
Evaluación de residuales de la hidrólisis ácida del bagazo como productos de alto valor añadido

Marlén Morales-Zamora^a, Imilsis Espino-Leal^a, Leyanis Mesa-Garriga^b, Delvis Acosta-Martínez^b, Erenio González-Suárez^b, Eulogio Castro-Galiano^c

^aDepartamento de Ingeniería Química. Universidad Central de Las Villas. Carretera a Camajuani Km 5.5. Santa Clara, c/p 54830, Villa Clara, Cuba. ^bCentro de Análisis de Procesos. Universidad Central de Las Villas. Carretera a Camajuani Km 5.5. Santa Clara, c/p 54830, Villa Clara, Cuba, ^cDepartamento de Ingeniería de Materiales, Química y Ambiental. Universidad de Jaén Campus Las Lagunillas, 23071 Jaén, España.

Evaluation of residual acid hydrolysis of bagasse as products high added value

Avaluació de residus de la hidròlisi àcida del bagàs com a productes d'alt valor afegit

Recibido: 18 de noviembre de 2011; revisado: 13 de marzo de 2012; aceptado: 27 de marzo de 2012

RESUMEN

El trabajo tiene como objetivo la evaluación y caracterización de los residuales celulósicos obtenidos en la etapa de fraccionamiento del bagazo a partir de cambios operacionales en dicha etapa para su aprovechamiento en otras producciones. Se realiza un diseño de experimentos utilizando un reactor a escala de banco partiendo de resultados de laboratorio obtenidos previamente. Se caracterizan los residuales celulósicos utilizando técnicas analíticas novedosas tales como la técnica analítica Puls y cromatografía líquida. Se realiza un test de hidrólisis enzimática al sólido pretratado obtenido de la hidrólisis ácida para tener criterio de digestibilidad del mismo. El impacto de los cambios evaluados en el reactor de banco, en la etapa de hidrólisis del bagazo para la obtención de xilosa y furfural, favorecen la obtención de un sólido residual celulósico rico en % de glucosa, xilosa y lignina, con condiciones para ser utilizados como productos de alto valor agregado en el desarrollo de otras producciones ante la diversificación de la industria azucarera.

Palabras claves: fraccionamiento, bagazo, xilosa, glucosa, furfural, lignina

SUMMARY

The work has as objective the evaluation and characterization of the residual cellulose obtained in step fractionation of bagasse from operational changes at this stage for use in other productions. It is carried out a design of experiments using a bench scale reactor based on laboratory results obtained previously. The residual cellulose was characterized using analytical techniques such as novel analytical technique Puls and liquid chromatography. A test is performed by enzymatic hydrolysis pretreated solid

obtained from acid hydrolysis to take criterion digestibility. The impact of changes evaluated in bench reactor in the hydrolysis step to obtain bagasse xylose and furfural, favor the production of a cellulosic-rich residual solid% glucose, xylose and lignin with conditions to be used as products of high added value in developing other products to diversify the sugar industry.

Keywords: fractionation, bagasse, xylose, glucose, furfural, lignin

RESUM

El treball té com a objectiu l'avaluació i caracterització dels residus cel·lulòsics obtinguts en l'etapa de fraccionament del bagàs a partir de canvis operacionals en aquesta etapa per al seu aprofitament en altres produccions. Es realitza un disseny d'experiments utilitzant un reactor a escala pilot partint de resultats de laboratori obtinguts prèviament. Es caracteritzen els residus cel·lulòsics utilitzant noves tècniques analítiques com ara la tècnica analítica Puls i cromatografia líquida. Es realitza un assaig d'hidròlisi enzimàtica al sòlid pretractat obtingut de la hidròlisi àcida per tenir criteri de digestibilitat del mateix. L'impacte dels canvis avaluats en el reactor pilot, en l'etapa de hidròlisi del bagàs per al'obtenció de xilosa i furfural, afavoreix l'obtenció d'un sòlid residual cel·lulòs ric en% de glucosa, xilosa i lignina, en condicions de ser utilitzats com a productes d'alt valor afegit en el desenvolupament d'altres produccions davant de la diversificació de la indústria sucraera.

Paraules claus: fraccionament, bagàs, xilosa, glucosa, furfural, lignina

*Autor correspondencia: marlenm@uclv.edu.cu;
Telf: (53) (422)-81164 Fax: (53) (422)-81608

1. INTRODUCCIÓN

Con el advenimiento de la diversificación de la industria azucarera, el bagazo ha dejado de ser un residual, y ha devenido como una materia prima fundamental de energía y como fuente de productos de alto valor agregado, de ahí que su inserción en el concepto de biorefinería basado en la biomasa lignocelulósica abre un panorama bioeconómico, dado el carácter asequible de las materias primas y la posibilidad de producción de gran variedad de productos, incluidos aquellos que actualmente se originan en la industria petroquímica, facilitando la transición a la industria basada en la biomasa. [1]

Un esquema de biorefinería de los materiales lignocelulósicos se representa en la figura 1, partiendo del fraccionamiento de la biomasa en sus tres componentes principales: celulosa, hemicelulosa y lignina. A partir de estas fracciones pueden obtenerse múltiples productos que incluyen vapor y/o electricidad (por combustión del residuo rico en lignina), biocombustibles (mediante la fermentación de la glucosa principalmente) y líneas de productos químicos basados en la celulosa, xilosa (como el xilitol, etanol y el furfural) y la lignina (adhesivos naturales).



Figura 1. Esquema general de biorefinería basada en la biomasa lignocelulósica

Sin lugar a dudas, la obtención de productos de alto valor agregado a partir del bagazo, así como su utilización para la cogeneración implican varias premisas que deben conformar una estrategia adecuada para la correcta diversificación de esta materia prima como son:

- Disponer de tecnologías técnica y económicamente viables para la separación de los polímeros naturales que lo componen, es decir, disponer de las fuentes de celulosa, lignina y xilosa.
- Integrar el proceso de producción para el producto en cuestión con las restantes corrientes que se generan que no pueden ser consideradas residuos por su magnitud y valor.
- Disponer de un mercado seguro para todos los productos integrados que garanticen la efectividad empresarial del proceso. Estos son procesos que requieren mucho capital e inversiones intensivas por lo que la garantía del mercado y la explotación a

máxima capacidad son condicionantes de gran peso para emprender estos proyectos. [2]

El enfoque de aprovechar todas las fracciones del bagazo, como fuente de productos químicos y energía, tomando como apoyo la concepción de biorefinería, permite obtener una diversidad de productos químicos de alto valor agregado y un mejoramiento de la eficiencia y productividad energética en una fábrica.

El bagazo, como todos los residuos lignocelulósicos tiene como componentes fundamentales, celulosa, lignina y hemicelulosa. En su estado natural, la fracción celulósica es resistente a la acción enzimática, es por ello que resulta necesario un pretratamiento de esta biomasa que altere su estructura, facilitando la acción de las enzimas celolíticas. [3] La tecnología ideal de pretratamiento debe cumplir los siguientes requerimientos [4]: aumentar la formación de azúcares o la habilidad de formar azúcares, minimizar la degradación o pérdidas de carbohidratos, impedir la formación de coproductos colaterales inhibitorios para los procesos de hidrólisis y fermentación subsecuentes, y ser efectivo económicamente. Con la aplicación del pretratamiento se consigue además remover total o parcialmente la lignina y la hemicelulosa; y en algunas ocasiones, reducir el tamaño de las partículas del material. [5]

De la hidrólisis de bagazo para la producción de furfural, se obtiene un residual sólido agotado y sin aprovechamiento de su potencial material y energético. Esta etapa coincide con la primera etapa de pretratamiento ácido de la tecnología de obtención de etanol a partir de residuos lignocelulósicos. [6, 7] Por tanto, resulta factible analizar la hidrólisis ácida del bagazo, a partir de los mejores resultados obtenidos de la tecnología de obtención de etanol a partir de residuos lignocelulósicos [7] y de variar las condiciones operacionales, con menor tiempo de reacción, que permitan obtener un residual aprovechable para otras producciones de alto valor agregado, como son la producción de tableros y un condensado de furfural con una composición adecuada para su destilación, como se muestra de manera general en la figura 2.

El objetivo del trabajo consiste en evaluar y caracterizar los residuales obtenidos, a partir de los cambios en las variables operacionales en la etapa de pretratamiento del bagazo para su aprovechamiento en otras producciones.

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

2.1 Resultados de laboratorio previamente obtenidos.

Para el caso específico del bagazo de caña de azúcar se han utilizado varios sistemas de pretratamiento, y en particular se ha empleado con resultados positivos el pretratamiento organosolv en dos etapas (una ácida y otra básica), así como un análisis de los costos de producción para diferentes alternativas de tratamiento con las dos etapas. [8] Para una etapa de hidrólisis ácida y posterior hidrólisis enzimática (HE) se obtuvo una: Concentración de glucosa en

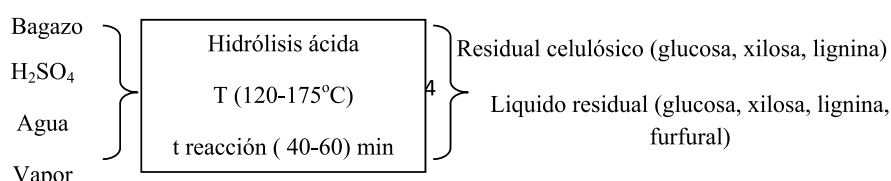


Figura 2. Esquema de la etapa de hidrólisis ácida del bagazo.

el hidrolizado por la hidrólisis enzimática (HE) del sólido insoluble en agua (Cgluc=13.68 g/L), y el rendimiento de glucosa (g de glucosa /100 g de bagazo inicial) de 16.48. Para dos etapas, una de hidrólisis ácida, otra hidrólisis básica y posterior hidrólisis enzimática se obtiene: Glucano=78.2%, xilano=3.83%, lignina=20.90%, recuperación de 51.45%, para un rendimiento de glucosa en HE de 54.92, y rendimiento de glucosa (g de glucosa /100 g de bagazo inicial) de 22.30.

Los principales resultados obtenidos se resumen a continuación:

- Existe influencia en el uso H_2SO_4 o NaOH en el pretratamiento Organosolv en una etapa del bagazo de la caña de azúcar. Se demostró que el uso del H_2SO_4 presenta resultados mejores, en la región experimental analizada, sobre los parámetros de respuestas estudiadas.
- Los mejores resultados se obtienen en el pretratamiento en 2 etapas (ácida y básica); la primera para separar la fracción xilano del bagazo y obtener pentosas para etanol u otros usos. La segunda (organosolv) para separar la lignina (buena calidad) e incrementar la eficiencia de la hidrólisis enzimática.
- El uso de dos etapas significa un incremento en todos los resultados, así como, un incremento en el número de equipos y del valor de la inversión, por lo que se impone un análisis de alternativas técnico económico.

De acuerdo con los fines que se quieran utilizar las pentosas, por ejemplo: en la producción de furfural, xilitol, etanol, se requieren cambios en las condiciones de operación del pretratamiento ácido. Para el caso de obtención de furfural los mejores resultados se obtienen a temperatura 175-185°C; relación sólido- líquido 1/1. [6, 7], para el caso de obtención de xilosa, a temperaturas de 120°C y relación sólido líquido 1/4. Se requiere una profundización en la utilización de uno de los residuales celulósicos de la hidrólisis ácida que es la lignina recuperada y en los desechos sólidos de la hidrólisis enzimática. [7, 8]

2.2 Experimental.

2.2.1 Preparación y caracterización de la materia prima a utilizar.

La muestra de bagazo se seca a la temperatura de 35°C. Posteriormente la muestra es molida y tamizada en un molino de cuchillas Restch GMBH 5657 tipo SR-2 y tamiz CISA modelo RP20, respectivamente, hasta lograr un tamaño de partícula de 1mm; se conserva en un frasco con cierre hermético bien identificado y a temperatura ambiente.

Para la caracterización del bagazo inicial utilizado se determinaron las composiciones de glucosa, xilosa, lignina, cenizas, % de humedad, extractivos acuosos y extractivos etanólicos utilizando el método PULS de análisis. [9] Se utiliza para la evaluación del método balanza analítica Denver, estufa Biender, una centrífuga Eppendorf 5417R a 15000 rpm, y un HPLC LY9100 con las siguientes especificaciones de trabajo: detector, IR; columna, CARBOSep CHO-682; volumen de inyección, 20µL; fase móvil, agua; flujo, 0.4 ml/min; presión, 350 psi; temperatura del horno, 80°C; tiempo de corrida, 30 min.

2.2.2 Descripción del reactor de banco utilizado en el estudio.

El reactor utilizado es un reactor de banco tipo Regmed modelo HB-51, el cual fue diseñado para diferentes pretratamientos en variedades de tipos de biomasa. Presenta un vaso presurizado rotatorio diseñado para mezclas perfectas y reacciones homogéneas. Presenta similitud geométrica (H/D) con respecto al reactor industrial en la planta de furfural; solamente difiere en el sistema de calentamiento, que industrialmente es con vapor directo para satisfacer la temperatura de trabajo de 175°C y en este caso es por medio de una resistencia eléctrica en la chaqueta del reactor. El material del vaso es AISI 316L, acero inoxidable. Este vaso presenta una capacidad de 9L y trabaja hasta una presión de trabajo de 16 bar. El vaso externo de calentamiento está fabricado de AISI 304. El sistema de rotación favorece una eficiente agitación de la pulpa en el vaso. La velocidad de rotación es en el orden de 6.5±0.5 rpm y el volumen mínimo de trabajo es de 5.5L.

2.2.3 Método de análisis para la caracterización de los residuales.

Para la caracterización de los residuales sólidos y líquidos obtenidos de la hidrólisis ácida se utiliza el mismo método PULS, pero en este caso para la determinación de la glucosa, xilosa, lignina y furfural.

Se realiza además, un test de hidrólisis enzimática al sólido pretratado, para evaluar la digestibilidad del sólido, criterio fundamental para posteriores análisis. Para el test de hidrólisis enzimática, se pesan 0.57 g de sólido, a los cuales se le adiciona 0.7088 ml de enzima; en este caso la enzima a utilizar es la celulasa, que presenta una actividad enzimática de 1ml/64.3FPU (unidades de papel de filtro). A dicha solución se le adiciona 60 ml de acetato de sodio (CH₃COO-Na), 40 ml de ácido acético (HAc) y 100 ml de agua destilada. La mezcla es sometida a la incubadora a 50°C y 150 rpm por 24 horas. Seguido, se desnaturaliza la enzima celulasa, se centrifuga la mezcla para separar el sobrenadante para su posterior análisis.

2.3 Diseño de experimentos en el reactor de banco.

Para la evaluación de la etapa de hidrólisis ácida, se realiza un diseño experimental multifactorial fraccionado 2² en el reactor Regmed HB-51 de 9 L de capacidad. El objetivo de la experiencia a nivel de banco, consiste en variar las condiciones, para el fraccionamiento del bagazo hacia la formación de xilosa y furfural, variando la concentración de ácido sulfúrico, desde 1% hasta 1.5 % m/v (no se había evaluado previamente) para poder determinar la influencia del ácido ante estos cambios, y aumentar la relación sólido- líquido en el rango de 1:2-1:4, considerando los intervalos de trabajo estudiados [7] para determinar la influencia de las composiciones de los residuales sólidos y líquidos obtenidos.

Se tomaron como base experimental las siguientes condiciones:

- Temperatura de reacción: 175°C;
- tiempo de reacción: 40 min;

En la tabla 2.1 se muestran las variables estudiadas y los niveles de trabajo del diseño, así como las variables de respuesta a analizar en cada experimento en el sólido pretratado y el líquido hidrolizado obtenido en la hidrólisis ácida, y del test de hidrólisis enzimática.

Tabla 2.1 Variables y rangos analizados para evaluar la hidrólisis ácida del bagazo.

Variable	Nivel inferior	Nivel superior
X ₁ : Rel (Relación Sólido/Líquido)	1:2	1:4
X ₂ : H ₂ SO ₄ (Concentración H ₂ SO ₄ m/v) masa sólido/volumen solución	1.0 %	1.5%
Y ₁ : % (g/100g base seca) Glucosa en el sólido pretratado. Y ₂ : % (g/100g base seca) Xilosa en el sólido pretratado. Y ₃ : % (g/100g base seca) Lignina en el sólido pretratado. Y ₄ : % (g/100g base seca) Glucosa en el líquido hidrolizado. Y ₅ : % (g/100g base seca) Xilosa en el líquido hidrolizado. Y ₆ : % (g/100g base seca) Lignina en el líquido hidrolizado. Y ₇ : % (g/100g base seca) Furfural en el líquido hidrolizado. Y ₈ : % (g/100g base seca) Glucosa en el sólido pretratado, test de hidrólisis enzimática. Y ₉ : % (g/100g base seca) Xilosa en el sólido pretratado, test de hidrólisis enzimática. Y ₁₀ : % (g/100g base seca) Lignina en el sólido pretratado, test de hidrólisis enzimática.		

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

De la caracterización del bagazo utilizado como materia prima inicial se obtienen los siguientes resultados para los principales componentes, como se muestra en la tabla 3.1, respondiendo a resultados obtenidos de la literatura referenciada. [5, 10, 11]

Tabla 3.1 Caracterización de la materia prima inicial.

Componentes	% (g/100g base seca)
Extractivos acuosos	3.91
Extractivos etanólicos	1.95
Extractivos totales	5.85
Humedad	7.82
Glucosa	39.28
Xilosa	26.59
Lignina	15.88
Ceniza	1.93

Para el procesamiento estadístico de los resultados se utilizó el software Statgraphics Plus 4.; a continuación, en las tablas 3.2 y 3.3 se resumen los resultados promedios obtenidos en el diseño de experimentos, modelos de ajuste, coeficientes de regresión ajustados y condiciones óptimas para cada modelo, según las variables respuestas analizadas para la evaluación del sólido pretratado.

Tabla 3.2 Resultados obtenidos para el sólido pretratado.

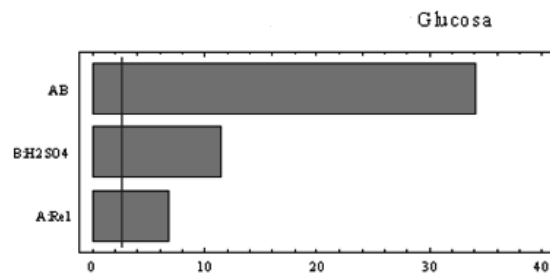
X ₁	X ₂	Y ₁	Y ₂	Y ₃
+	+	15.737	1.918	20.233
-	+	23.068	2.518	17.984
+	-	16.209	2.336	26.181
-	-	18.249	1.199	14.804

Tabla 3.3 Modelos de ajuste para el sólido pretratado en la hidrólisis ácida.

Modelos de ajuste	R ² (%)	óptimo
Y ₁ =Glucosa=20.3402-0.358169*Rel+0.60771*H ₂ SO ₄ -1.80189*Rel*H ₂ SO ₄	99.4995	Rel:-1 H ₂ SO ₄ :1
Y ₂ =Xilosa=2.08297+0.207706*Rel-0.121414*H ₂ SO ₄ -0.780708*Rel*H ₂ SO ₄	98.9832	Rel:1 H ₂ SO ₄ :-1
Y ₃ =Lignina=18.3692+1.94239*Rel+0.0855936*H ₂ SO ₄ -1.50455*Rel*H ₂ SO ₄	99.7328	Rel:1 H ₂ SO ₄ :-1

Según la tabla 3.2 se puede observar que los mayores % de glucosa (Y₁) corresponden al menor nivel de X₁ y mayor nivel de X₂. Los % de lignina obtenidos en todos los puntos, muestran resultados un poco más elevados cuando se comparan con la composición de lignina inicial de la materia prima. Estos resultados pueden deberse a que, como el reactor de banco necesita un tiempo de enfriamiento considerado, cuando se termina el tiempo de reacción, deben seguir sucediendo reacciones en el mismo hasta que sucede la descarga del sólido pretratado y el licor hidrolizado. La lignina, al ser un compuesto higroscópico, se solubiliza en el licor hidrolizado; es probable que la parte no soluble se redeposite en la superficie de la fibra celulolítica del sólido pretratado y que los resultados obtenidos en este tipo de reactor de banco utilizado respondan a esta consideración. Evidentemente, el tipo de reactor de pretratamiento influye en los resultados experimentales obtenidos.

Los modelos de ajuste responden satisfactoriamente a coeficientes de regresión R² por encima del 98% para todos los puntos experimentales. Se obtiene que, para menores relaciones de sólido-líquido, aumenta el % de glucosa, no siendo así para los % de xilosa y lignina. Por otro lado, un aumento de la concentración de ácido favorece el % de glucosa, no siendo así para los % xilosa y de lignina.



a)

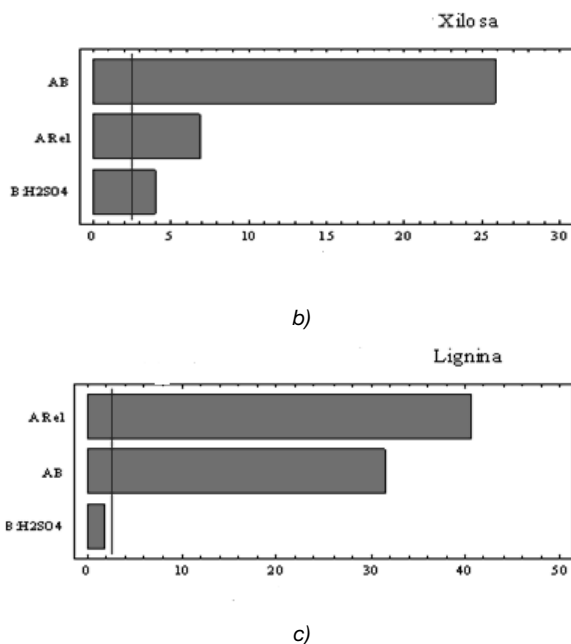


Figura 3. Diagramas de Pareto para las variables de respuesta analizadas en el sólido pretratado. a) variable glucosa, b) variable xilosa y c) variable lignina.

En la figura 3 se pueden observar los diagramas de Pareto para cada variable respuesta analizada en este caso. En las mismas se muestran los efectos de las variables de entrada y sus interacciones, siendo estas últimas representativas en todas las variables respuestas. La influencia de la concentración de ácido es más significativa en la variable respuesta glucosa, y xilosa, no siendo significativa para la lignina. En este caso, el fraccionamiento de la biomasa, a partir de la utilización de H₂SO₄, a bajas concentraciones, se realiza hacia la obtención de glucosa, xilosa y furfural, atacando la fracción de celulosa y hemicelulosa de la fibra, principalmente. En este caso el objetivo no es hacia la deslignificación de la fibra, lo cual no afecta el resultado obtenido por el diseño de experimentos. La influencia de la relación sólido- líquido es más significativa en la variable respuesta lignina, seguido xilosa y glucosa.

En las tablas 3.4 y 3.5 se resumen los resultados promedios obtenidos, modelos de ajuste, coeficientes de regresión ajustados y condiciones óptimas para cada modelo según las variables respuestas analizadas para la evaluación del líquido hidrolizado.

De la tabla 3.4 y 3.5 se puede observar que mayores % de glucosa, xilosa y lignina, responden a menores % de furfural. Los modelos de ajuste responden satisfactoriamente a coeficientes de regresión R² por encima del 96% para todos los puntos experimentales. Se obtiene que, menores relaciones de sólido-líquido, favorecen aumentos del % de glucosa, xilosa y lignina, no siendo así para los % de

furfural. Por otro lado, mayores concentraciones de ácido favorecen todas las variables respuestas.

En las tablas 3.6 y 3.7 se resumen los resultados promedios obtenidos del test de hidrólisis enzimática, modelos de ajuste, coeficientes de regresión ajustados y condiciones óptimas para cada modelo, según las variables respuestas analizadas para la evaluación del sólido pretratado.

Tabla 3.4 Resultados obtenidos para el líquido hidrolizado.

X ₁	X ₂	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇
+	+	20.833	1.716	4.881	3.755
-	+	33.476	2.191	5.985	2.399
+	-	24.135	2.146	5.299	4.105
-	-	16.321	1.620	5.155	2.409

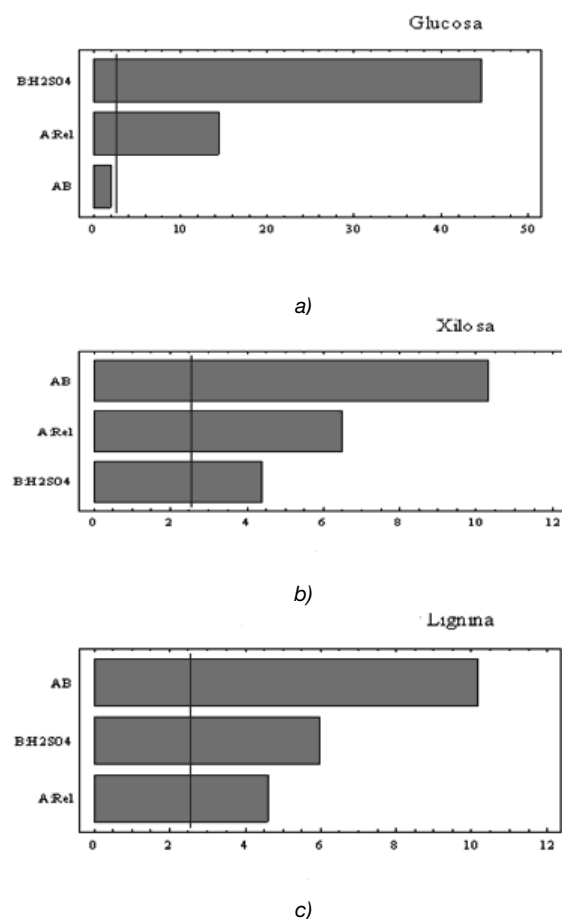


Figura 4. Diagramas de Pareto para las variables de respuesta analizadas del test de hidrólisis enzimática. a) variable glucosa, b) variable xilosa y c) variable lignina.

Tabla 3.5 Modelos de ajuste para el líquido hidrolizado.

Modelos de ajuste	R ² (%)	óptimo
Y ₄ =Glucosa=25.717+0.872905*Rel+3.78365*H ₂ SO ₄ - 4.79407*Rel*H ₂ SO ₄	99.363	Rel:-1 H ₂ SO ₄ :1
Y ₅ =Xilosa=1.93022+0.0269979*Rel+0.115386*H ₂ SO ₄ - 0.169883*Rel*H ₂ SO ₄	96.337	Rel:-1 H ₂ SO ₄ :1
Y ₆ =Lignina=4.0111-1.51909*Rel+0.171952*H ₂ SO ₄ - 0.243065*Rel*H ₂ SO ₄	98.460	Rel:-1 H ₂ SO ₄ :1
Y ₇ = Furfural =2.97369+1.05612*Rel+0.329181*H ₂ SO ₄ - 0.170943*Rel*H ₂ SO ₄	96.066	Rel: 1 H ₂ SO ₄ :1

Como resultado del diseño de experimentos se pueden obtener las siguientes conclusiones:

-Las condiciones operacionales del reactor de banco utilizado en la evaluación de la etapa de hidrólisis ácida del bagazo, sometido a altas presiones y temperaturas de trabajo, influyen en algunas composiciones del sólido pretratado, como es la lignina a la salida.

-Los rendimientos de sólidos y líquidos obtenidos de la etapa de hidrólisis ácida con el reactor de banco, para esas condiciones de trabajo, son comparadas favorablemente con las condiciones de laboratorio y el reactor piloto que previamente se había analizado en estudios anteriores. [7]

-Para todos los puntos del diseño, se obtienen %glucosa, xilosa, en el orden de los reportados por la literatura referenciada [4, 5, 7] después de la etapa de hidrólisis ácida y en el test de hidrólisis enzimática, cuando se comparan en relación con las composiciones iniciales de la materia prima.

-En este caso, el aumento en los % de glucosa en el sólido pretratado son necesarios para los posteriores pretratamientos e hidrólisis enzimática, lo cual se favorece con las condiciones óptimas de la relación sólido líquido de 1:2 y la concentración de ácido de 1.5%.

-Como resultado del test de hidrólisis enzimática, para evaluar la digestibilidad del sólido pretratado, se obtiene que a menor relación sólido líquido y mayor concentración de ácido se obtiene mayor % de glucosa. Sin embargo, a mayor relación sólido líquido se obtienen mayores % de xilosa y lignina. El análisis responde a resultados similares de análisis obtenidos, cuando se requiere continuar con el sólido pretratado para los otros pretratamientos. [11, 12]

-La mejores condiciones de las variables analizadas en la etapa de hidrólisis del bagazo, que satisfacen los modelos obtenidos, son con la relación sólido líquido de 1:2 y concentración de ácido de 1.5%.

-Los cambios en la etapa de hidrólisis evaluados en el reactor de banco, para la obtención de xilosa y furfural, favorecen la obtención de un sólido residual celulósico rico en % de glucosa, xilosa y lignina, y un líquido rico en furfural, con condiciones para ser utilizados en otras producciones.

4. CONCLUSIONES

La evaluación y caracterización de los residuales de la hidrólisis ácida del bagazo en el reactor de banco utilizado muestra resultados favorables para el fraccionamiento de la biomasa para la obtención de sus componentes principales, los resultados se encuentran en los rangos obtenidos por la literatura referenciada.

El impacto de los cambios evaluados en el reactor de banco, en la etapa de hidrólisis del bagazo para la obtención de xilosa y furfural, favorecen la obtención de un sólido y líquido residual con condiciones para ser utilizados como productos de alto valor agregado en el desarrollo de otras producciones, fortaleciendo el interés hacia el desarrollo de biorefinerías ante la diversificación de la industria azucarera.

5. BIBLIOGRAFÍA

1. Baudel, Zaror C & C., D. A. (2005) Improving the value of sugarcane bagasse wastes via integrated chemical

production systems: an environmentally friendly approach. *Ind Crops Prod.* 309-315.

2. Morales M., Mesa L., González E., Verelst H, Castro E. (2011) Simulation of different steps for the fractionation of bagasse for production of high final value products. *Proceeding in VII International Scientific Conference XXI Century Environment.* Cuba
3. Hsu and col. (1996). *Pretreatment of Biomass. Handbook of bioethanol production and utilization:* 179-195.
4. Sun, Y. & Cheng, J. (2002) Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Biore-source Technology.* 83, 1-11.
5. Gong, C. S., Chen, C. S. & Chen, L. F. (1999) Pretreatment of sugar cane bagasse hemicellulose hydrolyzate for ethanol production by yeast. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 39/40, 83-88.
6. Morales M., Verelst H., Mesa L. and Gonzales E., (2010), Simulation of furfural production process for reamping with ethanol technology from lignocellulosic residuals, *Chemical Engineering Transactions*, 21, 967-972 DOI:10.3303/CET1021162.
7. Mesa, L., (2010) Estrategia investigativa para la tecnología de obtención de etanol y coproductos del bagazo de la caña de azúcar. Tesis presentada en opción del grado de Doctor en Ciencias-Técnicas. Santa Clara. Cuba.
8. Mesa, L, González E, Albernas Y, González M, Diaz M, Castro E. (2009) Economic Evaluation of Pretreatment Alternatives for Ethanol Production from Sugar Cane Bagasse, 17th European Biomass Conference and Exhibition from Research to Industry and Markets, Hamburg, Germany.
9. Puls, J; Stork, J; Schuseil, J.(1993) Reactions of isolated cellulases, hemicelluloses and ligninases with fibrous materials and isolated components of woods. *Papier*, 47, 719-728,
10. Banerjee, R. & Pandey, A. (2002) Bio-industrial applications of sugarcane bagasse: A technological perspective. *Int. Sugar J.*, 104, 64-68.
11. Lavarack B.P., G. J. G., Rodman D., (2002). The acid hydrolysis of sugarcane bagasse hemicellulose to produce xylose, arabinose, glucose and other products, *Biomass and Bioenergy* 23: 367 – 380
12. Mesa, L, González E, Cara C, González M, Castro E, Solange I. Mussatto, (2010). An approach to optimization of enzymatic hydrolysis from sugar cane bagasse based on organosolv pretreatment. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 85, 1092-1098,
13. Mesa L, González E, Ruiz E, Romero I, Cara C, Fellissia F, Castro E, (2010). Preliminary evaluation of organosolv pretreatment of sugar cane bagasse for glucose production. Application of 2³ experimental design. *Appl. Energy* 87,109-114.
14. Sun, Y. & Cheng, J. (2002) Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Biore-source Technology.* 83, 1-11.