

Aprovechamiento del bagazo de piña para obtener celulosa y bioetanol

Rocío Antonio Cruz^{*1}, Ana M. Mendoza Martínez¹, M. Yolanda Chávez Cinco¹, J. Luis Rivera Armenta¹, M. Javier Cruz Gómez²

¹ Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Juventino Rosas y Jesús Urueta s/n, Col. Los Mangos, Cd. Madero, Tamps. 89440, México.

² Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Facultad de Química, Departamento de Ingeniería Química, Ciudad Universitaria, México, D.F. 04510, México.

Pineapple bagasse utilization to produce cellulose and bio-ethanol

Aprofitament del bagàs de pinya per obtenir cel·lulosa i bioetanol

Recibido: 26 de septiembre de 2010; revisado: 11 de abril de 2011; aceptado: 12 de abril de 2011

RESUMEN

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. El objetivo fue obtener celulosa y bio-etanol del bagazo de piña (desecho agrícola). El aprovechamiento de este bagazo evitará el consumo de cultivos destinados a la alimentación, evitando el uso excesivo de tierras y el empleo de residuos orgánicos agroindustriales. Además, el producto obtenido tiene un valor agregado y podría convertirse en un beneficio para los productores de piña. La finalidad fue estudiar un proceso para extraer celulosa del bagazo de piña, y mediante hidrólisis ácida de celulosa y bagazo se obtuvo glucosa. Esta glucosa se neutralizó a pH de 5 y se realizó la fermentación en un medio anaeróbico, utilizando el microorganismo *Saccharomyces cerevisiae*, variando tiempos de fermentación (36, 40, 48 y 72 h) y manteniendo la temperatura a 30°C. La celulosa obtenida presentó una conversión del 60% y mediante FTIR se corroboró que la celulosa fue tipo II. Se obtuvo bio-etanol mediante destilación, presentando un rendimiento del 35% con bagazo y del 57% con celulosa con un tiempo de fermentación de 48 y 72 h, respectivamente.

Palabra clave: Bagazo, celulosa, bio-etanol.

SUMMARY

It is currently looking for new alternative energy from biomass, renewable resources and agro-industrial wastes, to develop new technologies and processes in the production of biofuels. The aim was to obtain cellulose and bio-ethanol from bagasse pineapple (agricultural waste). Use of this bagasse avoids consumption of crops for food, avoiding excessive use of land and the use of agro-organic wastes. In addition, the product obtained has an aggregate value and could become a benefit for pineapple farmers.

This work, studied a process for extracting cellulose from pineapple bagasse, and by acid hydrolysis of bagasse cellulose and glucose was obtained. This glucose was neutralized to pH 5 and fermentation was carried out in an anaerobic environment, using the microorganism *Saccharomyces cerevisiae*, varying fermentation times (36, 40, 48 and 72 h) and keeping the temperature at 30 ° C. The cellulose conversion obtained was 60% and by FTIR confirmed that cellulose was type II. Bio-ethanol was obtained by distillation, showing a yield of 35% at 48 h and 57% at 72 h for bagasse and cellulose, respectively.

Keywords: Bagasse, cellulose, bio-ethanol.

RESUM

Actualment s'estan buscant noves alternatives energètiques a partir de biomassa, recursos renovables i deixalles agroindustrials, per desenvolupar noves tecnologies i processos en l'obtenció de biocombustibles. L'objectiu va ser obtenir cel·lulosa i bioetanol del bagàs de pinya (deixalla agrícola). L'aprofitament d'aquest bagàs evitarà el consum de cultius destinats a l'alimentació, evitant l'ús excessiu de terres i l'ocupació de residus orgànics agroindustrials. A més, el producte obtingut té un valor agregat i podria convertir-se en un benefici per als productors de pinya. La finalitat va ser estudiar un procés per extreure cel·lulosa del bagàs de pinya, i mitjançant hidròlisi àcida de cel·lulosa i bagàs es va obtenir glucosa. Aquesta glucosa es va neutralitzar a pH de 5 i es va realitzar la fermentació en un mitjà anaeròbic, utilitzant el microorganisme *Saccharomyces cerevisiae*, variant els temps de fermentació (36, 40, 48 i 72 h) i mantenint la temperatura a 30 °C. La cel·lulosa obtinguda va presentar una conversió del 60% i mitjançant FTIR es va corroborar que la cel·lulosa va ser tipus II. Es va obtenir bioetanol mitjançant destil·lació, presentant un rendiment del 35% amb bagàs i del 57%

*autor para la correspondencia: rantonio70@yahoo.com

amb cel·lulosa amb un temps de fermentació de 48 i 72 h, respectivament.

Paraules clau: Bagàs, cel·lulosa, bioetanol

INTRODUCCIÓN

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 aquél es evidente (Dien, et. al., 2003, Guadamarais et. al., 1986; Hall, 1983).

La fermentación de los granos de cereales para producir etanol-carburante, tiene serias oposiciones por razones sociales, en un mundo con déficit de alimentos (Barnard y Hall, 1983; Wilke et. al., 1981; Weizz y Marshall, 1979). Una solución más atractiva es usar biomasa residual de origen agrícola como materia prima.

Con esta finalidad se realizó un estudio para aprovechar al máximo un residuo agrícola como el bagazo de piña, para obtener celulosa y bio-etanol. A nivel mundial, el principal productor de piña es Tailandia, seguido de países de Latinoamérica donde Brasil es el principal productor, del total de la producción mundial de piña, México aporta un 4%. Los desechos agrícolas de bagazo de la industrialización de la piña en la región representan un 20% lo cual es un total de 12,900 toneladas de bagazo al año, de los cuales un 30% es utilizado como alimento para ganado y el resto se desecha.

El etanol mezclado con gasolina, aumenta el número de octano y promueve una mejor combustión, reduciendo las emisiones contaminantes. La celulosa y hemicelulosa son hidrolizadas por enzimas o ácidos diluidos para obtener sacarosa (glucosa), la cual es fermentada y transformada en etanol. Por referencia se tiene que por cada molécula de glucosa ($C_6H_{12}O_6$) se producen dos moléculas de etanol (CH_3-CH_2-OH) y dos de CO_2 .

Además, los residuos de biomasa contienen mezclas complejas de carbohidratos, llamados celulosa, hemicelulosa y lignina. La celulosa (ver Fig. 1) es un polisacárido compuesto exclusivamente de moléculas de glucosa, clasificado como homopolisacárido (compuesto por un solo tipo de monosacárido); es rígido, insoluble en agua, y contiene desde varios cientos hasta varios miles de unidades de β -glucosa. Además, la celulosa es la biomolécula orgánica más abundante ya que forma la mayor parte de la biomasa terrestre.

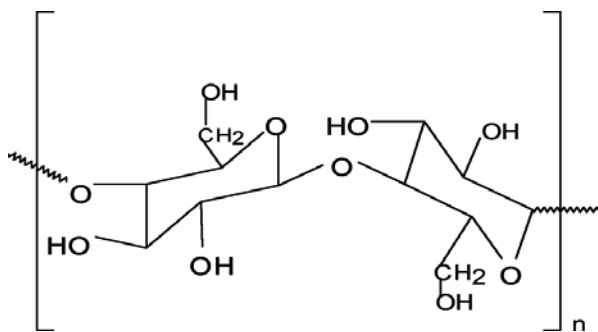


Figura 1. Estructura de la celulosa

La celulosa obtenida de esta biomasa, es tratada con ácidos o enzimas que facilitan la obtención de azúcares (glucosa). Los principales métodos para extraer estos azúcares son tres: 1) hidrólisis con ácidos concentrados, 2) hidrólisis con ácidos diluidos y 3) la hidrólisis enzimática (Primo-Yúfera et. al., 1995).

Por lo tanto, este trabajo estudió las condiciones ideales para hidrolizar celulosa y bagazo de piña, así como la formulación para realizar la fermentación y obtener bio-etanol. Además, se encontró el tipo de celulosa obtenida del bagazo de piña y mediante FTIR se corroboraron los grupos característicos de la celulosa. Por otro, lado se determinó el rendimiento del bio-etanol obtenido a partir tanto de la celulosa como del bagazo de piña.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales utilizados fueron: (1) bagazo de piña obtenido de un expendio de frutas y jugos en el mercado de Ciudad Madero [la piña utilizada es proveniente del estado de Veracruz], (2) 1-octanol [$CH_3(CH_2)_7OH$] marca Aldrich al 99%, (3) hidróxido de sodio [$NaOH$] en lentejas marca Aldrich, (4) ácido sulfúrico [H_2SO_4] marca FERMONTE al 98%, (5) *Saccharomyces cerevisiae* [levadura de pan] marca Flex, (6) extracto de levadura [extracto de auto-lisado de células de levadura] marca BD BBL, para incorporar a medios de cultivo microbiológicos, (7) peptona marca HYCEL, grado bacteriológico de acuerdo a especificaciones USI, (8) fosfato diácido de potasio KH_2PO_4 marca FERMONTE, (9) sulfato de magnesio hepta-hidratado (conocido como Sal de Epsom) $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ marca FERMONTE, y (10) agua destilada marca FERMONTE.

Obtención de la celulosa.

Se recolectó el bagazo de piña procedente del estado de Veracruz y se realizó un secado a $50^\circ C$ durante 24 horas en una estufa de vacío. Para extraer la celulosa del bagazo de piña se utilizó el método de Vieira et. al., 2002. Se tomaron 5 g de bagazo de piña seco y se colocó en el reactor un PARR de vidrio con 400 mL de 1-Octanol (g/mL relación bagazo seco/1-Octanol, 1/80), se le adicionó 10 ml de $NaOH$ al 40% en peso a $160^\circ C$ durante 3 h. con agitación mecánica constante. Transcurrido el tiempo, se extrajo la celulosa del reactor, se lavó con agua destilada, se filtró y posteriormente el filtrado se colocó en un equipo Soxhlet para eliminar el olor de 1-octanol y purificar la celulosa obtenida. Posteriormente, se secó en una estufa de vacío a $45^\circ C$ durante 24 h., y finalmente se caracterizó por FTIR para identificar los grupos funcionales característicos y determinar el tipo de celulosa.

Hidrólisis de celulosa y bagazo de piña.

La hidrólisis ácida se realizó con H_2SO_4 en dos fases, la primera fase (hidrólisis fuerte) se estudió de acuerdo al método de García y Primo, 1989, donde se toman una relación residuo/ácido de 1/10 (g/mL de ácido) y utilizan H_2SO_4 al 72%, este procedimiento se lleva a cabo en un matraz esférico a una temperatura de $30^\circ C$ durante 1 h. La segunda fase (hidrólisis diluida) se realizó de acuerdo al método de Primo-Yúfera et. al., 1995, y consiste en adicionar agua a la primer fase hasta obtener una concentración de H_2SO_4 al 8% y posteriormente calentarlo a $105^\circ C$ durante 3 h. La hidrólisis realizada en esta investigación fue a partir de celulosa y bagazo de piña seco, los cuales se convirtieron en

azúcares (glucosa) por medio de una hidrólisis ácida con H_2SO_4 . Esta hidrólisis ya se describió anteriormente, por lo tanto, se colocaron con 5 g de materia prima (celulosa ó bagazo de piña) en un matraz esférico con 50 mL H_2SO_4 al 72%, y, se mantuvo a 30°C durante 1 h. Transcurrido el tiempo se le agregó 401.5 mL de agua para obtener una concentración de H_2SO_4 al 8% y se calentó a 105°C durante 3 h. Posteriormente se bajó la temperatura a 30-40°C y se filtró, la solución filtrada se neutralizó con NaOH al 2 N hasta obtener un pH de 5 y finalmente se guarda en el refrigerador para proceder a realizar la fermentación.

Fermentación.

Existe una gran variación en la calidad de la fermentación entre los cientos de híbridos de cereales utilizados en la cadena comercial; por lo tanto, es importante para la industria del etanol y productores de cultivos disponer de métodos adecuados para predecir los rendimientos de etanol así como una eficiencia de conversión de estos híbridos (Renyong et. al., 2009).

La fermentación se realizó, de acuerdo a la metodología de Aguilera, 2005, donde utiliza el microorganismo "Saccharomyces cerevisiae" contenido en la levadura del pan, y se agregaron los nutrientes necesarios para este microorganismo como son: peptona (4 g/L), extracto de levadura (1 g/L), KH_2PO_4 (1 g/L) y $Mg SO_4 \cdot 7H_2O$ (0.5 g/L). En un matraz erlenmeyer de 2 L, se colocó 1155 mL de la solución neutralizada a pH de 5, y se le agregaron 111.6 g de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*), 1.15 g de extracto de levadura, 4.6 g de peptona, 1.15 g de KH_2PO_4 y 0.57 g de $Mg SO_4 \cdot 7H_2O$, y se llevó a cabo a una temperatura de 30°C durante 36 horas con agitación magnética. Transcurrido este tiempo, la solución fermentada se coloca en un equipo de destilación convencional. La fermentación se realizó a partir de la hidrólisis de celulosa ó bagazo de piña y se estudió el tiempo de fermentación (36, 40, 48 y 72 horas).

Proceso de destilación convencional.

El proceso de destilación para producir bio-etanol, se realizó en un equipo de destilación tradicional a 80°C durante 12 horas, el destilado obtenido se filtró y se colocó en viales para su análisis por cromatografía de gases, con la finalidad cualificar y cuantificar la cantidad de etanol, así como determinar el rendimiento hacia bio-etanol.

Caracterización de los productos obtenidos.

Una vez que se obtuvo la celulosa y el etanol a partir de la hidrólisis de la celulosa ó bagazo de piña, se precedió hacer los análisis de caracterización correspondiente a cada uno de los productos obtenidos.

Espectroscopia de infrarrojo

Para analizar la celulosa extraída del bagazo de piña 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 4000-600 cm^{-1} . En este intervalo de frecuencia se observarán los grupos funcionales principales del polímero y la verificación de que no existen reacciones secundarias.

Cromatografía de gases

Las condiciones del análisis por cromatografía utilizadas para analizar el bioetanol producido por fermentación fueron las siguientes: temperatura del inyector, 250°C, pre-

sión, 214.4 psi, flujo de Helio, 184 mL/min, relación Split, 100:1, temperatura del detector, 280°C y velocidad de la columna, 49 cm/seg.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

La celulosa extraída del bagazo de piña seco, mostró una apariencia porosa y poco flexible, y una coloración crema. La conversión obtenida fue del 60%, ya que de 5 g de bagazo de piña se obtuvieron 3 g de celulosa.

Análisis de FTIR

Se han realizado diferentes estudios para obtener celulosa de varias materias primas y lo más importante es determinar el tipo de celulosa que se tiene (tipo I o II). O'connor et. al., 1958, Nelson y O'connor, 1964, estudiaron los espectros de tres tipos diferentes de celdas cristalinas de la celulosa: celulosa I, celulosa II, celulosa III, junto con el de celulosa amorfa, en la región de 850-1500 cm^{-1} . Sin embargo, Moran et. al., 2008, realizaron la extracción de celulosa y preparación de nanocelulosa a partir de fibras de sisal y todas las muestras preparadas presentaron las bandas características de la celulosa, hemicelulosa y lignina presentes, comprobando que existen los mismos grupos funcionales que presentan otros autores. En la figura 2, se han designado las bandas de absorción características del espectro FTIR de celulosa extraída del bagazo de piña, observándose en la región de los 3370 cm^{-1} los grupos -OH, a 2994 cm^{-1} los grupos C-H, a 1458 cm^{-1} un desplazamiento del grupo C-H y a 1036 cm^{-1} los grupos C-O-C, característicos de la celulosa. Estos resultados concuerda con los resultados presentados por Vieira et. al., 2002 y Moran et. al., 2008.

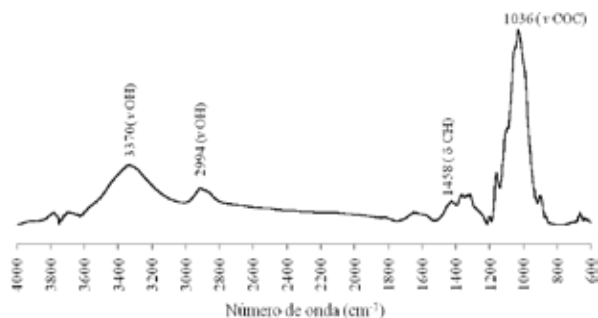


Figura 2. Espectro FTIR de celulosa extraída del bagazo de piña (extracción I)

La figura 3, muestra el espectro de la segunda extracción de celulosa, observándose los picos característicos de la celulosa, observándose en la región de los 3440 cm^{-1} la tensión -OH (puentes de hidrógeno intramoleculares), la cual está asociada con la banda de los 3350 cm^{-1} correspondiente a la tensión -OH (puentes de hidrógeno intermolecular), en la banda de los 2933 cm^{-1} se presenta una tensión asimétrica CH_2 y a 2853 cm^{-1} se corrobora esta tensión, lo cual indica que se trata de celulosa tipo II. A 1635 cm^{-1} se observa el grupo OH del agua absorbido por la celulosa y a 1375 cm^{-1} existe una flexión del grupo C-H y a 1162 cm^{-1} una tensión asimétrica del puente C-O-C atribuible a la celulosa tipo II ya que la celulosa tipo I se presenta a 1155 cm^{-1} , por lo tanto, la celulosa obtenida

del bagazo de piña es tipo II. A 1030 cm^{-1} se observa la tensión C-O y a 1007 cm^{-1} la tensión asimétrica del anillo correspondiente a la celulosa tipo II, ya que la celulosa tipo I se presenta a 1111 cm^{-1} por lo que se vuelve a corroborar que la celulosa es tipo II y la frecuencia del grupo C_1 aparece a 895 cm^{-1} para la celulosa tipo II.

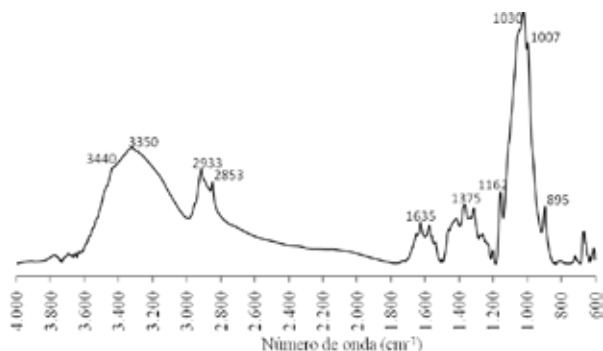


Figura 3. Espectro FTIR de celulosa extraída del bagazo de piña (extracción II).

Los análisis de FTIR presentaron los grupos característicos de la celulosa, y son similares a los reportados por Vieira et. al., 2001 y Moran et. al., 2008. Esto indica que la extracción de celulosa a partir de bagazo de piña es factible y que de acuerdo a Marchessault y Liang, 1960 y Nelson y O'Connor, 1964, se obtuvo celulosa tipo II.

Hidrólisis y conversión hacia glucosa

El bagazo de piña seco y la celulosa obtenida de este bagazo se hidrolizó por separado, la hidrólisis se realizó en dos etapas, descrita en la metodología. Se prepararon 8 soluciones, 4 fueron con bagazo (B_1, B_2, B_3 y B_4), y 4 con celulosa (C_1, C_2, C_3 y C_4), para producir etanol. En la tabla 1 se observan las condiciones y conversiones que se obtuvieron.

Tabla 1. Condiciones de hidrólisis del bagazo y celulosa

Muestra	Hidrólisis		Peso de la muestra (g)	Peso del residuo (g)	Conversión de hidrólisis (%)
	Etapas				
Bagazo (B_1)	72%	8%	5	3.1	38
Bagazo (B_2)	72%	8%	5	3.0	40
Bagazo (B_3)	72%	8%	1	0.6	40
Bagazo (B_4)	72%	8%	5	3.0	40
Celulosa (C_1)	72%	8%	5	1.2	76
Celulosa (C_2)	72%	8%	5	1.3	74
Celulosa (C_3)	72%	8%	4.06	0.96	76
Celulosa (C_4)	72%	8%	0.5	0.11	78

La conversión de hidrólisis del bagazo es inferior al de la celulosa, esto es debido a que el bagazo contiene lignina y pectina que interfiere en la hidrólisis ácida, ocasionando un decremento en la conversión, mientras que la celulosa tipo II presentó una mayor conversión. La hidrólisis del bagazo fue de 38%, mientras que con celulosa se obtuvo el 76%.

Fermentación y obtención de bio-etanol

En la tabla 2 se observa las condiciones a las cuales se llevó a cabo la fermentación, controlando el tiempo y temperatura, así como un ambiente anaerobio, la solución hidrolizada y neutralizada fue de 1155 mL para la muestra B_1 y, se colocó en un matraz de 2L, siguiendo el procedimiento descrito en la metodología. Transcurrido el tiempo de fermentación, se procedió a realizar una destilación convencional para obtener el bio-etanol. El producto de destilación se analizó mediante cromatografía de gases acoplada a un detector de masas (CG-masa). En la figura 4 se presenta el cromatograma y espectro del bio-etanol obtenido en un tiempo de 1.06 min., indicando que se obtuvo bio-etanol a partir del bagazo de piña (B_1). Investigaciones realizadas por Dien y col., en el 2003 indican que utilizando una bacteria de ingeniería el rendimiento hacia etanol es del 90%, sin embargo el proceso es altamente costoso por estas bacterias y además utilizan mezclas de azúcares. Por lo tanto, el trabajo realizado con *Saccharomyces cerevisiae* es más económico y el rendimiento es del 57% utilizando celulosa a partir del bagazo de piña.

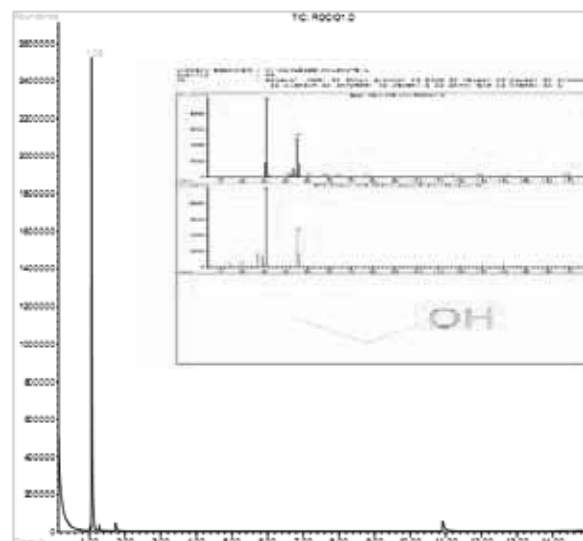


Figura 4. Cromatograma y espectro de masas del bio-etanol (muestra B_1)

El destilado obtenido fue de 850 mL, conteniendo etanol (CH_3-CH_2OH) + agua (H_2O), y por CG-masa se identificó el etanol, sin embargo para determinar cuánto etanol se obtuvo, se realizó una curva de calibración, para cuantificar la cantidad de bio-etanol y determinar el rendimiento de éste.

Curva de calibración del etanol

Se realizó mediante cromatografía de gases (CG), graficando área contra concentración conocida (g/mL), mostrando una regresión lineal de 0.9958, y la ecuación obtenida de los datos graficados fue la siguiente:

$$y = 5 \times 10^6 X + 1 \times 10^6 \quad (\text{Ecn. 1})$$

Donde, y corresponde al área obtenida por CG y X es la concentración de etanol/agua, g/mL.

La ecuación obtenida de la curva de calibración, se dejó en función de X (concentración de etanol/agua, g/mL). La densidad del etanol es una propiedad conocida ($r_{\text{etanol}} = 0.789\text{ g/mL}$) y con este valor se puede determinar la can-

Tabla 2. Fermentación a 30°C y producto obtenido después de destilación.

Muestra	Solución pH=5 (mL)	Tiempo de fermentación (h)	Levadura (g)	Extracto levadura (g)	Peptona (g)	K ₂ HPO ₄ (g)	MgSO ₄ 7H ₂ O (g)
B ₁	1155	36	111.6	1.15	4.6	1.15	0.57
B ₂	900	40	87	0.9	3.6	0.9	0.45
B ₃	210	48	20	0.21	0.84	0.21	0.105
B ₄	900	72	87	0.9	3.6	0.9	0.45
C ₁	900	36	87	0.9	3.6	0.9	0.45
C ₂	900	40	87	0.9	3.6	0.9	0.45
C ₃	610	48	59	0.61	2.44	0.61	0.305
C ₄	110	72	10	0.11	0.44	0.11	0.055

tividad de bio-etanol producido para la muestra B₁. Por lo tanto, el producto obtenido de la destilación fue de 850 mL y se analizó por CG-masa, para determinar la cantidad de bio-etanol, y se tiene que por cada 5 g de bagazo de piña se obtiene 0.935 g ó 1.185 mL de bio-etanol, dando un rendimiento de 18.70%.

En la tabla 4 se presentan los resultados del rendimiento de bio-etanol a partir del bagazo de piña y celulosa extraída, observándose que el rendimiento obtenido a diferentes tiempos de fermentación fue mejor a 72 horas para la celulosa y a 48 horas para el bagazo. Además, se muestran las cantidades de etanol en gramos y mL, así como el rendimiento en porcentaje. Estos resultados se obtuvieron de acuerdo con el siguiente procedimiento, tomando como base la muestra B₁:

$$\text{Concentración} = \frac{1531511-1 \times 10^6}{5 \times 10^8} = 0.0011 \text{ g/mL} \quad (1)$$

g bioetanol obtenido =

$$\text{Concentración} * \text{Volumen} = \frac{0.0011 \text{ g}}{\text{ml}} * 850 \text{ mL} = 0.935 \text{ g bioetanol} \quad (2)$$

$$\text{ml bioetanol obtenido} = \frac{\text{masa}}{\text{densidad}} = \frac{0.935 \text{ g}}{0.789 \frac{\text{g}}{\text{ml}}} = 1.185 \text{ mL bioetanol} \quad (3)$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{bio-etanol (g)}}{\text{materia prima (g)}} * 100\% = \frac{0.935 \text{ g}}{5 \text{ g}} * 100\% = 18.70\% \quad (4)$$

Tabla 3. Bio-etanol obtenido, en masa (g), volumen (mL) y rendimiento (%)

Materia prima	Etanol (g)	Materia prima (g)	Etanol (mL)	Rendimiento (%)
B ₁	0.935	5	1.185	18.70
B ₂	0.952	5	1.206	19.04
B ₃	0.345	1	0.437	34.50
B ₄	1.200	5	1.521	24.00
C ₁	1.020	5	1.293	20.40
C ₂	1.196	5	1.516	23.92
C ₃	1.440	4.06	1.825	35.46
C ₄	0.288	0.5	0.365	57.60

CONCLUSIONES

Fue posible extraer celulosa del bagazo de piña, y mediante los análisis de FTIR se corroboró los grupos característicos de la celulosa, la cual fue tipo II. La hidrólisis se realizó en dos etapas (hidrólisis fuerte al 72% e hidrólisis diluida al 8%) y fue posible convertir tanto la celulosa como el bagazo de piña hacia glucosa, la conversión de hidrólisis del bagazo fue de 40%, mientras que con celulosa se obtuvo 78%. Este aumento se debe a que la celulosa contiene mayor cantidad de unidades de D-glucosa y el bagazo de piña contiene pectina, lignina e impurezas que interfieren en el proceso de hidrólisis.

Mediante la fermentación anaerobia con el *Saccharomyces cerevisiae*, se logró transformar la glucosa hacia etanol, y utilizando el proceso de destilación se obtuvo etanol. Las mejores condiciones para la fermentación fueron a 30°C y 48 h para el bagazo y 72 h para la celulosa, ya que presentaron el mayor rendimiento, 34.5% y 57.6% respectivamente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilera-Vázquez, Luciano, "Modellgestützte Analyse der Dynamik des Speicherstoffwechsels in *Saccharomyces cerevisiae*", *Tesis doctoral*, Von der Fakultät Maschinenbau der Universität Stuttgart zum Erlangen der Würde eines Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung, 72-73, Diciembre (2005).
2. Barnard G.W., y Hall D.O., "Energy from renewable sources", *Biotechnology*, Vol. 3: Microbial products, biomass and primary products. Eds. H.J. Rehm y G. Reed. Cap. 4: 598-625. Verlag Chemie, Weinheim; Deerfield Beach, Florida (1983).
3. Dien B.S., Cotta M.A., Jeffries T.W., "Bacteria engineered for fuel ethanol production: current status", *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 63, 258-266 (2003).
4. García Breijo, F.J., Primo Yúfera, E., "Alcohol biomasa. III. Hidrólisis de la fracción lignocelulósica obtenida de residuos agrícolas y cosechas de sorgo", *Rev. Agroquím. Tecnol. Aliment.*, 29/4, 501-509 (1989).
5. Gaudemarais G. De, Arlie J.P., Guibet J.C., "Les carburants de substitution", *La Recherche*, 17/175, 377-384 (1986).
6. Hall D.O., "Biomass for energy-fuels now and the future", *Biomass utilization*, Ed. W.A. Côté, Cap. 1; 1-22. Plenum Press, New York y Londres (1983).

-
7. Marchessault R.H., Liang C.Y., "Infrared spectra of crystalline polysaccharides. III. Mercerozed cellulose", *Journal of Polymer Science*, 43, 71-84 (1960).
 8. Moran Juan I., Alvarez A. Vera, Cyras Vivian P., Vázquez Analia, "Extraction of cellulose and preparation of nanocellulose from sisal fibers", *Cellulose*, 15, 149-159 (2008).
 9. Nelson, M.L., O'connor, R.T., "Relation of certain infrared bands to cellulose crystallinity and crystal lattice type. Part I. Spectra lattice types I, II, III and amorphous cellulose", *Journal of Applied Polymer Science*, 8, 1311-1324 (1964).
 10. O'connor, R.T., DuPré, E.F., Mitcham, Donald, "Applications of infrared absorption spectroscopy to investigations of cotton and modified cotton. Part I. Physical and crystalline modifications and oxidations", *Textile Research Journal*, 28, 382-392 (1958).
 11. Primo-Yúfera, E., Gil-Tortosa, C.I., García-Breijo, F.J., "Hydrolysis of corn-cob lignocellulosic residue from pentose preparation", *Bioresource Technology*, 52, 1-4 (1995).
 12. Renyong Zhao, Scott, R. Bean, Beth Ann Crozier-Doddson, Daniel Y.C. Fung, Donghai Wang, "Application of acetate buffer in pH adjustment of sorghum mash and its influence on fuel ethanol fermentation", *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.*, 36, 75-85 (2009).
 13. Shapovalov O.I. and Ashkinazi L.A., "Biobutanol: Biofuel of second generation", "Russian Journal of Applied Chemistry, 81(12), 2232-2236 (2008).
 14. Vieira, M.C., Heinze, Th., Antonio-Cruz, R., Mendoza-Martínez A.M., "Cellulose derivatives from cellulosic material isolated from Agave lechuguilla and fourcroydes", *Cellulose*, 9, 203-212 (2002).
 15. Weizz P.B., Marshall J.F., "High-grade fuels from biomass farming and constraints", *Science*, 206, 24-29 (1979).
 16. Wilke C.R., Yang R.D., Sciamanna A.F., Freitas R.P., "Raw materials evaluation and process development studies for conversion of biomass to sugar and ethanol", *Biotech. Bioeng.*, 23, 163-183 (1981).