

EFFECTO DE LA HIDROCAVITACIÓN EN LA LIBERACIÓN DE AZÚCARES DEL ASERRÍN DE ROBLE: EVALUACIÓN EXPLORATORIA

EFFECT OF HYDROCAVITATION ON SUGAR RELEASE FROM OAK SAWDUST: EXPLORATORY ASSESSMENT

Daniel F. CARDONA Ing. Alim.¹, Luis F. GUTIÉRREZ Ph.D.^{2*}, Óscar J. SÁNCHEZ Ph.D.³

RESUMEN

Antecedentes: La cavitación hidrodinámica es un fenómeno en el cual se forman burbujas o cavidades debido a la reducción de la presión por el paso de un líquido a través de un estrechamiento y se ha utilizado preliminarmente en la producción de pulpa de papel. No hay reportes en la literatura disponible sobre su aplicación como método de pretratamiento de biomasa lignocelulósica para la obtención de azúcares reductores a partir de residuos agroalimentarios y agroindustriales. **Objetivo:** El objetivo del presente trabajo fue determinar el potencial del proceso de hidrocavitación para liberar azúcares fermentables a partir de material lignocelulósico. **Métodos:** Se utilizó aserrín de roble como material lignocelulósico, el cual se trató en un cavitador hidrodinámico para sólidos de 6 kg de capacidad. El hidrocavitador se alimentó con 580 g de aserrín y entre 5120 g y 5420 g de agua. Se evaluó el proceso de cavitación por lotes sin adición de catalizador y con adición de 5% de KOH durante 4 h a 105°C. Se analizó el contenido de azúcares reductores tanto en el aserrín crudo como en el licor obtenido expresado como concentración de xilosa empleando el método del DNS. Se llevó a cabo el balance de materia para azúcares reductores. **Resultados:** El tratamiento con KOH presentó un incremento de 7,5 veces en el contenido de azúcares reductores con respecto a su contenido inicial en el aserrín crudo; por su parte, el tratamiento sin KOH incrementó 3 veces el contenido de azúcares reductores. **Conclusiones:** El tratamiento por

hidrocavitación de aserrín de roble con adición de un 5% de KOH liberó la mayor cantidad de azúcares reductores potencialmente fermentables en comparación con la adición única de agua. Los resultados indican que la hidrocavitación puede ser un proceso alternativo promisorio como método de pretratamiento de residuos agroindustriales y de la industria de alimentos para la obtención de azúcares fermentables, xilitol y productos de fermentación con valor agregado como etanol, ácidos orgánicos y proteína unicelular.

Palabras clave: Hidrocavitación, álcali, azúcares reductores, xilosa, residuos agroindustriales.

ABSTRACT

Background: Hydrodynamic cavitation is a phenomenon in which bubbles or cavities are formed due to the pressure reduction caused by the flow of a liquid stream through a narrowing in the pipe. It has been preliminarily used for paper pulp production. To our knowledge, there are no published reports about the application of this process as a pretreatment method of lignocellulosic biomass in order to produce reducing sugars from agro-industrial and food wastes. **Objective:** The objective of this work was to assess the hydrocavitation process as a potential method for releasing fermentable sugars from lignocellulosic material. **Methods:** The lignocellulosic material (oak sawdust) underwent cavitation in a hydrodynamic cavitator for solids with 5 kg capacity. The hydrocavitator was fed with a 11.6% (w/w) sawdust-water suspension. Batch

¹ Integrante Grupo de Investigación en Alimentos y Agroindustria, Planta de Bioprocesos y Agroindustria, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

² Profesor Asistente, Integrante Grupo de Investigación en Alimentos y Agroindustria, Planta de Bioprocesos y Agroindustria, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

³ Profesor Asociado, Director Grupo de Investigación en Alimentos y Agroindustria, Planta de Bioprocesos y Agroindustria, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: fernando.gutierrez@ucaldas.edu.co

cavitation process was evaluated with and without addition of 5% KOH during 4 h at 105°C. The mass balance for reducing sugars was performed.

Results: The KOH treatment exhibited a 7.5-fold increase of the reducing sugars content related to the initial amount of sugars in the raw sawdust. On the other hand, the treatment without KOH increased three times the content of reducing sugars. **Conclusions:** The hydrocavitation treatment of oak sawdust with 5% KOH addition released the highest amount of reducing sugars (potentially fermentable) compared to the addition of sole water. The outcomes suggest that the hydrocavitation could be an alternative and promising process as a pretreatment method for agro-industrial and food wastes in order to produce fermentable sugars, xylitol, and fermentation value-added products like ethanol, organic acids, and single-cell protein.

Keywords: Hydrocavitation, alkali, reducing sugars, xylose, agro-industrial wastes.

INTRODUCCIÓN

En el contexto del desarrollo de cadenas productivas y de la base agroindustrial de países con vocación agrícola como Colombia, los residuos lignocelulósicos generados en estas cadenas representan una gran oportunidad para potenciar la cadena de valor mejorando al mismo tiempo la calidad de vida de los productores y comunidades involucradas. El complejo lignocelulósico es el material de origen biológico más abundante sobre la Tierra y está compuesto principalmente de una matriz de biopolímeros consistente de celulosa y lignina enlazada por cadenas de hemicelulosa. La biomasa lignocelulósica representa, por tanto, una fuente prácticamente inagotable y renovable de materias primas que se pueden convertir en productos de valor agregado. Estos productos se pueden obtener a partir de materiales residuales de naturaleza lignocelulósica como residuos agrícolas y agroindustriales. Sin embargo, para explotar el potencial de estos residuos e impulsar las cadenas de valor agroalimentarias, se requiere la liberación de los azúcares y polisacáridos presentes en los mismos a través de un pretratamiento de las materias primas a aprovechar.

El pretratamiento tiene como objetivo desintegrar la matriz lignocelulósica de tal manera que la celulosa reduzca su grado de cristalinidad y aumente la celulosa amorfa que es la más adecuada

para su posterior conversión enzimática en glucosa. Adicionalmente, la mayor parte de la hemicelulosa se hidroliza durante el pretratamiento y la lignina se libera o puede incluso descomponerse (1, 2). A fin de obtener productos de interés industrial y en una etapa posterior, la celulosa liberada es sometida a hidrólisis enzimática con celulasas exógenas, lo cual hace que se obtenga una solución de azúcares fermentables que contiene principalmente glucosa, así como pentosas resultantes (principalmente xilosa) de la hidrólisis inicial de la hemicelulosa que ocurre durante el pretratamiento. Estos azúcares se transforman en valiosos productos de fermentación como etanol, ácidos orgánicos y proteína unicelular. Alternativamente y mediante métodos químicos o biotecnológicos, la xilosa resultante del pretratamiento puede convertirse en xilitol, un polialcohol con un poder edulcorante similar al de la sacarosa pero que presenta una mayor estabilidad química y microbiológica ofreciendo resistencia al crecimiento de microorganismos y prolongando la vida útil de los productos alimenticios (3). Muchos de los estudios en la conversión de D- xilosa en xilitol se han hecho empleando *Saccharomyces cerevisiae* y levaduras del género *Candida* (4, 5). El pretratamiento permite que los rendimientos en la hidrólisis de celulosa aumenten de menos del 20% de los rendimientos teóricos a valores mayores al 90%, y una liberación de entre el 65% y el 100% de los azúcares que componen la hemicelulosa, para lo que se han propuesto y desarrollado diferentes métodos (6). Sin embargo, ninguno de los métodos de pretratamiento propuestos se puede aplicar en forma genérica a los diferentes materiales lignocelulósicos ni han alcanzado la madurez tecnológica para su implementación a nivel comercial.

Una alternativa novedosa para el rompimiento de la biomasa lignocelulósica puede llegar a ser la aplicación del fenómeno de cavitación hidrodinámica. La hidrocavitación se define como el fenómeno donde se forman burbujas o cavidades en una corriente líquida debido a la reducción de la presión hasta valores iguales o inferiores a la presión de vapor del líquido cuando pasa a través de un estrechamiento del tubo por donde fluye (efecto Venturi) (7). Al haber una recuperación de la presión por la amplitud del diámetro del paso del fluido líquido, las burbujas colapsan, difundiendo calor, generando así altos picos de temperatura que conduce a reacciones termolíticas (8, 9). Precisamente, la división molecular como resultado de

estas reacciones son las que causan una disociación de las matrices estructurales vegetales como las de la paja de trigo y de la madera conduciendo a su deslignificación (10, 11). El objetivo del presente trabajo consiste en realizar un estudio exploratorio sobre la hidrocavitación de residuos de aserrín de roble para disociar su matriz estructural a fin de obtener azúcares potencialmente fermentables.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se empleó aserrín de roble suministrada por una empresa de Manizales (Caldas) en calidad de material lignocelulósico. Se utilizó un hidrocavitador para sólidos de 6 kg de capacidad (TEK-1SM-SS, Ucrania) con recirculación, control de temperatura del proceso y tanque de alimentación que opera por lotes. Se cargaron 580 g de aserrín en el tanque de alimentación y se adicionó agua hasta completar los 6 kg, que es la capacidad del equipo. Se realizaron dos ensayos con tres repeticiones. En el primer ensayo se agregó 5% (p/p) de KOH a la suspensión agua/aserrín directamente al tanque de alimentación. Se operó el reactor de cavitación durante 7,5 h a 105°C. Al final de este tratamiento, se retiró el material cavitado mediante una válvula de drenaje; posteriormente, este material se filtró separando la fase sólida de la líquida (licor). El segundo ensayo se realizó de la manera descrita anteriormente, pero sin adición de KOH.

Al licor obtenido y a la materia prima inicial se les determinó el contenido de los azúcares reductores (AR) expresados como xilosa por el método del ácido 3,5-dinitrosalicílico o DNS (12), para lo cual se realizó una curva de calibración empleando este monosacárido. La lectura final de la mezcla reaccionante de este método se realizó a 540 nm en un espectrofotómetro Genesys 10S UV-Vis (Sigma-Aldrich, EUA). Para la medición de los azúcares reductores en el aserrín sin hidrocavitar se llevó a cabo

una extracción con agua destilada empleando una relación de 1:15. Para la determinación de azúcares en el caso del licor, se realizó una centrifugación previa; todas las concentraciones se expresaron en g de AR/kg. Con los datos de concentración de AR, el agua alimentada al hidrocavitador y la cantidad de agua adicionada durante el lavado del material cavitado, se realizó el balance de masa del sistema. Todos los ensayos se llevaron a cabo en la Planta de Bioprocesos y Agroindustria de la Universidad de Caldas.

RESULTADOS

La cantidad de AR liberados del aserrín (M_{AR}) en g durante el proceso se calcula a partir de la ecuación 1 general de balance:

$$M_{AR} = (m_{sld}AR_{sld}) - (m_{asr}AR_{asr} + m_{ag}AR_{ag} + m_{alc}AR_{alc}) \quad \text{Ecuación (1)}$$

donde m es la masa (en kg) de cada corriente y AR es la concentración de azúcares reductores en la corriente que le corresponda (g/kg); los subíndices *sld*, *asr*, *ag* y *alc* corresponden a las corrientes de salida (material cavitado constituido por licor y sólidos), aserrín, agua, y KOH, respectivamente. En la Tabla 1 se presenta los resultados del balance de materia para AR.

De los datos mostrados en la Tabla 1 y de la ecuación (1), la cantidad de azúcares reductores liberados durante el proceso de hidrocavitación con KOH fue de 9,96 g y para el proceso sin KOH fue de 3,08 g. El rendimiento de azúcares a partir del aserrín inicial para el proceso con KOH fue entonces de 14,5 g AR/kg aserrín, y para el proceso sin KOH fue de 2,62 g AR/kg aserrín, es decir, la hidrocavitación catalizada con hidróxido de potasio permitió alcanzar un rendimiento 5,5 veces mayor que cuando solo se somete a cavitación la mezcla de agua y aserrín.

Tabla 1. Balance de materia del proceso de hidrocavitación de aserrín de roble.

Corrientes	Aserrín	Agua	KOH	Licor + sólidos	Pérdidas
<i>Tratamiento con KOH</i>					
m (kg)	0,580	5,120	0,300	5,460	0,540
AR (g/kg)	2,69	0,00	0,00	2,11	0,00
<i>Tratamiento sin KOH</i>					
m (kg)	0,580	5,420	0,000	5,660	0,640
AR (g/kg)	2,69	0,00	0,00	0,82	0,00

DISCUSIÓN

Con base en los resultados arrojados en los balances de azúcares reductores se puede observar que el tratamiento más efectivo es el que usó KOH como catalizador del proceso, que favorece la hidrólisis de la hemicelulosa comparado con las condiciones no alcalinas (sin KOH). Adicionalmente, durante la hidrocavitación con KOH se forman peróxidos, especies altamente reactivas, que potencian significativamente la reacción. Aunque no se encontraron estudios concretos en aserrín de roble, se han realizado tratamientos de hidrólisis ácida en otras matrices lignocelulósicas obteniéndose concentraciones de azúcares en el licor de hasta 25,60 g/L en desechos del procesamiento de piña (13) y 3,26 g/L en pulpas de café (14); en este caso, las concentraciones de AR en el licor alcanzaron 2,11 g/L para el tratamiento con KOH. Cabe destacar que los estudios no estaban orientados a la hidrólisis de la hemicelulosa sino a la degradación de la lignina.

CONCLUSIONES

El empleo de KOH como catalizador durante la hidrocavitación de aserrín de roble demostró un incremento de la liberación de AR de hasta 5,5 veces comparado con el proceso sin KOH. Es necesario evaluar el rendimiento del proceso en presencia de otros catalizadores como ácido diluido, amoníaco, solventes orgánicos o sulfitos.

La hidrocavitación puede llegar a ser un proceso alternativo y eficiente, de bajo consumo energético, para la hidrólisis de hemicelulosa y la obtención de azúcares reductores como la *D*-xilosa, monosacárido que puede ser asimilado por ciertas especies de levaduras o por bacterias recombinantes ya desarrolladas para su conversión a etanol. Este proceso representa especial interés en la valorización de cadenas productivas como las de la industria de alimentos, en donde se generen cantidades importantes de residuos lignocelulósicos, así como en la deslignificación de diferentes materiales residuales para la nutrición de rumiantes. Este proceso puede ser particularmente atractivo como método de pretratamiento de residuos agroindustriales y de la industria de alimentos a fin de producir azúcares fermentables, xilitol y productos de fermentación con valor agregado como etanol, ácidos orgánicos y proteína unicelular.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación, Colciencias, por su apoyo a uno de los autores de este trabajo en el marco del programa de Jóvenes Investigadores. Igualmente se agradece el apoyo de la Planta de Bioprocesos y Agroindustria de la Universidad de Caldas.

REFERENCIAS

1. Sánchez ÓJ, Montoya S. Production of bioethanol from biomass: An overview. In: Gupta VK, Tuohy M, editors. Biofuel Technologies – Recent Developments. Berlin: Springer Verlag Berlin Heidelberg. 2012; 397-441 p.
2. Cardona CA, Sánchez ÓJ, Gutiérrez LF. Process Synthesis for Fuel Ethanol Production. First ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press; 2010.
3. Mussato S, Roberto I. Xilitol - Una gran alternativa en el mercado de edulcorantes Industria de Alimentos. 2003;6(25):18-21.
4. Hernandez J, Navarrete M, Ornelas LC, Zamudio M. Producción y aplicaciones biotecnológicas del xilitol. BioTecnología. 2011;15(2):22-47.
5. Herazo I, Ruiz D, Arrazola G. Bioconversión de xilosa a xilitol por *Candida guilliermondii* empleando cascarilla de arroz (*Oriza sativa*). Temas Agrarios. 2009;14(2):1-18.
6. Sánchez OJ, Cardona CA. Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. Bioresource Technology. 2008;99:5270-95.
7. Ghayal D, Pandit AB, Rathod VK. Optimization of biodiesel production in a hydrodynamic cavitation reactor using used frying oil. Ultrasonics Sonochemistry. 2013 1//;20(1):322-8.
8. Benito Y, Arrojo S. Tratamiento de efluentes industriales mediante cavitación hidrodinámica. Artículos Técnicos. 2006:38-41.
9. Sayyaadi H. Enhanced cavitation-oxidation process of non-VOC aqueous solution using hydrodynamic cavitation reactor. Chemical Engineering Journal. 2015 7/15//;272(0):79-91.
10. Badve MP, Gogate PR, Pandit AB, Csoka L. Hydrodynamic cavitation as a novel approach for delignification of wheat straw for paper manufacturing. Ultrasonics Sonochemistry. 2014 1//;21(1):162-8.
11. Baxi P, Pandit A. Using cavitation for delignification of wood. Bioresource Technology. 2012;110(2012):697-700.
12. Miller GL. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Anal Chem. 1959;31(3):426-8.
13. Ramírez K, Rojas Ó, Alvarado P, Baudrit J. Obtención de xilosa a partir de desechos lignocelulósicos de la producción y proceso industrial de la piña (*Ananascomusus*). Uniciencia. 2011;26:75-89.
14. Urbaneja G, Ferrer J, Paéz G, Arenas de Moreno L, Colina G, Sandoval L. Hidrólisis ácida y caracterización de carbohidratos de la pulpa de café. Rev. Facultad de Agronomía, Universidad de Zulia. 1997;14(2):265-75.