Muestra 1	18.11	Muestra 1	16.21
Muestra 2	18.73	Muestra 2	16.70
Muestra 3	18.50	Muestra 3	15.45
Muestra 4	18.45	Muestra 4	15.19
Muestra 5	18.51	Muestra 5	16.10
̄ - Media	18.4720	̄ - Media	15.93
Desviación estándar	0.2282	Desviación estándar	0.6079

Fuente: Propia



## Anexo 5

### ▪ Curva de Absorbancias

Antes de realizar la curva de calibración se realizó el pico de mayor absorbancia, en el cual se determina la región específica en donde absorbe, para la cual se realizó 6 estándares, en la tabla 5.1 se muestran los valores reportados por el espectrofotómetro.

**Tabla 5.1: Valores reportados por el espectrofotómetro al momento de realizar el pico de mayor absorbancia.**

Longitud de Onda (nm)	Absorbancia	Longitud de Onda (nm)	Absorbancia
600	0.023	491	0.208
599	0.023	490	0.208
598	0.023	489	0.208
597	0.023	488	0.209
596	0.023	487	0.208
595	0.024	486	0.207
594	0.024	485	0.205
593	0.024	484	0.203
592	0.024	483	0.200
591	0.025	482	0.198
590	0.026	481	0.195
589	0.026	480	0.192
588	0.026	479	0.188
587	0.027	478	0.185
586	0.027	477	0.182
585	0.028	476	0.178
584	0.028	475	0.175
583	0.028	474	0.172
582	0.028	473	0.169
581	0.029	472	0.165



---

577	0.030	468	0.155
576	0.030	467	0.152
575	0.030	466	0.150
574	0.030	465	0.148
573	0.031	464	0.146
572	0.031	463	0.144
571	0.031	462	0.142
570	0.031	461	0.141
569	0.031	460	0.139
568	0.032	459	0.138
567	0.032	458	0.137
566	0.032	457	0.136
565	0.032	456	0.135
564	0.032	455	0.135
563	0.032	454	0.134
562	0.032	453	0.134
561	0.033	452	0.133
560	0.033	451	0.133
559	0.033	450	0.133
558	0.034	449	0.133
557	0.034	448	0.133
556	0.034	447	0.133
555	0.034	446	0.133
554	0.035	445	0.133
553	0.035	444	0.134
552	0.036	443	0.134
551	0.036	442	0.134
550	0.037	441	0.134
549	0.037	440	0.134
548	0.038	439	0.135
547	0.038	438	0.135
546	0.039	437	0.135
545	0.040	436	0.135
544	0.041	435	0.135

---



543	0.041	434	0.135
542	0.042	433	0.135
541	0.043	432	0.135
540	0.044	431	0.134
539	0.045	430	0.134
538	0.047	429	0.133
537	0.048	428	0.133
536	0.049	427	0.132
535	0.051	426	0.132
534	0.052	425	0.130
533	0.054	424	0.130
532	0.055	423	0.129
531	0.056	422	0.128
530	0.058	421	0.127
529	0.060	420	0.126
528	0.062	419	0.125
527	0.064	418	0.124
526	0.066	417	0.123
525	0.068	416	0.122
524	0.070	415	0.120
523	0.072	414	0.120
522	0.075	413	0.118
521	0.077	412	0.117
520	0.080	411	0.116
519	0.083	410	0.115
518	0.086	409	0.114
517	0.090	408	0.113
516	0.093	407	0.112
515	0.097	406	0.111
514	0.101	405	0.110
513	0.105	404	0.109
512	0.110	403	0.108
511	0.115	402	0.108
510	0.119	401	0.106

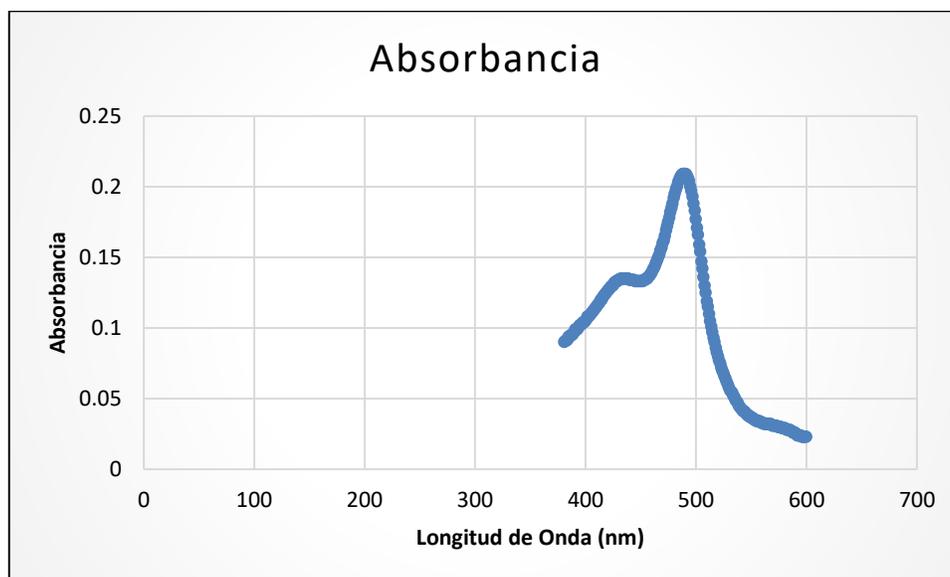


509	0.125	400	0.105
508	0.130	399	0.104
507	0.136	398	0.104
506	0.142	397	0.103
505	0.147	396	0.102
504	0.154	395	0.102
503	0.159	394	0.101
502	0.166	393	0.099
501	0.171	391	0.099
500	0.177	390	0.097
499	0.183	389	0.096

Fuente: Propia

En la gráfica 5.1 se observa la longitud de onda a la cual el espectro absorbe, 488 nm esta región se utilizó para leer las muestras hidrolizadas de cascarilla de arroz y café.

- **Gráfica 5.1: Curva de Absorbancia para conocer la longitud de onda a la cual se va a leer las muestras en el espectrofotómetro.**



Fuente: Obtenidos de datos del espectrofotómetro



## Anexo 6

### 6.1 Curva de Calibración

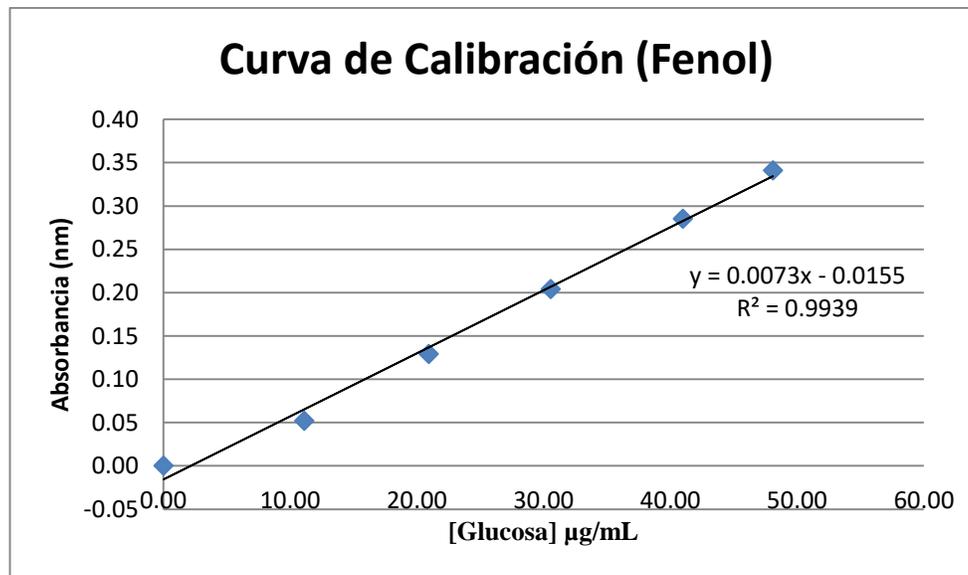
A continuación, se muestran los datos obtenidos del espectrofotómetro utilizados para construir la curva de calibración.

**Tabla 6.1: Estándares de Glucosa, Utilizadas para Crear Curva de Calibración**

STD	[ Glucosa] $\mu\text{g/mL}$	Absorbancia (nm)
STD 1	0.00	0.0
STD 2	11.1	0.052
STD 3	20.94	0.129
STD 4	30.56	0.204
STD 5	40.97	0.285
STD 6	48.09	0.341

Fuente: Propia

**Gráfica 6.1: Curva de Calibración utilizando Glucosa**



El coeficiente de correlación es igual a 0.997



**Tabla 6.2: Datos estadísticos aplicados a los resultados obtenidos de las lecturas de los estándares**

[Glucosa] $\mu\text{g/L}$ ( $X_i$ )	Absorbancia (nm) $Y_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$Y_i - \bar{y}$	$(Y_i - \bar{y})^2$	$(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{y})$
0.00	0.00	-25.27666667	638.909878	-0.1685	0.02839225	4.259118333
11.1	0.052	-14.17666667	200.977878	-0.1165	0.01357225	1.651581667
20.94	0.129	-4.336666667	18.8066778	-0.0395	0.00156025	0.171298333
30.56	0.204	5.283333333	27.9136111	0.0355	0.00126025	0.187558333
40.97	0.285	15.69333333	246.280711	0.1165	0.01357225	1.828273333
48.09	0.341	22.81333333	520.448178	0.1725	0.02975625	3.9353
$\Sigma=151.66$	1.01	0	1653.33693	0	0.0881135	12.03313
$\bar{X}=25.27666667$	0.1685		275.556156		0.014685583	2.005521667

Fuente: Propia

**Tabla 6.3: Datos estadísticos para calcular errores en la curva de calibración.**

$X_i$	$X_i^2$	$Y_i$	$Y_{\text{ajustados}}$	$(Y_i - Y)$	$(Y_i - Y)^2$
0.00	0.00	0.00	-0.0155	0.0155	0.00024025
11.1	123.21	0.052	0.06553	-0.01353	0.000183061
20.94	438.4836	0.129	0.137362	-0.008362	6.9923E-05
30.56	933.9136	0.204	0.207588	-0.003588	1.28737E-05
40.97	1678.5409	0.285	0.283581	0.001419	2.01356E-06
48.09	2312.6481	0.341	0.335557	0.005443	2.96262E-05
$\Sigma=151.66$	5486.7962	1,011	1.091618	-0.003118	0.000537747

Fuente: Propia

Los datos presentados en las tablas 6.2 y 6.3 son los utilizados para calcular coeficiente de correlación, desviación estándar, límites de confianza y errores que se produjeron al momento de realizar la curva de calibración en el espectrofotómetro.



## Anexo 7

### 7.1 Cuantificación de concentración de azúcares totales en muestras hidrolizadas

En la siguiente tabla se muestran las absorbancias obtenidas del espectrofotómetro y la concentración de azúcares calculada a la misma longitud de onda.

**Tabla 7.1 Resultados de las lecturas de las muestras**

Muestra	Absorbancias (nm)				[Azúcares totales] g
	1	2	3	$\bar{x}$	
Blanco	0.037	0.037	0.037	0.037	0.000
Café 1	0.318	0.318	0.318	0.318	3.7461
Café 2	0.080	0.080	0.080	0.080	2.2762
Café 3	0.133	0.133	0.133	0.133	3.6616
Café 4	0.136	0.137	0.138	0.137	3.7184
Café 5	0.123	0.123	0.123	0.123	3.3012
Arroz 1	0.149	0.150	0.151	0.150	4.0808
Arroz 2	0.213	0.213	0.212	0.212	4.9862
Arroz 3	0.150	0.150	0.150	0.150	4.3982
Arroz 4	0.145	0.145	0.145	0.145	3.1220
Arroz 5	0.179	0.179	0.179	0.179	4.3162

✚ Cálculo de la concentración de azúcares totales en las muestras hidrolizadas.

$$\text{Ecuación 7.1 [Azúcares totales]} = \frac{\text{Absorbancia} - \text{Intercepto}}{\text{Pendiente}}$$



Ejemplo de cálculo de concentración de azúcares totales para la muestra No.1 de cascarilla de café

$$[\text{Café 1}] = \frac{0.318 - (-0.0155)}{0.0073} = 45.6849 \mu\text{g/mL}$$

La concentración calculada, se multiplica por dos factores de dilución, este corresponde 100; 100, el cual corresponde a la dilución de 100 $\mu$ L del hidrolizado obtenido en 100 mL de agua destilada (corresponde a 100  $\mu$ L; 100 mL), luego diluimos 1 mL de la dilución anterior en 2 mL de agua destilada (1 mL; 2 mL), y como las unidades en las cuales está diseñado el método de cuantificación de carbohidratos totales es en microgramos ( $\mu$ g) por mililitros (mL), convertimos las unidades a gramos (g), por litros (L).

$$\text{Café 1} = \frac{45.6849 \mu\text{g}}{\text{mL}} \times \frac{1 \text{ mg}}{1000 \mu\text{g}} \times 1000 \times 2 = \frac{91.3698 \text{ mg}}{\text{mL}}$$

Factor de dilución: 1000 y 2 mL de agua destilada

$$\frac{91.3698 \text{ mg}}{\text{mL}} \times \text{Volumen obtenido de hidrolizado} \times \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}}$$

$$\frac{91.3698 \text{ mg}}{\text{mL}} \times 41 \text{ mL} \times \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} = 3.7461 \text{ g}$$

Estos mismos cálculos se realizaron para cada uno de los hidrolizados obtenidos

▪ **Calculo de los errores en las concentraciones**

$$S_{x_0} = \frac{S_{y/x}}{b} \sqrt{\frac{1}{m} + \frac{1}{n} + \frac{(y_0 - \bar{y})^2}{b^2 \sum_i (x_i - \bar{x})^2}}$$

$$S_{x_0} = \frac{0.0115}{0.0073} \sqrt{\frac{1}{3} + \frac{1}{6} + \frac{(0.01184653 - 0.1685)^2}{(0.0073)^2 (1653.33693)}} = 0.1817$$



De la misma manera que se calculó los errores para la primera muestra se realizaron los cálculos para cada una de las muestras.

En la tabla 6.5 se muestran las desviaciones estándar de la concentración de las muestras  $X_0$  y los límites al 95%.

**Tabla 7.2: Errores en las concentraciones para los 10 experimentos**

Muestras	[Azúcares totales] (g)	$S_{X_0}$	$\pm LC 95 \%$
café 1	3.7461	0.1817	0.5044
café 2	2.2762	0.3952	1.0971
café 3	3.6616	0.3994	1.1087
café 4	3.7184	0.3946	1.0954
café 5	3.3012	0.3884	1.0783
arroz 1	4.0808	0.3966	1.1010
arroz 2	4.9862	0.3473	0.9642
arroz 3	4.3982	0.4252	1.1804
arroz 4	3.1220	0.3179	0.8826
arroz 5	4.3162	0.3555	0.9871

Fuente: Propia



## Anexo 8

### 8.1 Formulas estadísticas para tratamiento de datos (Miller & Miller, 2002)

Media aritmética  $\bar{x} = \sum \frac{X_i}{n}$  ecuación 7.1

Desviación estándar  $s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$  ecuación 7.2

Límite de confianza de la media  $LC_{\bar{x}} = \bar{x} \pm \frac{t_{n-1}S}{\sqrt{n}}$  ecuación 7.3

#### ✚ Métodos de mínimos cuadrados

Ecuación de la recta  $y = a + bx$  ecuación 7.4

Pendiente de la recta  $b = \frac{\sum_i\{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})\}}{\sum_i(x_i - \bar{x})^2}$  ecuación 7.5

Ordenada en el origen  $a = \bar{y} - b\bar{x}$  ecuación 7.6

Coefficiente de correlación  $r^2 = \frac{\sum_i\{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})\}}{\{[\sum_i(x_i - \bar{x})^2][\sum_i(y_i - \bar{y})^2]\}^{1/2}}$  ecuación 7.7

Errores aleatorios en y  $S_{y/x} = \sqrt{\frac{\sum_i(y_i - \bar{y}_i)^2}{n-2}}$  ecuación 7.8

Desviación estándar de la pendiente  $S_b = \frac{S_{y/x}}{\sqrt{\sum_i(x_i - \bar{x})^2}}$  ecuación 7.9

Desviación estándar del intercepto  $S_a = S_{y/x} \sqrt{\frac{\sum_i x_i^2}{n \sum_i(x_i - \bar{x})^2}}$  ecuación 7.10

Desviación estándar de la  $S_{x0} = \frac{S_{y/x}}{b} \sqrt{\frac{1}{m} + \frac{1}{n} + \frac{y_0 - \bar{y}^2}{b^2 \sum_i(x_i - \bar{x})^2}}$  ecuación 7.11

concentración de la muestra  $X_0$



Límite de confianza de la pendiente  $\pm LC_{95\%} = t_{n-2} S_b$  ecuación 7.12

Límite de confianza de la ordenada en el origen  $LC_{95\%} = t_{n-2} S_a$  ecuación 7.13

Límite de confianza para un valor  $LC_{95\%} = t_{n-2} S_{x_0}$  ecuación 7.14

Donde:

a	Intercepto
b	Pendiente de la recta
x	Concentración de la muestra
$\bar{y}$	Puntos sobre la recta de regresión calculada correspondientes a los valores individuales de x, es decir los valores de y "ajustados". Utilizando la ecuación de la recta.
$S_{y/x}$	Desviación de la absorbancia
$S_b$	Desviación de la pendiente
$S_a$	Desviación del intercepto
	Coeficiente de correlación
t	t de student que se obtiene para un nivel de confianza deseado y (n-2) grados de libertad
n	Número de muestras
m	Análisis replicados
$y_0$	Valor experimental de y a partir de la cual se determina el valor de la concentración $x_0$ donde $y_0 = mx + b$



## 8.2 Cálculos

### Ecuación de la recta de calibrado

➤ **Coefficiente de correlación**

$$r^2 = \frac{\sum_i \{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})\}}{\{[\sum_i (x_i - \bar{x})^2][\sum_i (y_i - \bar{y})^2]\}^{1/2}}$$

$$r^2 = \frac{12.03313}{\sqrt{(1653.33693 \times 0.0881135)}} = 0.9939$$

➤ **Pendiente**

$$b = \frac{\sum_i \{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})\}}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}$$

$$b = \frac{12.03313}{1653.33693} = 0.0073$$

➤ **Intercepto**

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

$$a = 0.1690197 - 0.0073 (25.2766667) = -0.0155$$

### Calculo de los errores asociados a la recta de calibrado

➤ **Errores aleatorios en y**

$$S_{y/x} = \sqrt{\frac{\sum_i (y_i - \bar{y}_i)^2}{n - 2}}$$

$$S_{y/x} = \sqrt{\frac{0.000537747}{6-2}} = 0.0115$$



➤ **Desviación estándar de la pendiente**

$$S_b = \frac{S_{y/x}}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}}$$

$$S_b = \frac{0.0115}{\sqrt{1653.33693}} = 2.8515 \times 10^{-4}$$

➤ **Desviación estándar del intercepto**

$$S_a = S_{y/x} \sqrt{\frac{\sum_i x_i^2}{n \sum_i (x_i - \bar{x})^2}}$$

$$S_a = 0.0115 \sqrt{\frac{5486.7962}{6 \times 1653.33693}} = 8.5526 \times 10^{-3}$$

➤ **Límite de confianza de la pendiente** donde  $t_{n-2} = 2.776$

$$\pm LC_{95\%} = t_{n-2} S_b$$

$$\pm LC_{95\%} = \pm (2.776) (2.8515 \times 10^{-4})$$

$$\pm LC_{95\%} = \pm 7.9157 \times 10^{-4}$$

$$b = 0.0073 \pm 7.9157 \times 10^{-4}$$

➤ **Límite de confianza de la ordenada en el origen**

$$\pm LC_{95\%} = t_{n-2} S_a$$

$$\pm LC_{95\%} = \pm (2.776) (8.5526 \times 10^{-3})$$

$$\pm LC_{95\%} = \pm 2.393 \times 10^{-2}$$

$$a = -0.0155 \pm 2.3742 \times 10^{-2}$$



**Tabla 8.1** Tabla de distribución t student

$\alpha$ r	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0005
1	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,656	636,578
2	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,600
3	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924
4	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,778	3,747	4,604	8,610
5	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869
6	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408
8	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,308	2,896	3,355	5,041
9	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
11	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,768
24	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,689
28	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,660
30	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646
40	0,681	0,851	1,050	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551
60	0,679	0,848	1,045	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460
120	0,677	0,845	1,041	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	3,373
$\infty$	0,674	0,842	1,036	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,290

**Fuente:** Miller & Miller, 2002