



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**ESTUDIO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL
A PARTIR DEL BAGAZO DE LA SEMILLA *JATROPHA*
*CURCAS***

**TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTA:
RODOLFO RAMÍREZ LEONIDES**



MÉXICO, D.F.

2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: **Profesor:** M. I. María Rafaela Gutiérrez Lara

VOCAL: **Profesor:** Dr. Modesto Javier Cruz Gómez

SECRETARI: **Profesor:** Dr. Néstor Noé López Castillo

1er. SUPLENTE: **Profesor:** M. en A. Landy Irene Ramírez Burgos

2° SUPLENTE: **Profesor:** M en C. Rolando Salvador García Gómez

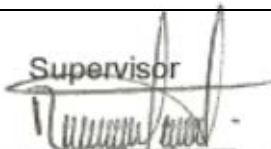
SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. FACULTAD DE QUÍMICA, CONJUNTO E. LABORATORIO 212

ASESOR DEL TEMA: DR. MODESTO JAVIER CRUZ GÓMEZ

(nombre y firma)

SUPERVISOR TÉCNICO: DRA. ROCÍO ANTONIO CRUZ

(nombre y firma)

Supervisor

Dra. Rocío Antonio Cruz

SUSTENTANTE: RODOLFO RAMÍREZ LEONIDES

(nombre (s) y firma (s))

Agradecimientos

A mi madre por ser el motor que me ha impulsado a continuar en este camino del conocimiento, por guiarme, por estar en esos momentos tan difíciles en los cuales solo tus consejos y atenciones han sido esenciales para superarlos. Por luchar diariamente para sacarnos adelante a mí y a mis hermanos, como podré expresar el más sincero agradecimiento por tantas noches de desvelo y días de sacrificio que has pasado por nosotros. Porque nunca te rindes, porque creíste en mí, por ser tan dedicada, por convertirme en lo que soy, por nuestra amistad que se sustenta por un mutuo amor, eres el ser más maravilloso de todo el mundo, aquí está el resultado del trabajo conjunto entre tú y yo, por hacer posible este sueño, le doy gracias a dios por darme a la mujer más linda, amorosa, especial y admirable como madre.

A mi padre Gregorio que fue clave para la toma de una decisión tan importante en mi formación académica, el cual despertó mi interés por el área de la química. Por tus consejos y reproches por enseñarme a luchar por aspirar a lo más alto y a mis sueños no renunciar.

A mi apreciada y amada mujer Marisol por ser una persona maravillosa por el profundo amor que nos tenemos, por tu confianza, porque día a día me motivas para alcanzar nuevas metas, tanto profesionales como personales, por tu total entrega, por todo el tiempo que me has aguantado, por estar conmigo en aquellos momentos en que el estudio y el trabajo ocuparon mi tiempo y esfuerzo, por ser parte importante en el logro de mis metas y lo principal por enseñarme a valorar la vida.

A mis amigos por brindarme su amistad (José Luis, Tomas, Macedo, Lalo, Diana Betsabé, Diana Leticia, Joel, Vivis, Laura, Sujeit, Rocío, Hugo Nazi, Rojo, Enrique, Cinthia, Gaby), por aquellos momentos tan especiales que hemos pasado juntos y aquellos que nos hacen falta por vivir, por ser parte de mi formación en la universidad.

A mis compañeros de trabajo, a quienes agradezco el apoyo por aprovechar un poco de tiempo del trabajo para elaborar este proyecto.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por haber fingido como mi casa durante mi estancia en ella tanto en la Preparatoria 8 como en la mejor escuela del área de la química, la “Facultad de Química” y por brindarme una educación de alto nivel.

A Néstor, que más que un buen y querido profesor lo considero como un gran amigo ya que ha sido indispensable para que me integrará al grupo de trabajo del doctor Javier.

A mi tutor, M. Javier Cruz Gómez quién me ha brindado su apoyo en todo momento para la realización de tesis.

A todas las personas que de una forma o de otra me brindaron su apoyo para la realización de esta tesis.

Dedicatorias

A mi bebe que viene en camino, que me cambio la forma de ver la vida y ser más dedicado en mis asuntos de trabajo y escolares, ya eres parte esto, y que mejor que hayas llegado en esta etapa, en la cual me titulo y quiero ser un ejemplo a seguir para ti.



ÍNDICE

Capítulo I. Introducción.....	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.1.2 Objetivos particulares.....	3
1.2 Hipótesis.....	3
1.3 Justificación.....	3
Capítulo II. Antecedentes.....	4
2.1 <i>Jatropha curcas</i>	4
2.1.1 Tipos de <i>Jatropha</i>	6
2.2 Biocombustibles.....	8
2.2.1 Etanol.....	11
2.3 Extracción de celulosa.....	16
2.4 Hidrólisis de la celulosa.....	19
2.5 Proceso de fermentación.....	22
Capítulo III. Metodología.....	26
3.1. Extracción y secado de celulosa.....	27
3.2 Hidrólisis.....	29
3.2.1. Hidrólisis Fuerte.....	29
3.2.2 Hidrólisis débil.....	30
3.3 Fermentación.....	32
3.4 Destilación.....	33
Capítulo IV. Resultados y análisis.....	35
4.1 Resultados de la extracción de celulosa del bagazo de la semilla de la semilla de <i>Jatropha curcas</i>	35
4.2 Resultados de la hidrólisis a diferentes concentraciones de ácido sulfúrico.....	38



4.3 Resultados de los diferentes tiempos de fermentación de la hidrólisis de celulosa.....	40
4.4 Resultados de la conversión de bioetanol después de la destilación.....	41
Capítulo V. Conclusiones.....	45
Referencias.....	48
Anexos.....	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ficha técnica de la <i>Jatropha curcas</i>	7
Tabla 2. Rendimiento de etanol de diferentes cultivos.....	13
Tabla 3. Países líderes en la producción de bioetanol.....	13
Tabla 4. Emisiones del etanol combustible.....	14
Tabla 5. Propiedades y características de la gasolina y el etanol.....	15
Tabla 6. Extracción de celulosa.....	35
Tabla 7. Resultados de la hidrólisis.....	38
Tabla 8. Nutrientes para la fermentación.....	40
Tabla 9. Resultados de la conversión de bioetanol.....	41
Tabla 10. Resultados del estudio de la producción de bioetanol de la semilla <i>Jatropha curcas</i>	43



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta <i>Jatropha curcas</i> (fruto y semilla).....	4
Figura 2. Bagazo de la semilla <i>Jatropha curcas</i>	5
Figura 3. Estructura de la celulosa (unidad básica de repetición).....	17
Figura 4. Espectro infrarrojo de celulosa, (absorbancia).....	18
Figura 5. Espectro infrarrojo de celulosa, (% transmitancia).....	18
Figura 6. Hidrólisis de la celulosa.....	21
Figura 7. Fermentación alcohólica: degradación de azúcares por levaduras	24
Figura 8. Diagrama de proceso para la obtención de bioetanol	26
Figura 9. Sistema de reacción-extracción de celulosa.....	28
Figura 10. Hidrólisis fuerte a 30 °C de celulosa.....	30
Figura 11. Hidrólisis débil de celulosa (105 °C).....	30
Figura 12. Celulosa no hidrolizada.....	31
Figura 13. Solución hidrolizada.....	31
Figura 14. Fermentación anaerobia de la solución hidrolizada.....	33
Figura 15. Destilación de bioetanol.....	34
Figura 16. Extracción de celulosa.....	36
Figura 17. Espectro del análisis de celulosa obtenida.....	37
Figura 18. Conversión de celulosa a glucosa.....	39
Figura 19. Conversión de etanol.....	42



ANEXOS

Anexo A. Cálculos para la preparación de la disolución al 72% de H_2SO_4 a partir de H_2SO_4 al 98 % m/V	51
Anexo B. Neutralización. Preparación solución NaOH 2N.....	51
Anexo C. Requerimientos de nutrientes para la fermentación.....	52
Anexo D. Curva de calibración.....	53
Anexo E. Producción de bioetanol.....	56
Anexo F. Información de los nutrientes de la fermentación.....	56
Anexo G. Información de los compuestos utilizados en la obtención de etanol.....	58



Capítulo I. Introducción

Actualmente se están buscando nuevas alternativas energéticas a partir de biomasa, recursos renovables y desechos agroindustriales, para desarrollar nuevas tecnologías y procesos en la obtención de biocombustibles.

La obtención de combustibles líquidos a partir de biomasa ha despertado gran interés en los últimos años. Aunque temporalmente ha cedido la crisis del petróleo, la necesidad de encontrar carburantes para motores de explosión que no dependan de aquel es evidente.

El etanol (EtOH) es el biocombustible más ampliamente utilizado hoy en día en los Estados Unidos, Brasil, Japón, Colombia, India y la Unión Europea; millones de litros se agregan al año a la gasolina para mejorar el rendimiento de los vehículos y reducir la contaminación atmosférica. El etanol es un alcohol el cual es producido principalmente convirtiendo azúcares por fermentación en etanol, para luego ser destilado. ^[1]

El bioetanol es un alcohol producido a partir de maíz, sorgo, papas, trigo, caña de azúcar, e incluso biomasa, como los son los tallos de maíz y residuos vegetales, incluyendo también los materiales procedentes de su transformación natural o artificial. La biomasa puede provenir de varios tipos: cultivos y residuos agrícolas, residuos forestales, cultivos energéticos, y otras fuentes. ^[2]

La utilización de estos recursos antes inexplorados en la industria de combustibles han surgido como respuesta a la problemática ambiental que enfrenta nuestro planeta, y, por



supuesto, al agotamiento de recursos no renovables tan indispensables como el petróleo. La implementación del bioetanol va a permitir entonces que el mundo siga su ritmo acelerado de vida pero partiendo de este; con beneficios al ambiente que reduzcan los cambios desfavorables en la naturaleza generados por la emisión de gases contaminantes a la atmósfera, entre otros.

Los residuos de biomasa contienen mezclas complejas de carbohidratos, llamados celulosa, hemicelulosa y lignina. Para obtener los azúcares de la biomasa, es tratada con ácidos o enzimas que facilitan su obtención. La celulosa y hemicelulosa son hidrolizadas por enzimas o diluidas por ácidos para obtener glucosa, y que es entonces fermentada. Los principales métodos para extraer estos azúcares son tres: 1) La hidrólisis con ácidos concentrados, 2) La hidrólisis con ácidos diluidos y 3) La hidrólisis enzimática.

Para este estudio se tomó como materia prima el bagazo de la semilla de *Jatropha curcas*, a esta semilla previamente se le extrajo el aceite, el cual es utilizado para la producción de biodiesel, un biocombustible con un gran valor energético.

1.1 Objetivo general

Obtener bioetanol a partir del bagazo de la semilla de *Jatropha curcas*, mediante una hidrolización y extracción de la celulosa para así obtener azúcares que podrán ser fermentados para la producción de bioetanol.



1.1.2 Objetivos particulares

- ⇒ Determinar el tiempo óptimo de extracción de celulosa del bagazo de la semilla.
- ⇒ Determinar la concentración de ácido para la hidrólisis fuerte de la celulosa.
- ⇒ Determinar el tiempo óptimo de fermentación de la solución hidrolizada.
- ⇒ Determinar la conversión de bioetanol (mL EtOH/g celulosa) y (mL EtOH/g bagazo).

1.2 Hipótesis

Si se hidroliza la celulosa con ácidos concentrados se podrá obtener moléculas de glucosa y si se llevan a cabo fermentaciones en un tiempo prolongado se obtendrá mayor cantidad de bioetanol.

1.3 Justificación

Por la necesidad inminente de encontrar sustitutos de los combustibles fósiles, y que mejor producirlos a base de materia orgánica renovable (biomasa), evitando así la creciente contaminación ambiental que hoy en día se está expandiendo a gran magnitud.

Por la relación que tienen los biocombustibles de primera generación con el incremento del precio de los alimentos se realizó este estudio de la producción de estos a partir de residuos agrícolas (bagazo, biocombustible de segunda generación).

Capítulo II. Antecedentes

2.1 *Jatropha curcas*

La *Jatropha curcas* es originaria de México y Centroamérica, también es llamado piñón mexicano. Es un arbusto caducifolio que pertenece a la familia Euphorbiaceae. Los frutos son cápsulas elípticas, color amarillo con 2 a 3 semillas por fruto (figura 1). La *Jatropha curcas* se desarrolla bien en las regiones del trópico seco y trópico húmedo en altitudes que van del nivel del mar hasta los 800 msnm. Se adapta a suelos pobres de baja fertilidad y posee la capacidad de restaurar suelos erosionados por la gran cantidad de materia orgánica que produce. ^[3]



Figura 1. Planta *Jatropha curcas* (fruto y semilla).

Sin embargo, el cultivo sustentable de esta planta, sin interferir con la producción de alimentos, puede ser opción viable en proyectos de energías renovables porque ofrece ventajas adicionales sobre otros cultivos.

El aceite de las semillas de *Jatropha curcas* (30% a 40%) puede ser transformado en biodiesel mediante un proceso de transesterificación y, en caso de variedades tóxicas de



Jatropha, el aceite puede ser transformado en bio-pesticidas. Los sub-productos en la elaboración de biodiesel con aceite de *Jatropha* son: glicerina y bagazo resultante de la extracción de aceite, (figura 2).



Figura 2. Bagazo de la semilla *Jatropha curcas*.

La *Jatropha curcas* es ampliamente conocida desde tiempos ancestrales en nuestro país y es único que cuenta con variedades no tóxicas que permiten entre ver el gran potencial de esta planta, por lo que es de utilidad en la producción de forraje.

El desarrollo del fruto generalmente toma entre 60 y 120 días desde la floración hasta la madurez de la semilla. La reproducción se detiene al inicio del período de lluvias. Los arbustos se desarrollan durante 3 meses en invernadero, y se transplantan al campo cuando tienen una altura de entre 40 y 50 centímetros. La producción de frutos y semillas en los árboles puede comenzar a partir del segundo o tercer año en condiciones favorables, y se estabiliza a partir del cuarto o quinto año. La cantidad de semilla por hectárea con mil árboles en estado de madurez total oscila entre 0.5 y 12.0 toneladas anuales, dependiendo de las condiciones de cultivo. ^[4]



A pesar de que la *Jatropha curcas* parece ser la opción más sustentable para la producción de bioenergía a partir de cultivos, es necesario investigar los impactos ambientales y socioeconómicos del cultivo a gran escala, así como realizar un balance entre la energía producida y las emisiones de carbono que se generan.

La siembra de *Jatropha curcas* tiene ciertas ventajas sobre la siembra de otros tipos de plantas debido a que crece en terrenos marginales y erosionados, además de que es resistente a la sequía; gracias a ello no se tienen que destruir praderas ni bosques resultando en la acumulación de toneladas de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

2.1.1 Tipos de *Jatropha*

Existen otras variedades de *Jatropha* en México, de acuerdo con investigación y colección en herbarios de México, siendo dos especies adicionales de *Jatropha* además de la *Jatropha Curcas*.

- a) *Jatropha perezia* con presencia en la región del río Balsas en el Estado de Michoacán.

- b) *Jatropha dehganii* con presencia en lomeríos del río Armería en el Estado de Jalisco.

Ambas especies pertenecientes a la sub-sección (Cav.) Muell (Instituto de Ecología y Herbario de la Facultad de Ciencias UNAM –Jaime Jiménez Ramírez). ^[5]

Considerado como de alto potencial del sureste mexicano, el Gobierno Federal, a través de la SAGARPA, lleva a cabo proyectos para el estudio y mejoramiento de esta planta para la producción de biodiesel en esta zona del país.



A nivel nacional se estiman alrededor de 2.6 millones de hectáreas con alto potencial para el cultivo de piñón.^[6]

En el estado de Chiapas y Michoacán las primeras siembras comerciales de piñón se iniciaron en 2007, estados que impulsan programas de desarrollo y la participación social, privada y pública para la producción de biocombustibles. Actualmente hay plantaciones en Sinaloa, Yucatán, Veracruz, Morelos, Oaxaca y San Luis Potosí.

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha establecido un programa nacional de investigación para desarrollar tecnología sobre biocombustibles, en especial el bioetanol y biodiesel, también realiza experimentos con cinco cultivos (piñón mexicano, caña de azúcar, remolacha azucarera, sorgo dulce e higuierilla), con los cuales se busca disminuir la emisión de bióxido de carbono.^[7]

Científicos de Brasil visitaron el campo experimental Rosario Izapa el 4 de septiembre de 2010 del (INIFAP) en la ciudad de Tapachula Chiapas, para conocer los avances que se tienen en el estudio de la *Jatropha curcas*, la cual sirve como materia prima para la obtención de biocombustibles.^[7]

Tabla 1. Ficha técnica de la *Jatropha curcas*.

Taxonomía	
Reino	Vegetal
Subreino	Tracheobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Euphorbiales
Familia	Euphorbiaceae
Género	Jatropha
Especie	Curcas



2.2 Biocombustibles

El desarrollo de cualquier país recae en tres factores: recursos humanos, los energéticos y las materias primas; la coordinación de estos determina el rápido desarrollo y el bienestar de la sociedad. El éxito o el fracaso dependerán de la profundidad de estudio y análisis que se haga de los recursos disponibles, de los procesos de conversión y transformación y de los sistemas de interacción dinámica para satisfacer las necesidades de las diferentes comunidades, tratando siempre de evitar o reducir los problemas que complican o dificultan el real bienestar que se busca.

Hoy en día la principal fuente de energía natural se halla en los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), y particularmente el petróleo y el carbón son conocidos como combustibles sucios, ya que producen alta contaminación ambiental. Ante el posible agotamiento de estos recursos, se intensifica la búsqueda de nuevas fuentes de energía que en su utilización no ocasionen tantos problemas de contaminación ambiental.^[9]

Los biocombustibles son aquellos de origen biológico obtenidos de manera renovable a partir de materia orgánica.

Los biocombustibles constituyen la primera fuente de energía que conoció la humanidad. Entre las fuentes de los biocombustibles, están la biomasa proveniente de cultivos como caña de azúcar, maíz, sorgo, yuca y otros, usada para producir etanol, y los aceites provenientes de palma, *Jatropha curcas*, higuera, grasa animal, aceites alimenticios entre otros, para producir biodiesel.^[10]



El biodiesel se obtiene a partir de aceites vegetales o grasas animales mediante procesos industriales de transesterificación, este puede ser empleado por cualquier vehículo diesel, ya que su composición y características son muy similares a las del diesel fósil, sin embargo su uso principal es como aditivo del diesel fósil porque contribuye a disminuir la emisión de contaminantes como el monóxido de carbono y los hidrocarburos volátiles.

El bioetanol es un alcohol producido a partir de materia orgánica mediante procesos como la fermentación de azúcares y una posterior destilación, este se usa como oxigenante de gasolina o como sustituto de dicho combustible en diferente porcentaje, en la actualidad es el biocombustible más utilizado en escala mundial.

Es importante establecer regulaciones dirigidas a mantener un equilibrio entre la cantidad de producto destinada al consumo alimenticio y la orientada a la producción energética, con el fin de evitar poner en riesgo la seguridad alimentaria. El problema es que el precio de ciertos alimentos ha aumentado, como es el caso del maíz, debido a una mayor demanda para la producción de bioetanol. El precio promedio del maíz se ha incrementado en un 60%, el trigo un 54% y el arroz 104%, estos aumentos son una amenaza importante para el bienestar de los consumidores, especialmente para los países pobres en desarrollo que enfrentan déficit de alimentos. Como en el caso de Estados Unidos que en 2008 el 30% de la cosecha de maíz, será utilizada para producir etanol. ^[11]

Los biocombustibles se clasifican de acuerdo a la materia prima de donde se obtienen de la siguiente manera:

- ✓ Primera generación. Se obtienen directamente de cultivos agrícolas, materia primas de uso alimentario (como el maíz, la caña de azúcar o la soja) y se utilizan



tecnologías de proceso como la fermentación (para el etanol) y la transesterificación (para el biodiesel).

- ✓ Segunda generación. Se producen a partir de productos no alimentarios, como residuos agroindustriales y se producen por procesos antes mencionados y por medio de procesos térmicos, Se pretende que estos cultivos no alimentarios ocupen áreas marginales, para no desplazar los alimentos de las tierras agrícolas.
- ✓ Tercera generación. Se producen a partir de materias primas genéticamente modificadas, esto para mejorar la conversión de biomasa a biocombustibles. Un ejemplo es el desarrollo de los árboles bajos en lignina, que reduce los costos de pretratamiento y mejoran la producción de etanol, o el maíz con celulosas integradas.
- ✓ Cuarta generación. Se obtienen de materia primas modificadas que son capaces de captar y almacenar la mayor cantidad de carbono posible, es decir, la materia prima no solo se adapta para mejorar la eficiencia del proceso, sino que se diseña para captar más CO₂, a medida que el cultivo crece. ^[12]

Para que un biocombustible sea viable se requiere que las técnicas utilizadas en el conjunto del proceso proporcionen balances energéticos con saldo positivo y que los productos derivados sean equivalentes a los de procedencia fósil, tanto desde el punto de vista de las características comerciales como de los precios de mercado.

Probablemente, para mediados de este siglo, el petróleo pasará a un lugar secundario ante un uso siempre más frecuente de fuentes renovables de energía, como la que se obtiene por la biomasa en la producción de combustibles alternos a partir de productos vegetales, desechos agroindustriales o residuos urbanos.



No está lejano el día en que los vehículos funcionen con combustibles totalmente renovables, basados en el etanol, biodiesel o biogás, a partir de cultivos como el maíz, caña de azúcar y desechos agroindustriales, sin depender del petróleo, quedando este recurso natural no renovable para la producción de plásticos, gomas, lubricantes, solventes, asfaltos y una amplia variedad de productos químicos, dejando el componente energético a cargo de sistemas motrices muy avanzados, para que nuestras ciudades disfruten de un aire más limpio y no se produzcan los gases de invernadero que causan el calentamiento global y destruyan la capa protectora de ozono.

2.2.1 Etanol

Entre los cultivos bioenergéticos más usados para la producción de etanol, la caña de azúcar es la materia prima más utilizada en países tropicales tales como Brasil e India. En Norteamérica y Europa el etanol el carburante se obtiene del almidón presente del maíz y los cereales. ^[13]

El proceso de obtención de etanol a partir de caña de azúcar comprende la extracción del jugo de caña (rico en azúcares) y su acondicionamiento para hacerlo más asimilable por las levaduras durante la fermentación. Del caldo resultante de la fermentación debe separarse la biomasa, para dar paso a la concentración de etanol, mediante diferentes operaciones unitarias y su posterior destilación, forma en la que es utilizado como aditivo oxigenante.

Para el proceso de obtención de etanol a partir de maíz es necesario hidrolizar las cadenas de amilosa y amilopectina presentes en el almidón en azúcares apropiados para la fermentación. La degradación del almidón se lleva a cabo por procesos



enzimáticos después de una etapa de gelatinización donde se solubiliza el almidón con el fin de hacerlos más accesible a las amilasas. El jarabe de glucosa resultante es el punto de partida para la fermentación alcohólica donde se obtiene una solución acuosa de etanol que debe ser enviada a una etapa de recuperación, de producto tal como en el caso de la caña de azúcar.

Es importante mencionar la obtención de etanol mediante hidratación catalítica del etileno con ácido sulfúrico como catalizador, el etileno suele provenir del etano un componente del gas natural o de nafta (derivado de petróleo).

Para obtener etanol libre de agua, se lleva a cabo una destilación azeotrópica adicionando un agente de separación (benceno o ciclohexano), este cambia la interacción molecular y elimina el azeótropo, la desventaja es utilizar una separación adicional para retirar el agente. Otra opción es a través de mayas moleculares, en la cual atraviesa el agua más no el alcohol por tener moléculas más grandes, obteniendo el alcohol deshidratado al 99.5%.

La productividad del etanol es muy variable y dependerá de las condiciones de clima, el suelo, la humedad, las técnicas agrónomas utilizadas, las variedades y muchos otros factores que afecten los cultivos, en la tabla 2 se muestra que la caña de azúcar tiene muy buenos rendimientos respecto a los otros cultivos. En México desde hace varios años, se produce etanol de caña de azúcar en los diferentes ingenios azucareros que cuentan con destilerías. ^[14]



Tabla 2. Rendimientos de etanol de diferentes cultivos.

Cultivo	L/Ha
Caña de azúcar	4500-6000
Maíz	2500-3500
Sorgo Dulce	2500-6000
Biocombustibles de segunda generación	3000-7000

En Brasil y otros países, la introducción de la mezcla gasolina/alcohol ha tenido un impacto inmediato en la calidad del aire de las grandes ciudades, al eliminar las emisiones de monóxido de carbono cuando la gasolina era el único combustible en uso; en la tabla 3 se muestran los países líderes en la producción de bioetanol. ^[15]

Tabla 3. Países líderes en la producción de bioetanol.

País	Producción de etanol (miles de millones de L/año)	% de producción
Estados Unidos de América	34	52.14
Brasil	27	41.41
China	1.9	2.91
Francia	1.2	1.84
Canadá	0.9	1.38
Alemania	0.5	0.76

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 (5%) reemplazando un oxigenante el MTBE (Metil Terbutil Eter), altamente contaminante del suelo y del agua subterránea.



En México de acuerdo con la NOM.086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005, “Especificaciones de los combustibles fósiles para la protección ambiental”, las gasolinas que se consumen en el país deben contener 2.7% de oxígeno en peso, para lo que actualmente Pemex utiliza MTBE y TAME (Teramil Metil Eter).

Pemex lleva a cabo un ambicioso plan para adicionar 6% de bioetanol las gasolinas de las tres zonas metropolitanas del país (D.F., Monterrey y Guadalajara) entre el 2010 y 2012, lo que resultará en una demanda de 986 millones de litros de bioetanol, después del 2012 este programa irá creciendo hasta abarcar toda la gasolina producida en México. ^[16]

El etanol se utiliza para aumentar el octanaje de la gasolina y mejorar la calidad de sus emisiones (tabla 4), como la mezcla E10 (10% de etanol y 90% de gasolina), pero puede ser usado en concentraciones mayores, tal como la mezcla E85 o en su forma pura, en estos casos el vehículo debe contar con modificaciones especiales, vehículos flex fuel, son los que pueden funcionar con ambos combustibles, tanto etanol como gasolina, y con la mezcla de ellos en cualquier proporción, debido a que el etanol puede corroer algunas partes plásticas de los sistemas de inyección del vehículo.

Tabla 4. Emisiones del etanol combustible.

Etanol (%)	Emisiones (gramos/kilómetro)			
	CO ₂	CO	HC	NO _x
0	168.80	37.16	4.14	1.44
5	169.06	32.25	4.16	1.39
10	176.51	28.37	3.97	1.56
15	180.57	25.10	4.14	1.64
20	185.64	20.39	4.00	1.67
25	185.92	17.29	3.92	1.77
30	187.99	13.46	3.82	1.60



Todos los fabricantes de automóviles que comercializan en el mundo aprueban el uso de ciertas mezclas de etanol y gasolina. Las mezclas de etanol como carburante se utilizan con éxito en todos los tipos de vehículos y máquinas que requieren gasolina, en la tabla 5 se muestran algunas características y propiedades de la gasolina y el etanol. [15]

Tabla 5. Propiedades y características de la gasolina y el etanol.

Propiedad	Gasolina	Etanol
Calor específico (KJ/Kg)	34900	26700
Número de octanaje (RON/MON)	91/80	109/98
Calor latente de vaporización (KJ/Kg)	376~502	903
Temperatura de ignición (°C)	220	420
Razón estequiométrica Aire/Combustible	14.5	9

Los motores a gasolina de baja eficiencia se recomienda usar gasolina con bajo nivel de octanaje, debido a la baja relación de compresión con la que operan sus cilindros. En los autos nuevos, si se les suministra gasolina de bajo octanaje, se nota un cascabeleo por la explosión prematura del combustible en la cama de combustión. A mayor compresión mayor octanaje.

En la actualidad los métodos de producción de bioetanol utilizan una cantidad significativa de energía en comparación con la energía del biocombustible producido, por esta razón no es posible sustituir enteramente el consumo actual del combustible fósil por bioetanol.



2.3 Extracción de celulosa

La composición química de las fibras naturales varía en función del tipo y origen de la fibra. Contienen principalmente distintas proporciones de celulosa, hemicelulosa, pectina y lignina. Generalmente, la composición está dada por un 60 – 80% de celulosa y hemicelulosa, un 5 – 20% de lignina, hasta un 5% de pectina y agua. Además, las fibras contienen bajos porcentajes de cera. ^[17]

La hemicelulosa son heteropolisacáridos (polisacárido compuesto por más de un tipo de monómero), unidos β (1-4) fundamentalmente xilosa, arabinosa, galactosa, manosa, glucosa, fructuosa y ácido glucorínico, de los cuales destaca la glucosa, la galactosa o fructuosa. Forma parte de las paredes de las diferentes células de los tejidos del vegetal, recubriendo la superficie de las fibras de celulosa y permitiendo el enlace de pectina.

Las hemicelulosas que forman parte de la matriz, junto a la lignina, donde reside la celulosa, representa entre el 27-29% de la misma en la corteza. La hemicelulosa es una fracción soluble en álcali (se extraen con álcalis acuosas).

La lignina es un polímero presente en las paredes celulares de los organismos del reino vegetal proporciona rigidez a la pared celular es la única fibra no polisacárido que se conoce. La lignina es un polímero insoluble en ácidos y soluble en álcalis fuertes.

La celulosa es el compuesto más abundante en la tierra, y por lo tanto, el carbohidrato más abundante, la razón de ello es que es el componente mayoritario de las paredes celulares de las plantas superiores. La celulosa es un homopolímero de alto peso



molecular, lineal e insoluble, de unidades β -D glucopiranososa unidas por enlaces glicosídicos; la estructura se muestra de esta celulosa en la figura 3. Debido a su linealidad y a su naturaleza estereorregular, las moléculas de celulosa se asocian entre sí a lo largo de grandes regiones, formando haces de fibras policristalinos. Las regiones cristalinas se mantienen juntas por un gran número de puentes de hidrógeno. La celulosa es insoluble porque, para que pudiera disolverse, la mayoría de estos puentes tendría que romperse al mismo tiempo. [18]

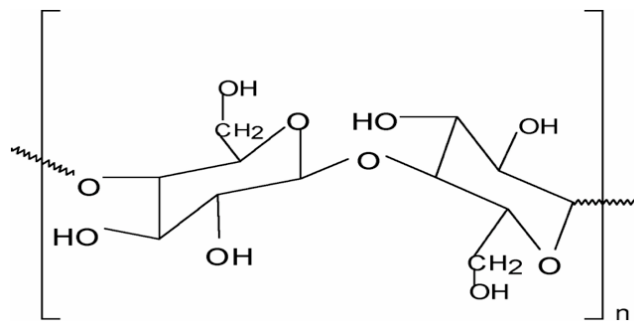


Figura 3. Estructura de la celulosa (unidad básica de repetición).

La espectrofotometría es el método de análisis óptico más usado en las investigaciones químicas y biológicas. El espectrofotómetro es un instrumento que permite comparar la radiación absorbida o transmitida por una solución que contiene una cantidad desconocida de soluto, y una que contiene una cantidad conocida de la misma sustancia.

El análisis mediante FTIR (por sus siglas en inglés Fourier Transform Infrared Spectroscopy) que permite caracterizar la estructura química de compuestos mediante la identificación de los grupos funcionales presentes en cada muestra analizada. La celulosa, la hemicelulosa y la lignina están compuestas principalmente por alcanos, ésteres, cetonas, alcoholes y anillos aromáticos con diferentes grupos funcionales. Todas las muestras presentan dos regiones principales de absorción (Figura 4) o transmisión (figura 5). La primera de ellas, presente a bajas longitudes de onda, en el



rango de 700 cm^{-1} a 1800 cm^{-1} . La segunda de ellas en el rango de 2700 cm^{-1} – 3500 cm^{-1} . Pudieron identificarse picos de absorción específicos de cada componente. La lignina presenta picos característicos en el rango 1500 cm^{-1} – 1600 cm^{-1} correspondientes a la vibración de la estructura de anillos aromáticos. Al mismo tiempo, debido a la presencia de grupos funcionales tales como $-\text{O}-\text{CH}_3$, $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ y $\text{C}=\text{C}$, se observa absorbancia en la región comprendida entre 1830 cm^{-1} y 1730 cm^{-1} . [19]

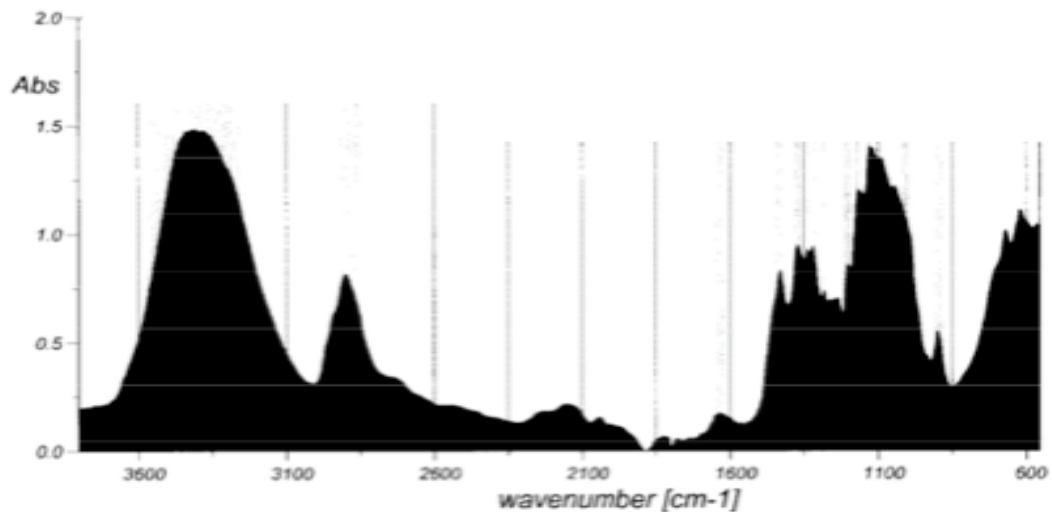


Figura 4. Espectro infrarrojo de celulosa, (absorbancia).

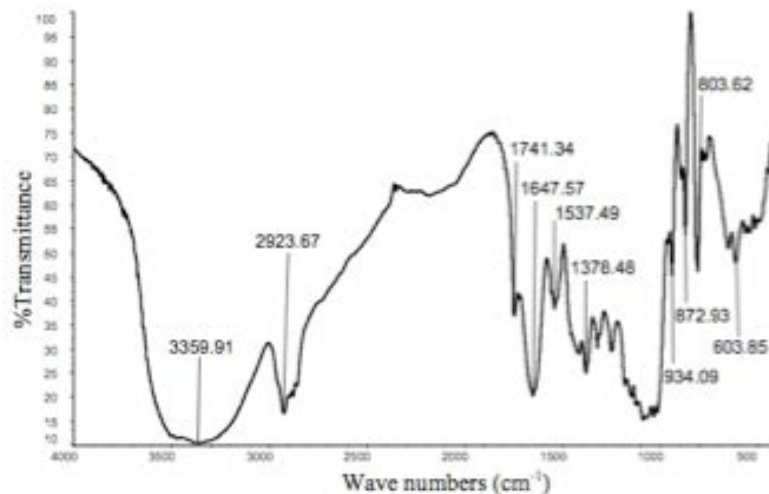


Figura 5. Espectro infrarrojo de celulosa, (% transmitancia).



2.4 Hidrólisis de la celulosa

La hidrólisis de un enlace glucosídico se lleva a cabo mediante la disociación de una molécula de agua en el medio.

La celulosa es muy resistente a la hidrólisis, sobre todo cuando está unida a la lignina, y exige condiciones muy drásticas o enzimáticas específicas (celulasas). Los procesos industriales para hidrolizar celulosa (madera, residuos lignocelulósicos, etc.) utilizan ácidos muy concentrados o ácidos diluidos a temperaturas mayores de los 100 °C. Los procesos de hidrólisis ácida han alcanzado una extensa aplicación industrial. Los procesos enzimáticos aún no se utilizan en escala industrial.^[20]

La hidrólisis ácida de la celulosa, como la madera, para la producción de azúcares fermentables, ha sido estudiada en laboratorios de las instalaciones industriales, proceso que ha estado operando durante los últimos 40 años. Incluso antes, bajo el estímulo de las condiciones de tiempo de guerra. Instalaciones europeas y norteamericanas fueron construidas para la hidrólisis ácida de la madera. Los azúcares producidos fueron fermentados en etanol, que es un combustible para motor aceptable.

La hidrólisis con ácido diluido se encuentra, en una etapa más avanzada que las demás, pero con graves limitaciones de rendimiento (50%-70%). La hidrólisis con ácido concentrado presenta rendimientos mayores y menores problemas con la producción de inhibidores, aunque la necesidad de recuperación del ácido y de equipos resistentes a la corrosión comprometa el desempeño económico del proceso. La hidrólisis enzimática, por su lado, presenta altos rendimientos (75%-85%). Además, la no utilización de ácidos puede representar grandes ventajas, no sólo económicas (equipos con materiales más



baratos y menor costo operacional), sino también ambientales (no hay producción de residuos). Es importante observar que, en la mayoría de los casos, estos procesos están todavía en fases iniciales de desarrollo, con experimentos conducidos en volúmenes relativamente reducidos. Para los sistemas reales, con grandes volúmenes, tales rendimientos deberán ser naturalmente menores.

Entre los agentes para hidrolizar la celulosa se encuentran los tres ácidos fuertes: H_2SO_4 al 72%, HCl al 41% y H_3PO_4 al 85%; la acción de los tres ácidos es disolver los carbohidratos por completo a bajas temperaturas (4-20 °C).

Los hidratos de carbono disueltos son principalmente oligómeros, que pueden ser hidrolizados casi por completo a los monómeros de dilución de 3-6% de ácido y calentamiento a 100-120 °C durante 30-360 min. Estas observaciones fundamentales se han utilizado como base para las instalaciones industriales, utilizando HCl y H_2SO_4 concentrado.

La unión entre las unidades de glucosa se conoce como el enlace beta-acetal (β -acetal) y se da entre los carbonos 1 y 4 de éstas. La hidrólisis de la celulosa consiste en la ruptura de dichos enlaces, ocasionando que disminuya la resistencia del polímero, (figura 6), es decir:

- Ataque protónico (H^+) del enlace β -acetal (1-4) de la celulosa.
- Ruptura del enlace y formación del catión carbonio.
- Reacción del radical carbonio con agua.
- Producción de grupos terminales hidroxilo o carboxilo.



- Liberación de otro radical H^+ que continúa la reacción (por lo que es cíclica).^[21]

La hemicelulosa está siempre acompañando a la celulosa, y se encuentra sobre todo en paredes celulares. Sus componentes principales son las gomas vegetales, que constan de una mezcla de distintos polisacáridos y producen en la hidrólisis D-xilosa (del xilano), D-manosa (del manano), D-galactosa (del galactano) y ácido D-glucorónico.

El hidrógeno se une al oxígeno del extremo de una de las moléculas de azúcar, mientras el grupo hidroxilo se une al carbono libre del otro residuo de azúcar.

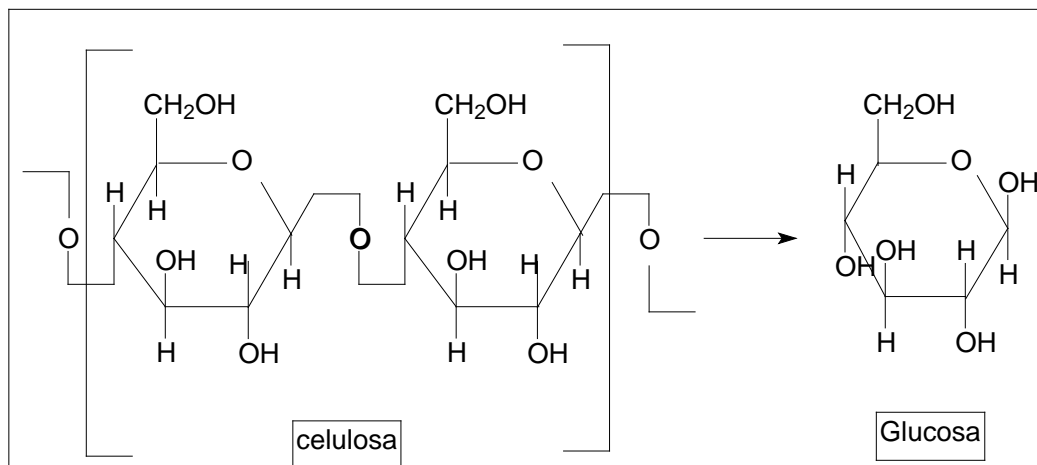


Figura 6. Hidrólisis de la celulosa.

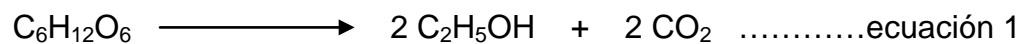
Las celulasas son enzimas producidas por hongos celulósicos, sobre todo lignina que se ha degradado parcialmente por ejemplo, por un tratamiento previo con H_2O_2 alcalina, ésta enzima está especializada en romper los enlaces β -1,4-glicosídicos hidrolizando la molécula de celulosa, quedando disponibles las glucosas como fuente de energía.



2.5 Proceso de Fermentación

La degradación de azúcares por las levaduras, vía glucólica, comprende todo un conjunto de reacciones que permiten a las células transformar la glucosa en ácido pirúvico, gracias a un importante contenido enzimático elaborado en el citoplasma. ^[22]

La fermentación alcohólica (denominada también como fermentación del etanol o incluso fermentación etílica) es un proceso biológico de fermentación en plena ausencia de aire (oxígeno - O₂), originado por la actividad de algunos microorganismos que procesan los hidratos de carbono (por regla general azúcares: como pueden ser por la glucosa, la fructosa, la sacarosa, el almidón, etc.), para obtener como productos finales etanol (cuya fórmula química es: CH₃-CH₂-OH), dióxido de carbono (CO₂) en forma de gas, como se muestra en la ecuación 1, y unas moléculas de Adenosín Trifosfato (ATP) que consumen los propios microorganismos en su metabolismo celular energético anaeróbico. ^[23]



Uno de los microorganismos más utilizados para la obtención de etanol es la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, que convierte las hexosas en etanol en condiciones anaeróbicas, generando 2 moles del compuesto portador de energía en los seres vivos, el (ATP), por cada mol de hexosa consumida, además de 2 moles de etanol. Este microorganismo tiene también la capacidad de convertir las hexosas en CO₂ aeróbicamente, por lo que en dependencia de las concentraciones de O₂ en el medio de cultivo y de la fuente de carbono, se puede favorecer uno de los dos procesos. Las levaduras tienen la ventaja adicional de tolerar concentraciones relativamente altas de etanol.



La rapidez de fermentación se refiere a la cantidad de alcohol ó de CO₂ producido por unidad de tiempo y en general, la rapidez aumenta con el aumento de la temperatura, pero cuando se alcanzan los 38-40 °C se convierte en factor limitante. Cuando la fermentación se paraliza, parte de los azúcares se quedan sin transformar y en consecuencia el grado alcohólico alcanzado es bajo. La producción de bioetanol depende de diversos factores, como lo son: temperatura, pH, nutrientes, concentración de CO₂ y alcohol producido.

En la figura 7 se observa el mecanismo de reacción de la fermentación para la producción de bioetanol a partir de la degradación de glucosa por levaduras. La reacción ocurre de la siguiente manera:

- ✓ El primer paso es la formación de ésteres de los azúcares glucosa o fructosa, mecanismo bioquímico fundamentado en razones energéticas, ya que las moléculas de fosfato pueden dar con ciertos radicales orgánicos, enlaces ricos en energía.
- ✓ Hasta la ruptura de la molécula de hexosa (fructosa-1.6 difosfato), en dos triosas isómeras (gliceraldehído 3-fosfato y dihidroxiacetona 3-fosfato).
- ✓ El gliceraldehído 3.fosfato por acción posterior de la triosafosfato-deshidrogenasa, se transforma en ácido fosfo-3 glicérico, hay una pérdida de una molécula de agua
- ✓ Estas reacciones seriadas de degradación de los azúcares hasta ácido pirúvico constituyen el primer estadio de la fermentación alcohólica. Con posterioridad las células de levadura actúan sobre el ácido pirúvico descarboxilandolo (pirúvato descarboxilasa, con tiamina como grupo prostético) y transformándolo en



acetaldehído, que finalmente es reducido en alcohol, debido a la alcoholdehidrogenasa en presencia de NAD reducido. [23]

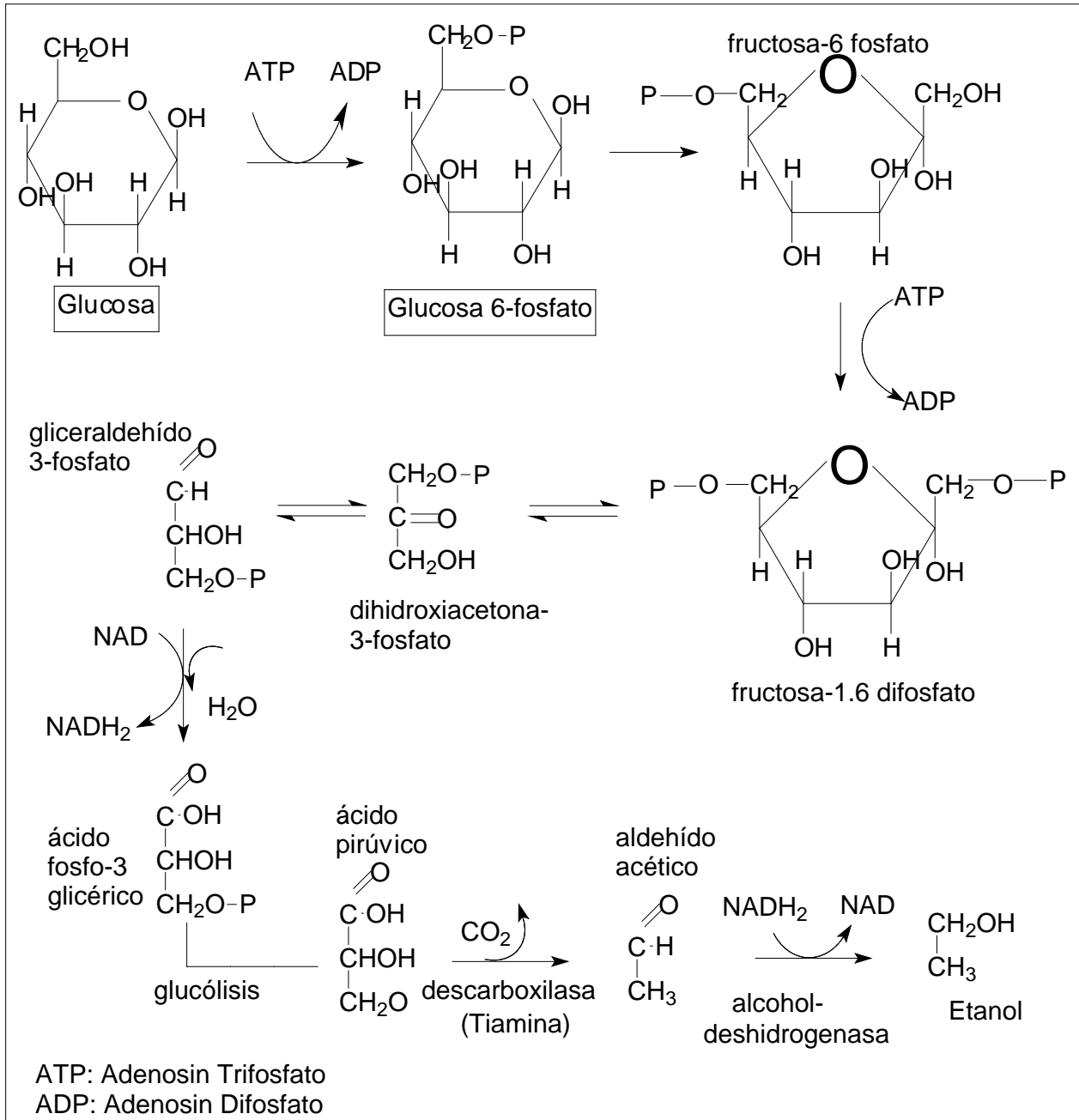


Figura 7. Fermentación alcohólica: degradación de azúcares por levaduras.



El rango de pH en el cual las levaduras llevan a cabo su metabolismo es de 5-7, por lo que es necesario hacer una neutralización después de la hidrólisis de la celulosa, llevándose a cabo la siguiente reacción:





Capítulo III. Metodología

En la figura 10 se muestra el procedimiento utilizado en el presente trabajo para la obtención de bioetanol.

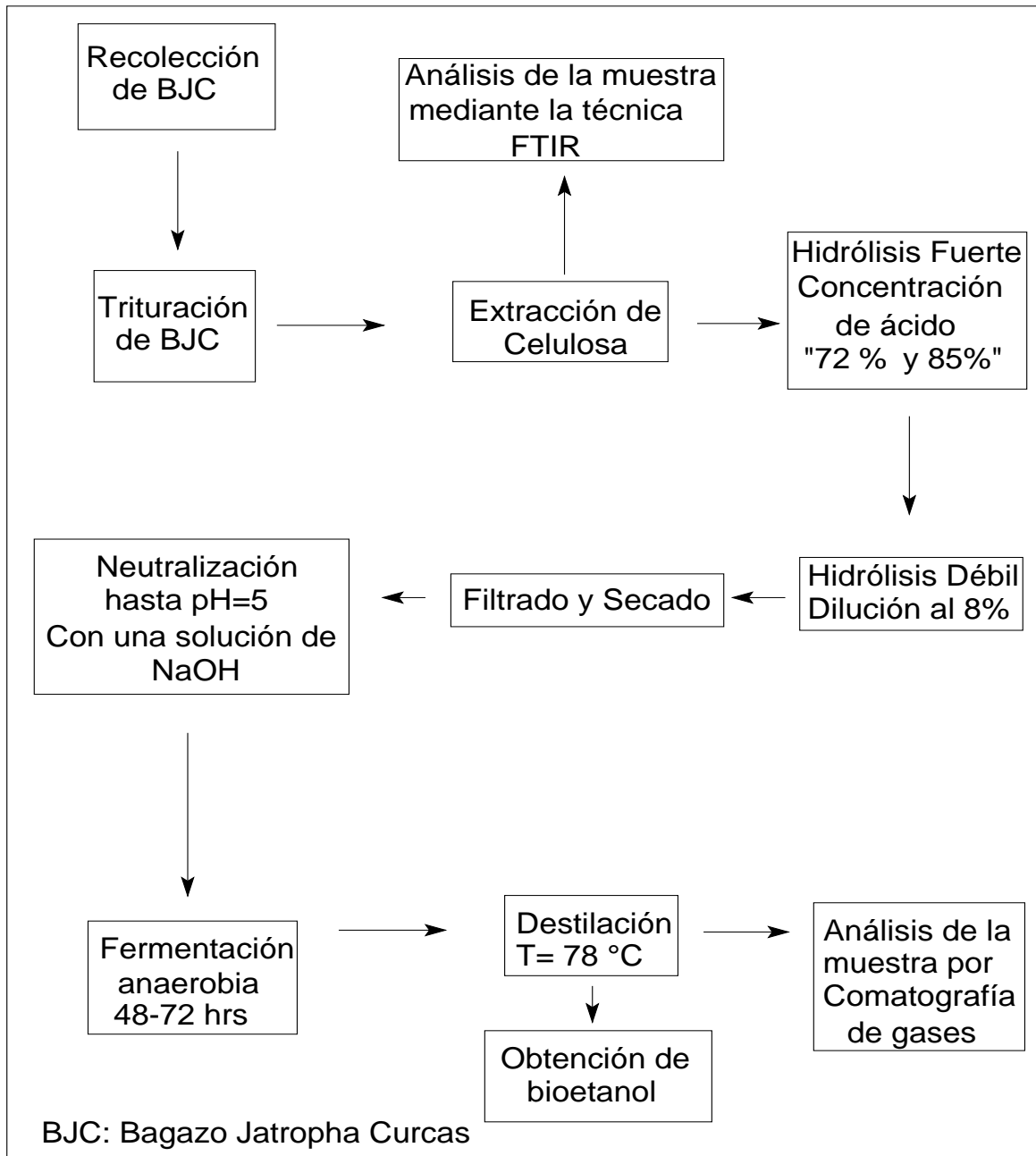


Figura 8. Diagrama de proceso para la obtención de bioetanol.



3.1. Extracción y secado de celulosa

Fundamento: En este trabajo, se extrajo la celulosa del bagazo de *Jatropha curcas* (BJC) para separar la hemicelulosa, celulosa y lignina, utilizando el método de Vieira y col., 2002. ^[24]

Procedimiento: Se pesó en una balanza sobre un vidrio de reloj 5 g de bagazo de *Jatropha curcas*, posteriormente en un mortero de porcelana se trituró y se colocó en un reactor de 1L, el cual se le agregaron 400 mL de 1-octanol y 10 mL de NaOH al 40 % en peso, y se dejó reaccionar a diferentes tiempos (3, 4 y 5 hrs) a una temperatura de 120 °C en un sistema con condensación como el que se muestra en la figura 9. Pasado el tiempo de reacción se filtró y este se lavó con agua destilada hasta eliminar el olor a n-octanol, y posteriormente secó en una estufa a 70 °C hasta peso constante.

Relación de octanol y solución de NaOH por gramo de bagazo de *Jatropha curcas*.

Materia prima "Bagazo JC" (g)	Octanol (mL)	Solución de NaOH 40 % m/V (mL)
1	80	2



Figura 9. Sistema de reacción-extracción de celulosa.

Para la determinación de la conversión de celulosa obtenida del BJC se analizó mediante análisis de infrarrojo (FTIR). La muestra sólida se molió con KBr para formar un polvo muy fino. Este polvo se comprimió en una pastilla delgada para ser colocada en el equipo. El espectro obtenido muestra los grupos característicos de la celulosa y el tipo de celulosa obtenida del BJC. Para este análisis se utilizó un espectrómetro de transformadas de Fourier marca Perkin Elmer modelo Spectrum One mediante la técnica ATR con 16 barridos y un intervalo de frecuencia de $4000-6000\text{ cm}^{-1}$.



3.2 Hidrólisis

Hidrólisis fuerte. Relación de la cantidad de volumen de H_2SO_4 (72%, 85%) para la primera hidrólisis.

Fundamento: Se realizó la hidrólisis para obtener azúcares simples fermentables, ya que la celulosa está compuesta por cadenas largas de moléculas que a su vez se agrupan en estructuras superiores que dificultan su hidrólisis.

Se llevó a cabo la hidrólisis ácida con H_2SO_4 a diferentes concentraciones de este, a 72% y a 85 % en la hidrólisis fuerte, con 1 hora de reacción y a una temperatura de 30 °C. Posteriormente se diluyó hasta el 8 % dejando reaccionar por 3 horas a 120 °C, en una segunda etapa de hidrólisis.

La tabla nos muestra los mL de H_2SO_4 necesarios para hidrolizar un gramo de celulosa extraída del bagazo de *Jatropha curcas*.

Materia prima "Celulosa" (g)	H_2SO_4 (mL)	Tiempo (hrs)	Temperatura ° C
1	10	1	30

3.2.1. Hidrólisis fuerte

Procedimiento: Se pesó la celulosa extraída del bagazo en una balanza, posteriormente se preparó la cantidad necesaria de ácido sulfúrico (85% o 72 %) en peso. En un reactor de 1L, se le agrega la celulosa y el ácido y se deja reaccionar durante 1 hora a 30 °C (figura 10). La solución de ácido sulfúrico se preparó a partir de ácido sulfúrico concentrado al 98% en peso (Anexo A).



Figura 10. Hidrólisis fuerte a 30 °C de celulosa.

3.2.2 Hidrólisis débil

Procedimiento: Se realizó una segunda etapa para la hidrólisis de la celulosa, que consiste en una dilución del H_2SO_4 (85% o 72%) al 8% en peso y se dejó durante 3 h a 105 °C, en un sistema reaccionante como el que se muestra en la figura 11.



Figura 11. Hidrólisis débil de celulosa (105 °C).



Se determinó la conversión de la hidrólisis, filtrando la muestra y dejando secar el filtrado en una estufa a 70 °C, hasta que el peso de la muestra permaneció constante, como se muestra en la figura 12.



Figura 12. Celulosa no hidrolizada.

La solución filtrada de la hidrólisis se neutralizó con una solución de NaOH 2 N, (anexo B), hasta tener la solución con un pH entre 5-6 esto con la valoración de papel pH; la solución hidrolizada se muestra en la figura 13.



Figura 13. Solución hidrolizada.



3.3 Fermentación

Fundamento: La fermentación alcohólica es un proceso en ausencia de oxígeno, las levaduras y otros microorganismos producen alcohol etílico y dióxido de carbono, como productos de desecho.

Los nutrientes están en proporción a los principales componentes de la célula de levadura. Estos incluyen el carbono, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno. Pequeñas cantidades de fósforo, azufre, potasio y magnesio, también deben ser proporcionadas. Minerales (es decir, Mn, Co, Cu, Zn) y los factores de crecimiento orgánico (aminoácidos, ácidos nucleicos y vitaminas) también son necesarios en pequeñas cantidades. Los factores de crecimiento más importantes para la levadura son las vitaminas, biotina, ácido pantoténico, inositol, tiamina y el ácido fólico. ^[25]

Procedimiento: Ya neutralizada la solución se llevó a cabo la fermentación, en un matraz erlenmeyer de 2000 mL se vertió la solución hidrólizada y se le agregaron los siguientes componentes: levadura de pan *Saccharomyces cerevisiae* 90 g/L, peptona (proteína) 4 g/L, extracto de levadura 1 g/L, $MgSO_4 \cdot H_2O$ 0.5 g/L y KH_2PO_4 1 g/L. Estos compuestos son dependientes de la cantidad de solución (Anexo C). Se introduce un imán teflonado y se tapa con un tapón de corcho y parafilm para impedir el paso de oxígeno. El matraz se coloca en una parrilla con agitación magnética a 30 °C, variando el tiempo de fermentación (48-72 hrs), (figura 14).



Figura 14. Fermentación anaeróbica de la solución hidrolizada.

3.4 Destilación

Fundamento: Para el caso más simple de una disolución binaria, el proceso se basa en la separación por destilación y posterior condensación del componente volátil, en tanto que el otro componente queda como residuo. La separación de los componentes será tanto más eficaz cuanto mayor sea la diferencia entre sus puntos de ebullición.

Procedimiento: Terminada la fermentación, el fermentado se vació en un matraz de bola de 500 mL y se procede a una de destilación, para obtener el bioetanol, como se muestra en la figura 25, este destila a 78 °C.



El análisis del destilado se realizó utilizando un cromatógrafo de gases, y mediante una curva de calibración de etanol-agua, se pudo obtener la cantidad de bioetanol presente en el destilado (Anexo D).



Figura 15. Destilación de bioetanol.



Capítulo IV. Resultados y análisis

4.1 Resultados de la extracción de celulosa del bagazo de la semilla de *Jatropha curcas*

Los resultados obtenidos de las extracciones de celulosa del bagazo tanto fibra como bagazo de la semilla de *Jatropha curcas* a diferentes tiempos, se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Extracción de celulosa.

Experimento	Extracción			
No.	Tiempo de extracción (hrs)	Materia prima (g)	Celulosa (g)	% de extracción
Fibra				
1	5	2.5	0.295	11.8
2	5	5	0.47	9.4
3	3	10	0.695	6.95
4	4	10	0.909	9.09
Bagazo				
5	4	10	2.59	25.9
6	4	10	2.328	23.28
7	4	10	2.132	21.32
8	4	5	1.42	28.4
9	4	5	1.306	26.12
10	4	5	1.27	25.4

De los resultados en la tabla 6, los experimentos 1,2,3,4 en los cuales se usó como materia prima la fibra de la semilla de *Jatropha curcas* las extracciones fueron pobres en relación con la extracción del bagazo (experimentos 5-10), esto se debió a que la cáscara del bagazo interfirió en el peso final de la celulosa.



Para los experimentos utilizando fibra se tomaron muestras a diferentes tiempos con la finalidad de determinar el tiempo óptimo de extracción y poder analizar la celulosa obtenida y la energía necesaria durante la extracción. La figura 16 muestra el comportamiento obtenido de celulosa durante el experimento.

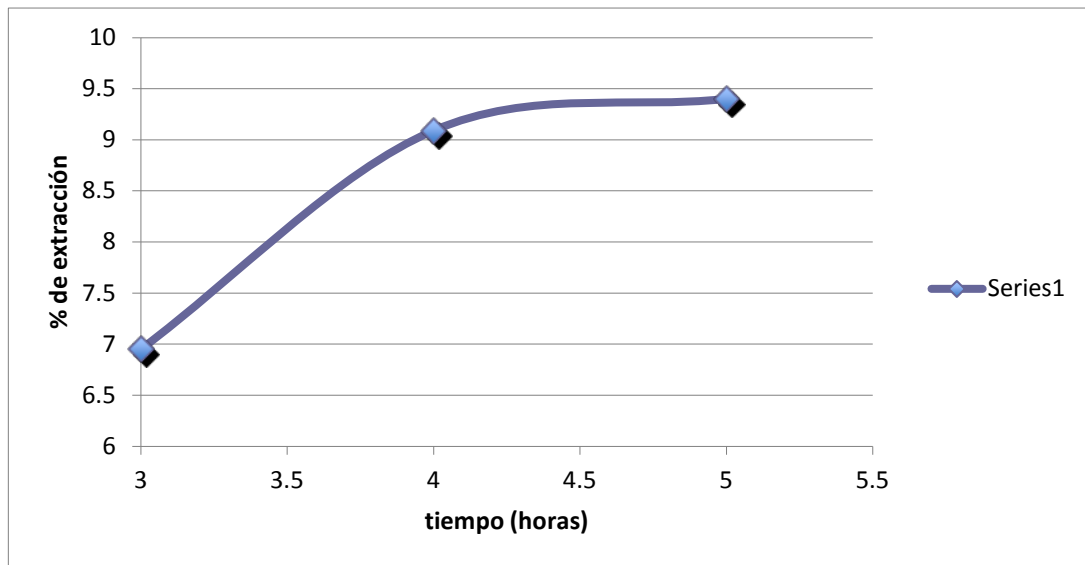


Figura 16. Extracción de celulosa.

En la gráfica anterior se observa que el porcentaje de extracción va aumentando hasta a un límite máximo de celulosa de celulosa con un tiempo de extracción de celulosa de 4 horas.

En la figura 17 se observa el espectro obtenido, se tienen las bandas características de la celulosa, mostrando en la región de los 3440 cm^{-1} los grupos -OH, a 2926 cm^{-1} los grupos O-H, a 1390 cm^{-1} el grupo C-H y a 1063 cm^{-1} los grupos C-O-C de la celulosa. Este espectro concuerda con los resultados presentados por Vieira y col., 2002.

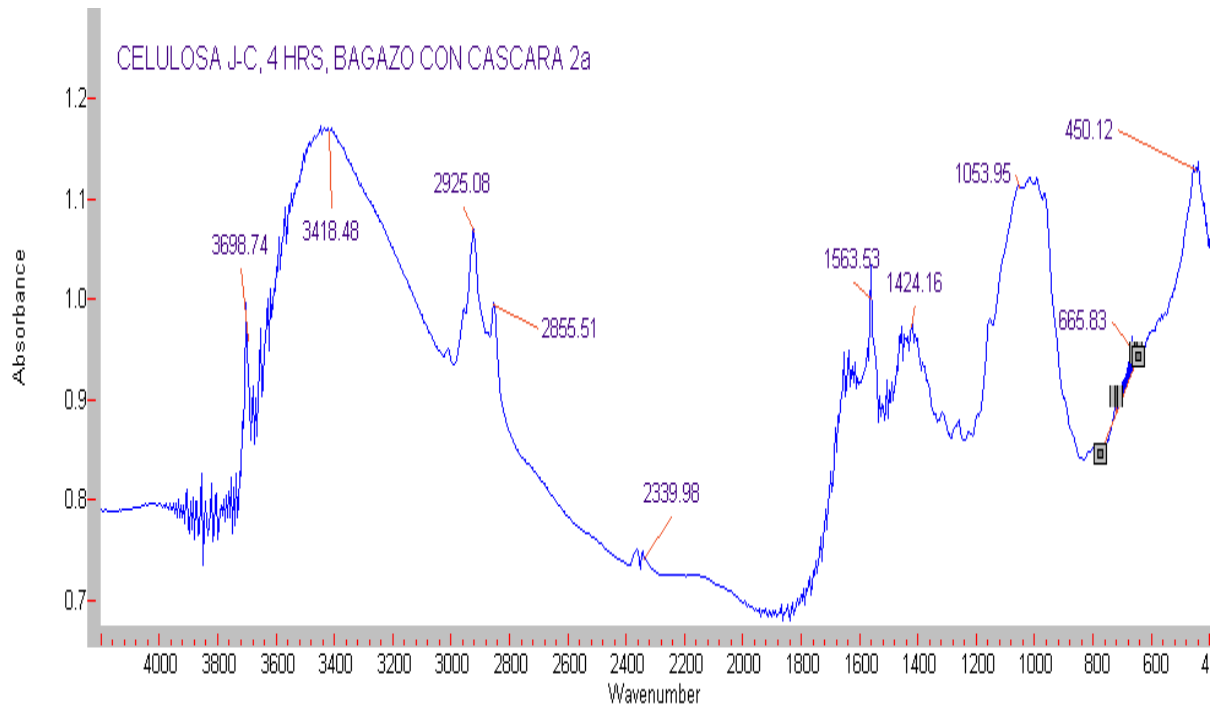


Figura 17. Espectro del análisis de celulosa obtenida.



4.2 Resultados de la hidrólisis a diferentes concentraciones de ácido sulfúrico

Tabla 7. Resultados de la hidrólisis.

Experimento	Hidrólisis			
No.	Materia prima (g)	Concentración de ácido H ₂ SO ₄ (%)	Celulosa no hidrolizada (g)	Conversión (%)
Fibra				
1	0.295	72	0.079	73.22
2	0.470	72	0.206	56.17
3	0.695	72	0.243	65.04
4	0.909	72	0.232	74.48
Bagazo				
5	2.59	72	1.861	28.15
6	2.328	85	1.450	37.71
7	2.132	85	1.300	39.02
8	1.420	72	0.968	31.83
9	1.306	85	0.906	30.63
10	1.270	85	0.815	35.83

La cantidad de celulosa obtenida utilizando fibra durante la hidrólisis fue mayor debido a que contenía residuos de cáscara como se mencionó en el punto 4.2, los resultados son semejantes usando una concentración de ácido al 72% como 85 %, como se observa en la tabla 7, sin embargo, se obtuvo un alto porcentaje de conversión de hidrólisis de bagazo del 39%, usando ácido al 85% mientras un 31% usando ácido al 72%.

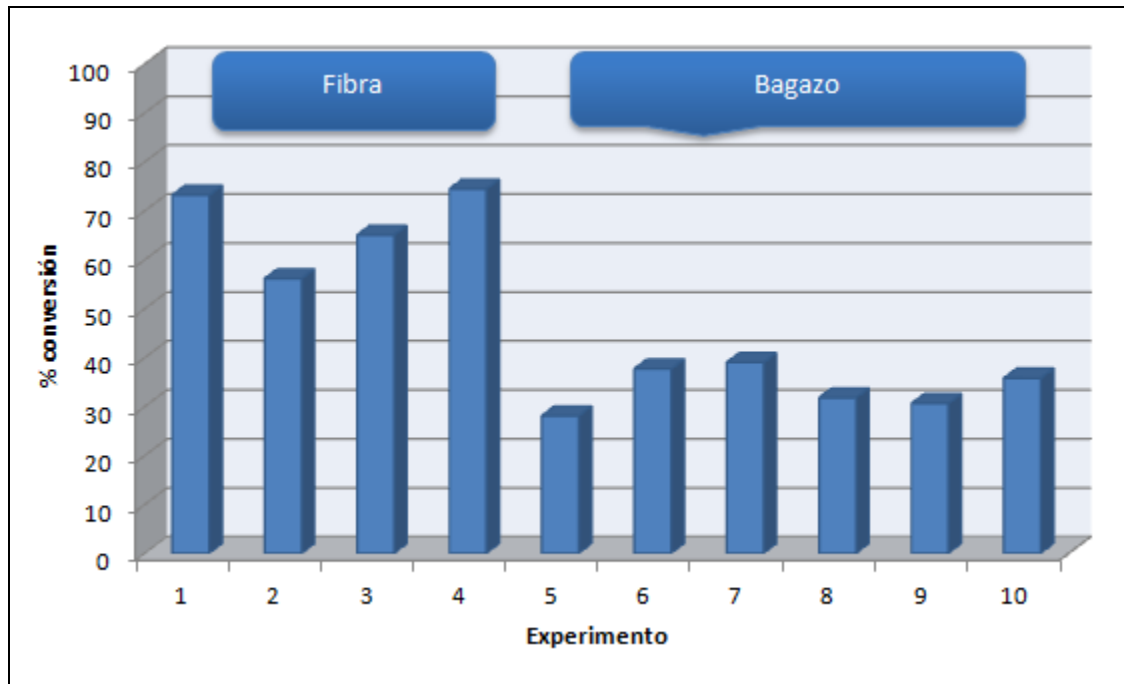


Figura 18. Conversión de celulosa a glucosa.

Se obtuvo una alta conversión de celulosa a glucosa en los experimentos en los cuales se utilizó la celulosa extraída de la fibra del bagazo, en cambio la hidrólisis de la celulosa obtenida del bagazo (fibra y cáscara) fue menor. Esto puede deberse a la cantidad de celulosa contenida en cada componente (fibra o cáscara), lo anterior debido que el bagazo contiene lignina y pectina la cual interfiere en la hidrólisis ácida, ocasionando un decremento en la conversión.

En la figura 18 se muestran que los experimentos 6, 7 y 10 son los que tienen un mejor porcentaje de conversión 37, 39 y 35% respectivamente, usando ácido sulfúrico al 85% en la primera etapa de la hidrólisis, mientras que los experimentos 5 y 8 tuvieron menor % en la conversión, del 28 y 31%, respectivamente.



4.3 Resultados de los diferentes tiempos de fermentación de la hidrólisis de celulosa

Para la fermentación se manejó la siguiente relación de nutrientes.

Tabla 8. Nutrientes para la fermentación.

Experimento	Fermentación						
No.	Tiempo (hrs)	Solución (L)	Estracto de levadura (g)	Peptona (g)	MgSO ₄ 7H ₂ O (g)	KH ₂ PO ₄ (g)	Levadura de pan (g)
Fibra							
1	48	0.075	0.0375	0.15	0.01875	0.0375	3.75
2	72	0.08	0.0400	0.16	0.0200	0.0400	4.00
3	48	0.12	0.0450	0.18	0.0225	0.0450	4.50
4	72	0.12	0.0450	0.18	0.0225	0.0450	4.50
Bagazo							
5	72	0.53	0.265	1.06	0.1325	0.265	26.5
6	48	0.6	0.300	1.20	0.1500	0.300	30.0
7	48	0.6	0.300	1.20	0.1500	0.300	20.0
8	48	0.4	0.200	0.80	0.1000	0.200	20.0
9	72	0.4	0.200	0.20	0.1000	0.200	20.0
10	72	0.3	0.225	0.90	0.1125	0.225	22.5

Se llevaron a cabo las fermentaciones a diferentes tiempos, para saber cuál es el tiempo óptimo en el cual se da una mayor conversión de bioetanol.

En la tabla 8 se muestran las cantidades de cada nutriente, como se observa para soluciones pequeñas los valores son muy pequeños por lo que los errores de



medición en los pesos son poco precisos, este factor pudo afectar en el metabolismo de la levadura como consecuencia en la producción de etanol.

4.4 Resultados de la conversión de bioetanol después de la destilación

En la tabla 9 se presentan los resultados de la conversión de bioetanol, (anexo E) obtenidos del bagazo de la semilla de *Jatropha curcas*, tanto de la fibra como del bagazo.

Tabla 9. Resultados de la conversión de bioetanol.

experimento	Obtención de bioetanol				
No.	Concentración (g/mL)	Muestra (mL)	Bioetanol (g)	Bioetanol (mL)	Conversión de bioetanol (mL EtOH/g Celulosa)%
Fibra					
1	0.0017	60	0.102	0.129	43.71
2	0.0045	60	0.269	0.341	72.50
3	0.0055	70	0.384	0.486	69.99
4	0.0041	80	0.326	0.413	45.40
Bagazo					
5	0.0013	380	0.484	0.614	23.69
6	0.0018	300	0.530	0.671	28.83
7	0.0026	300	0.780	0.989	46.39
8	0.0029	230	0.660	0.837	58.94
9	0.0024	250	0.588	0.746	57.11
10	0.0028	200	0.560	0.710	55.91

Como se muestran en los resultados en la tabla anterior, la conversión de bioetanol a partir de la celulosa de la fibra de la semilla de *Jatropha Curcas* es mayor respecto al bagazo, esto se debe a la cantidad de celulosa extraída y que la mayoría de esta fue hidrolizada.



Pero estos resultados solo sirven para comparar, porque el interés es sobre el bagazo de dicha semilla, (figura 19).

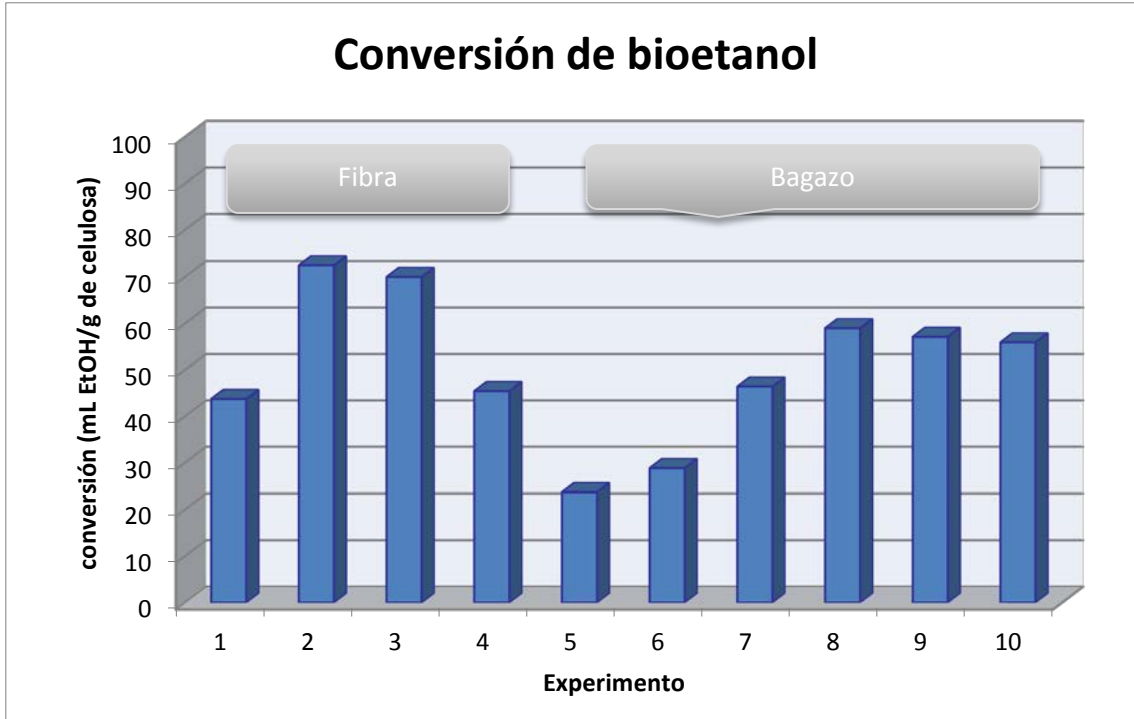


Figura 19. Conversión de etanol.

El interés está en los experimentos (5, 6, 7, 9, 10) de los cuales el experimento 8 presenta la mayor conversión, y el experimento 5 la menor conversión (figura 19).



Tabla 10. Resultados del estudio de la producción de bioetanol de la semilla *Jatropha curcas*.

Experimento	Extracción		Hidrólisis		Fermentación	Destilación
No.	Tiempo (hrs)	% de extracción	Concentración de ácido H ₂ SO ₄ (g/mL)	Conversión (%)	Tiempo (hrs)	Conversión de bioetanol (mL EtOH/g bagazo)
1	5	11.80	72	73.22	48	5.16
2	5	9.40	72	56.17	72	6.82
3	3	6.95	72	65.04	48	4.86
4	4	9.09	72	74.48	72	4.13
5	4	25.9	72	28.15	72	6.14
6	4	23.28	85	37.71	48	6.71
7	4	21.32	85	39.02	48	9.89
8	4	37.04	72	33.59	48	16.74
9	4	26.12	85	30.63	72	14.92
10	4	25.40	85	35.83	72	14.2

Los experimentos 5, 6, 7, 9 y 10, tienen un % de extracción semejante, este fue realizado con un tiempo de 4 horas; este tiempo se obtuvo de la extracción de celulosa de la fibra (experimentos 1, 2, 3 y 4), en los cuales se varió el tiempo para establecer el óptimo.

Como se observa en la tabla 10, en la parte de hidrólisis, se tienen los resultados de la conversión de la celulosa a un azúcar simple "glucosa", la conversión fue un poco mayor utilizando ácido al 85% respecto al del 72%.



La conversión de etanol mayor se obtuvo en los experimentos (1,2,3,4), esto fue por haber usado fibra como materia prima.

El interés está en los experimentos (5, 6, 7, 9, 10) de los cuales el experimento 8 presenta la mayor conversión, y el experimento 5 la menor conversión.

Tratamiento de sustancias: El n-octanol se recuperó, para su posterior uso con una destilación a vacío separándolo de la materia orgánica, debido a la extracción de celulosa, el residuo se envió a tratamiento de parte de la facultad de Química del conjunto E.

El tratamiento propuesto para la solución acuosa remanente, terminada la fermentación para obtener bioetanol, consiste en una evaporación y una posterior incineración, los vapores pueden ser condensados para usarla como agua de proceso.



Capítulo V

Conclusiones

La extracción de la celulosa del bagazo de la *Jatropha curcas* tuvo buenos rendimientos, se comprobó la presencia de esta con las comparaciones de dos espectros FTIR de la literatura citada, localizando las bandas características de los grupos funcionales del compuesto; la mejor extracción se obtuvo con un tiempo de 4 horas de reacción.

Se llevó a cabo una hidrólisis ácida porque es la más utilizada a escala industrial, pudiendo con este trabajo demostrar la factibilidad del proceso.

La producción de bioetanol se realizó a diferentes concentraciones de H_2SO_4 (72 % y 85%), esto para obtener una mayor conversión a celulosa, debido a la ruptura de enlaces glucosídicos.

De los resultados se obtuvo una mayor conversión al 85% (chechar punto 4.2) de ácido utilizado para la hidrólisis, esto se debió a un mayor número de ataques a dichos enlaces; la ruptura de estos enlaces requiere una gran cantidad de energía, para esto se utiliza un ácido concentrado o uno diluido pero a tiempos de reacción prolongados y temperaturas superiores a los 100 °C.

El tiempo de fermentación es una variable de suma importancia en la producción de etanol, de los resultados obtenidos en la conversión de etanol a partir de la celulosa extraída, se tiene conversiones similares en las fermentaciones realizadas a 72 y 48 horas, esto se debe a la inhibición del metabolismo de las levaduras por altas concentración de etanol en el fermentado; es importante mencionar que en algunos experimentos fue difícil el control de la temperatura, por



lo que pudo afectar en el metabolismo de la levadura en la producción de bioetanol.

Por su estado físico final de la fermentación y el producto de interés final “bioetanol” se realizó una destilación, siendo esta una técnica de separación sencilla para la recuperación del producto final.

El análisis de la muestra por cromatografía de gases, nos arroja como resultados el etanol como componente principal del destilado, este se comparó con los cromatogramas del análisis de la curva de calibración.

De esta manera se puede concluir que las variables que afectan el proceso son:

- ◆ El tiempo de extracción de celulosa.
- ◆ La concentración de ácido sulfúrico para realizar la hidrólisis.
- ◆ Tiempo de fermentación.

De los experimentos realizados se obtuvieron las siguientes condiciones:

- ◆ El tiempo de extracción: 4 horas.
- ◆ La concentración de ácido sulfúrico: 72% (del análisis de los resultados).
- ◆ Tiempo de fermentación: 48 horas.
- ◆ Temperatura de fermentación: 35 °C.
- ◆ La conversión máxima fue de 58.9%, esto quiere decir que por cada 10 g de celulosa obtengo 5.9 mL de etanol.



- ◆ Ahora respecto al bagazo, la conversión fue 16.74%.

Resulta conveniente realizar la obtención de etanol del bagazo de las semilla de *Jatropha Curcas*, ya que presenta varias ventajas, por mencionar algunas, el alto contenido de aceite, la adaptación del cultivo a cualquier tipo de terreno, así como la rehabilitación de tierras degradadas, además, su precio no es influenciado ya que no es un producto comestible, por lo que no compite con productos de cadena alimenticia. Esta semilla es una materia prima energética, porque además de la producción de biodiesel a partir del aceite, el bagazo puede ser utilizado para la producción de bioetanol.



Referencias

1. AGUILAR RIVERA, Avances en la investigación agropecuaria, 2007. Rev. AIA. 11(3): 3-24 2007. Rev. AIA. 11(3): 25-39.
2. MARTÍNEZ JÍMENEZ A. El futuro del etanol carburante, 2006.
3. HENNING, R.K. 1998. Use of *Jatropha curcas* L. (JCL): A household perspective and its contribution to rural employment creation. Regional Workshop on the Potential of *Jatropha curcas* in Rural Development & Environmental Protection. Harare, Zimbabwe. Mayo, 1998. pp5.
4. MARTÍNEZ HERRERA J., MARTÍNEZ AYALA A.L., MAKKAR H., FRANCIS G., BEKER K., Agroclimatic Conditions, Chemical and Nutritional Characterization of Different Provanances of *Jatropha Curcas* L. From Mexico, 2010, pp 396-407.
5. DE LA VEGA LOZANO A., *Jatropha Curcas* L. , Consusultor independiente, México Agro-Proyectos y Agro-energía, pp 1-21.
6. Potencial de producción de semilla de *Jatropha curcas* en Sinaloa, Juriquilla, Qro. Diciembre 2008.
7. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Impulsa México el uso de energías renovables, Tapachula Chiapas, 26 de noviembre de 2010.
8. POLO ENCINAS MANUELEnergéticos y desarrollo Tecnológico, Manuel, editorial Limusa, México 1979 pag. 17, 18.



9. CABRERA, S. L.; GÓMEZ, A. A.; MARTÍNEZ, A. y QUINTERO, R. 2000. Biocombustibles a partir de recursos lignocelulósicos: estudio del caso, bagazo de caña en México, Centro de Investigación en Biotecnología-UAEM, Instituto Mexicano del Petróleo, Instituto de Biotecnología-UNAM. pp 21.
10. Biocombustibles, Instituto Interamericano para la Cooperación para la Agricultura (IICA), San Jose Costa Rica, 2007
11. C. FORD RUNGE AND BENJAMIN SENAVER FOREING, How etanol fuels the food crisis, Foreing Affarirs, 28 mayo 2008
12. Centro de Información en Innovación tecnológica, Captación y almacenamiento de carbono: los biocombustibles de cuarta generación, 12 de octubre de 2007.
13. WHEALS A.E., BASSO L.C., ALVES D.M.G., AMORIM H.V. Fuel etanol after 25 years. TIBTECH, vol 17, no. 12, pp. 482-487
14. BECERRA PEREZ LUIS ARMANDO, La industria del etanol en México, Economía UNAM, vol. 6 núm. 16. pp 82-98
15. ENRÍQUEZ, P. M. 2005. Perspectivas del Etanol como carburante. Conferencia magistral dentro de la XXVIII . Convención Nacional de la Asociación de Técnicos Azucareros de México, A. C.
16. Programa de Producción Sustentable de Insumos para Bioenergéticos y de Desarrollo Científico y Tecnológico, SAGARPA, México, 2009, pp.8.



17. BLEDZKI A-K-, Gassan J. Composites reinforced with cellulose based fibres. Progress in Polymer Science. 1999;24:54.
18. RAYMOND A. YOUNG/ROGER M. ROWELL, Cellulose Structure, modification and hydrolisis, University of Wisconsin, A Wiley-Interscience Publication Jhon Wiley & Sons, pp 138-278.
19. SANG YOUNG OH, DONG IL YOO, YOUNSOOK SHIN AND GON SEO FTIR Analysis of Cellulose Treated With Sodium Hydroxide and Carbon Dioxide, November 2004.
20. PRIMO YÚFERA EDUARDO E., Química Orgánica básica y aplicada (de la molécula a la industria), tomo II Editorial Reverte 2007 pp 996-998.
21. ODOR CHÁVEZ A., Mecanismos químicos para la transformación del papel.
22. OWEN P WARD, TR. MIGUEL CALVO REBOLLAR, Bioquímica de las fermentaciones, Zaragoza, España, 1989.
23. OWEN P WARD, Biotecnología de la fermentación, principios, procesos y productos, 1989.
24. MC VIERA, TH. HEINZE, R. ANTONIO CRUZ and A.M. MENDOZA MARTÍNEZ, Cellulose derivatives from cellulosic material isolated from Agave lechuguilla and fourcroydes". Publicado por: 2002.
25. ROEHR M. The Biotechnology of Ethanol, Classical and Future Applications, 2001.



Anexos

Anexo A

Cálculos para la preparación de la disolución al 72% m/V de H_2SO_4 a partir de H_2SO_4 al 98 % m/V.

Es importante mencionar que se llevan a cabo los mismos cálculos para la preparación de la disolución del ácido al 85%.

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1}$$

Donde :

$$C_1 = \text{Concentración de la solución 1} \left(\frac{m}{V} \right)$$

$$C_2 = \text{Concentración de la solución 2} \left(\frac{m}{V} \right)$$

$$V_1 = \text{Volumen inicial (mL)}$$

$$V_2 = \text{Volumen final (mL)}$$

$$V_1 = \frac{(0.72)(5mL)}{0.98} = 3.67 \text{ mL}$$

$$H_2O = 5mL - 3.67mL = 1.33 \text{ mL}$$

Pero el ácido está al 98%

$$\therefore H_2O = 1.33mL - (1.33 * 0.02)mL = 1.3 \text{ mL}$$

Anexo B

Neutralización. Preparación solución NaOH 2N.

Cálculos para conocer los gramos necesarios para preparar una solución 2N, esta solución se prepara para neutralizar la solución hidrolizada a un pH entre 5-6.



$$\text{Normalidad} = \frac{\text{No. equivalentes}}{V(L)}$$

$$\text{No. de equivalentes} = \text{Normalidad} * \text{Volumen}(L)$$

$$V = 0.1L \quad \text{Normalidad} = 2N$$

$$\text{No. de equivalentes} = (2N)(0.1L) = 0.2 \text{ equivalentes} - g$$

$$g \text{ NaOH} = \text{No. de equivalentes} * \frac{40g \text{ NaOH}}{1 \text{ equivalente}}$$

$$g \text{ NaOH} = 0.2 \text{ de equivalentes} * \frac{40g \text{ NaOH}}{1 \text{ equivalente}} = 8 g \text{ NaOH}$$

Anexo C

Requerimientos de nutrientes para la fermentación.

De acuerdo a la siguiente tabla los compuestos están dados por litro, por lo que la cantidad de nutrientes dependerá de la cantidad de solución hidrolizada y neutralizada. Como ejemplo se tomó como dato 80 mL para obtener los nutrientes para esta cantidad.

FERMENTACIÓN	
Estracto de levadura (g/L)	0.5
Peptona (g/L)	2
MgSO ₄ 7H ₂ O (g/L)	0.25
KH ₂ PO ₄ (g/L)	0.5
Levadura de pan (g/L)	50

Solución (L)	0.08
Cantidades para la solución requerida	
Estracto de levadura (g/L)	0.04
Peptona (g/L)	0.16
MgSO ₄ 7H ₂ O (g/L)	0.02
KH ₂ PO ₄ (g/L)	0.04
Levadura de pan (g/L)	4



Anexo D

Curva de calibración.

Procedimiento: Para la preparación de las muestras se pesó el etanol en una balanza y posteriormente se le agregó agua hasta la concentración deseada. Con el peso total de la disolución, se calculó el peso del agua y se le restó el peso de etanol al peso total. Con las densidades de cada una de las sustancias se obtuvieron los volúmenes respectivos. Con los volúmenes obtenidos y los pesos, se obtuvieron los datos para la concentración de etanol en agua (g/mL) y (mL/mL). Posteriormente se realizaron las inyecciones de las diferentes muestras en un cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masa, técnica que constituye una herramienta potente para separar, identificar y cuantificar los componentes volátiles y semivolátiles de mezclas complejas, en la figura 21 se observa las diferentes disoluciones para realizar la curva de calibración.

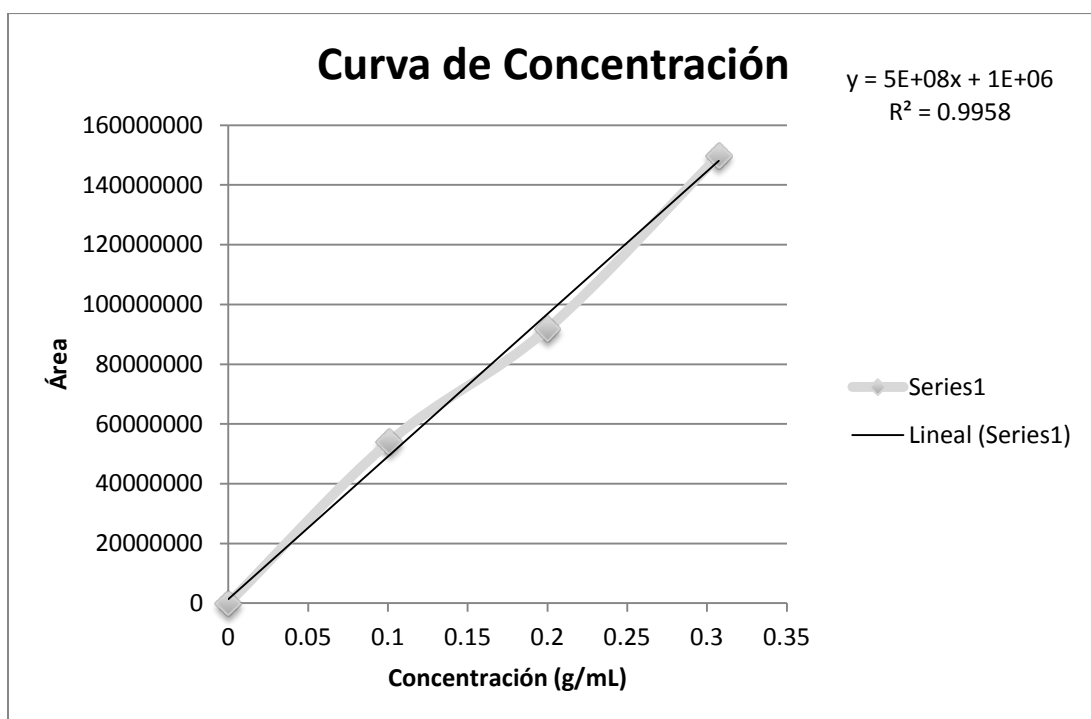
Las condiciones del cromatógrafo para analizar las muestras de bioetanol producido y para la curva de calibración fueron las siguientes: temperatura de inyector, 250 °C, presión, 214.14 psi, flujo de helio, 184 mL/min, relación Split, 100:1, temperatura del detector, 280 °C y velocidad de columna, 49 cm/seg.

Para determinar la cantidad de etanol obtenido, se realizó una curva de calibración mediante cromatografía de gases, graficando área contra concentración (g/mL). En la tabla 5 se muestran las cantidades utilizadas para realizar esta curva y en la figura 22 se muestran los datos graficados y la ecuación determinada para encontrar la concentración real obtenida de etanol.

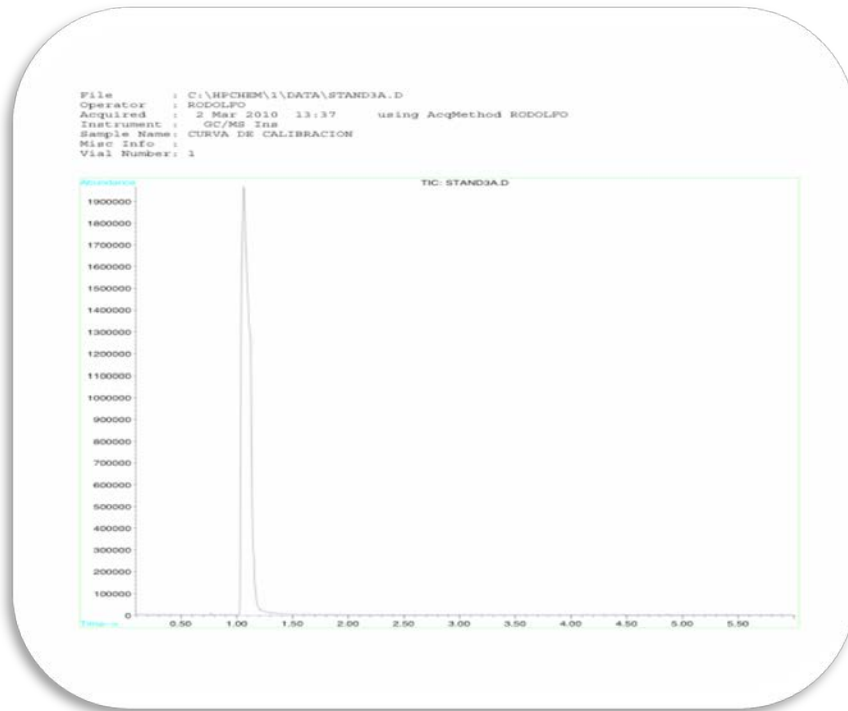


Cantidades para realizar la curva de calibración de etanol.

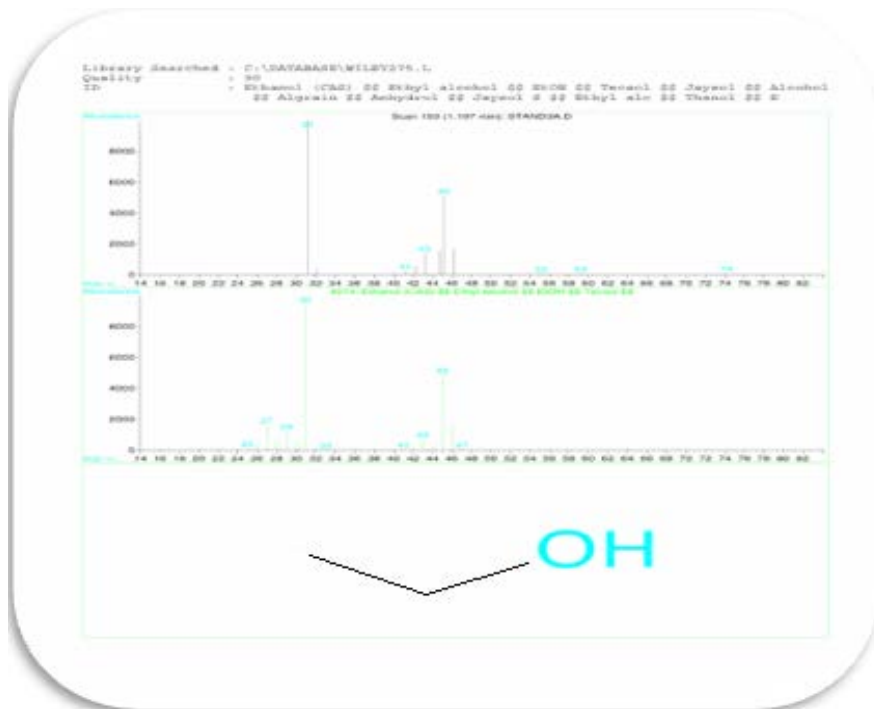
Muestra	Etanol (g) teórico	Etanol (g) real	Solución (mL)	Concentración (g/mL)	Área
Standard	0	0	10	0	0
1	0.5	0.541	10	0.0541	4862722
2	1.0	1.007	10	0.1007	53989004
3	2.0	2.000	10	0.2000	91820042
4	1.5	1.537	5	0.3074	149808121
5	2.0	2.013	5	0.4026	150911915



Curva de calibración de etanol.



Cromatograma de la inyección de las muestras estándar.



Espectro de masas la inyección de las muestras estándar.



Anexo E

Producción de bioetanol.

Partiendo de la ecuación obtenida en la curva de calibración se puede obtener la concentración de etanol, por lo tanto la conversión en mL por gramo de celulosa utilizada.

$$x = \frac{y - 1 \times 10^6}{5 \times 10^8}$$

Donde

x = Concentración (e tan ol)

y = Área

$$masa_{EtOH} = \left[\text{concentración} \left(\frac{g}{mL} \right) \right] * [\text{Volumen}_{muestra} (mL)]$$

$$V_{EtOH} = \frac{masa_{EtOH}}{\rho_{EtOH}}$$

$$\text{Conversión} = \frac{V_{EtOH} (mL)}{masa_{celulosa} (g)} * 100\%$$

$$\text{Conversión} = \frac{V_{EtOH} (mL)}{masa_{bagazo} (g)} * 100\%$$

Anexo F

Información de los nutrientes de la fermentación.

Fosfato monobásico.

Fosfato monopotásico, también tiene estos nombres: Fosfato del potasio monobásico, ácido fosfórico.



Fórmula molecular KH_2PO_4	Masa molecular 136.09 g/mol	Apariencia Polvo blanco
Densidad 2.34 g/cm^3	Punto de fusión 235 °C	Solubilidad en agua 22 g/100 mL

Este compuesto es utilizado como aditivo alimenticio, (para este trabajo se uso como nutriente para la fermentación, como una fuente de fósforo y potasio), también puede parte de fertilizantes y fungicidas.

Precauciones: Puede causar irritación de la piel, los ojos y las vías respiratorias.

No presenta peligro como reactivo, ni inflamable.

Sulfato de Magnesio.

También es conocido como sulfato magnésico, es un compuesto químico que contiene magnesio, otro de los elementos indispensables para el metabolismo de la levadura; el sulfato de magnesio sin hidratar es muy poco frecuente, este se usa como agente desecante en la industria. Esta es mejor conocida como una sal hidratada.

Fórmula molecular MgSO_4	Masa molecular 120.36 g/mol	Apariencia Sólido cristalino blanco
Densidad 2660 Kg/m^3	Punto de fusión 1124 °C	Solubilidad en agua 25.5 g/100 mL (20 °C)

Extracto de levadura.

Extracto de levadura es un producto residual de la elaboración de la cerveza que contiene altas concentraciones de levadura y que se emplea en la industria de la alimentación frecuentemente como aditivo alimenticio o condimentaciones.



Peptona.

Es una mezcla compleja de productos de la hidrólisis de la carne, obtenida por acción de diversos fermentos, especialmente la pepsina y la pancreatina.

Aspecto: polvo amorfo, o bien como escamas o masas irregulares, esponjosas, de color blanco amarillento o amarillo pardusco.

Saccharomyces cerevisiae.

Esta levadura es tiene la facultad de crecer en forma anaérobica realizando la fermentación alcohólica.

Reino: Fungi, Filo: Ascomycota, Clase: Hemiascomycetes, Orden: Saccharomycetales, Familia: Saccharomycetaceae Género: Saccharomyces

Otras especies son: Saccharomyces bayanus, Saccharomyces boullardií, Saccharomyces uvarum.

Las levaduras son hongos microscópicos unicelulares que son capaces de descomponer células orgánicas principalmente hidratos de carbono por medio de la fermentación.

Anexo G

Información de los compuestos utilizados en la obtención de etanol.

Etanol.

El etanol es un alcohol, líquido inflamable incoloro con un punto de ebullición de 78 °C.

El etanol puede afectar al Sistema Nervioso Central, provocando estados de euforia, desinhibición, mareos, somnolencia, confusión, alucinaciones.



Fórmula molecular C_2H_6O	Masa molecular 46.07 g/mol	Apariencia Líquido incoloro
Densidad 0.789 g/cm^3	Punto de ebullición 78.4 °C	Temperatura de autoignición 363 °C

Del rombo NFPA 704, se obtiene la siguiente información de peligrosidad

1. Poco peligroso
3. Inflamabilidad: debajo de los 37 °C
0. Reactividad: Estable

Estabilidad: estable en condiciones normales de almacenamiento.

Fuentes a evitar: Calor y humedad. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes tales como, ácido nítrico o perclorato magnésico, originando peligro de incendio y explosión.

Octanol.

El octanol es un alcohol monosustituidos con 8 átomos de Carbono unidos por enlaces covalentes sencillos y el grupo funcional característicos de los alcoholes OH, también puede ser nombrado como n-octanol, 1-octanol u octanol-1. Este se usa como disolvente de referencia para estudiar el comportamiento de sustancia frente a lípidos.

El octanol es para usos de laboratorio, análisis, investigación y química fina.

Fórmula molecular $C_8H_{18}O$	Masa molecular 130.23 g/mol	Apariencia Líquido incoloro, viscoso con olor característico
Densidad 0.826 g/cm^3	Punto de ebullición 195 °C	Solubilidad Insolubilidad en agua, soluble en alcohol y éter



Es un alcohol primario que irrita los ojos, piel y vías respiratorias. Provoca tos, dificultades respiratorias. La ingestión provoca náuseas, vómitos así como irritaciones en mucosas de la boca, garganta, esófago y tracto intestinal.

Hidróxido de sodio.

El hidróxido de sodio, es una base química, tiene varios nombres como lo son: sosa cáustica, hidróxido sódico entre otros.

Fórmula molecular NaOH	Masa molecular 39.99 g/mol	Apariencia sólido blanco
Densidad 2.1 g/cm ³	Punto de fusión 596 °C	Solubilidad en agua 111 g/100 ml (20 °C)

Rombo NFPA 704, Peligrosidad

- 3. Muy peligroso
- 0. No se inflama
- 1. Inestable en caso de calentamiento

La ingestión puede causar daños graves y permanentes al sistema gastrointestinal, la inhalación con pequeñas exposiciones, pueden ser dañinos o mortal, en la piel puede causar irritaciones leves hasta graves úlceras. En los ojos puede causar quemaduras a la córnea o conjuntiva

Ácido sulfúrico.

Es un compuesto químico muy corrosivo, es uno de los más producidos a nivel mundial, y es utilizado como medidor de la capacidad industrial de los países.



Fórmula molecular H_2SO_4	Masa molecular 98.08 g/mol	Apariencia líquido aceitoso puro
Densidad 1.8 g/cm^3	Punto de fusión 10 °C	Solubilidad en agua miscible

Rombo NFPA 704, Peligrosidad

- 3. Muy peligroso
- 0. No se inflama
- 2. Inestable en caso químico violento

COR- Corrosivo

La inhalación del ácido sulfúrico produce efectos dañinos en las membranas mucosas y tracto respiratorio, la ingestión del ácido sulfúrico puede causar quemaduras severas de la boca, la garganta y el estómago. El contacto con la piel puede provocar síntomas de enrojecimiento, dolor y quemaduras severas de tejidos. El contacto con los ojos puede causar visión borrosa, hasta ceguera