
CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y OBTENCIÓN DE BIOETANOL DEL RESIDUO SÓLIDO DEL PROCESAMIENTO DEL ALMIDÓN DE YUCA

Maria Yahaira Marcillo Zambrano, Holanda Teresa Vivas Saltos, Patricio Noles Aguilar

Carrera de Medio Ambiente, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Campus Politécnico sitio El Limón, Calceta, Manabí, Ecuador.

Contacto: yaha1426_04@hotmail.com

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue obtener bioetanol de los residuos del material lignocelulósico de la corteza de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) del procesamiento de almidón, en San Pablo de Tarugo, sometidos a pre tratamiento. Se hidrolizó el material con dos concentraciones de ácido muriático (75% y 100%), tres tiempos de reacción (20, 30 y 40 min) a una temperatura de 60°C en una relación peso – volumen 1/10. Se efectuó la identificación cualitativa (ensayo de lugol, Benedict y Fehling) y cuantitativa de los azúcares reductores. Con los resultados obtenidos se logró determinar el mejor tratamiento según la cantidad de azúcares reductores mediante el análisis de varianza. Obteniéndose producción de azúcares reductores de 41.73 g/L por hidrólisis con ácido muriático al 100% y tiempo de reacción de 40 minutos, fermentándose con inóculo de 7 g/L de levadura comercial Levapan (*Saccharomyces cerevisiae*) a los 30 días se obtuvo 17°GL.

Palabras clave: cáscara de yuca, residuo lignocelulósico, bioetanol, hidrólisis ácida, fermentación.

ABSTRACT

The objective was to obtain bioethanol from lignocellulosic material waste in yuca (*Manihot esculenta* Crantz) starch processing, in San Pablo of Tarugo, subjected to pretreatment. The material was hydrolyzed with two concentrations of muriatic acid (75% and 100%), in three reaction times (20, 30 and 40 min) at a temperature of 60°C in a weight – volume relation 1/10. Qualitative identification was performed (Lugol, Benedict and Fehling test) and quantitative from sugar reduction. With the results obtained it was possible to determine the best treatment to the amount of reducing sugars by variance analysis. Obtaining production of reducing sugars, 41.73 g/L by hydrolysis with muriatic acid at 100% and reaction time of 40 minutes, fermenting inoculum of 7 g/L using commercial yeast Levapan (*Saccharomyces cerevisiae*) at 30 days was obtained 17 ° GL.

Keywords: yuca peel, lignocellulosic waste, bioethanol, hydrolysis acid, fermentation

INTRODUCCIÓN

Los procesos agroindustriales generan subproductos o residuos que si no son tratados, reciclados o procesados apropiadamente, generan diversos problemas ambientales. Algunos son incinerados o vertidos en rellenos sanitarios produciendo una gran liberación de dióxido de carbono, contaminación de cursos de aguas, molestias por presencia de malos olores, proliferación de ratas, moscas y otros, su eliminación supone un problema de gestión para las empresas productoras, éstos materiales poseen un alto contenido en compuestos químicos (como azúcares, pigmentos, fibra alimentaria, proteína, polifenoles y lignina, entre otros) y pueden ser potencialmente útiles cuando se transforman mediante tratamientos químicos o microbiológicos en productos de elevado valor agregado (Barragán *et al.*, 2008).

En el Ecuador, la yuca se emplea para el consumo humano, en la alimentación animal y en la industria, pero debido a su perecibilidad es necesario procesarla, el almidón es el producto derivado de mayor demanda, tanto así que las 365 rallanderías a nivel nacional, de las cuales 333 se encuentran en Manabí, no abastecen las 6000 toneladas que requiere el mercado interno (CONCOPE, 2008).

En la provincia de Manabí, en el cantón Chone, parroquia Canuto, sitio San Pablo de Tarugo, existen pequeños productores que se dedican a la elaboración del almidón de yuca, siendo este trabajo el sustento de 150 familias (Cárdenas *et al.*, 2000). La elaboración de este producto genera residuos los cuales causan una grave contaminación al ambiente, consecuencia inevitable del proceso productivo. En la actualidad estos residuos sólidos son usados para alimento de animales, compostaje, entre otros (Sánchez *et al.*, 2010). La cáscara de la yuca es un material lignocelulósico, obtenido del procesamiento del almidón.

Los materiales lignocelulósicos (residuos agrícolas, agro-industriales y forestales) pueden presentar en su composición hasta 50% (p/p) de celulosa, y por ese motivo han sido muy utilizados para la obtención de ese biopolímero y de sus derivados para la producción de papeles o de compuestos de elevado valor comercial, tales como glucosa, etanol y otros (Medina *et al.*, 2011).

Se han desarrollado muchos tratamientos para hacer los materiales lignocelulósicos más susceptibles a la sacarificación (transformación de un polisacárido a un azúcar más sencillo) entre los cuales se encuentra la hidrólisis ácida (Mussatto *et al.*, 2006).

Ailong *et al.* (2012) evaluaron diferentes cepas de levadura para la obtención de 2,3-Butanodiol a partir de residual de yuca sometidos a un proceso de sacarificación con hidrólisis ácida y fermentación. Los resultados obtenidos, por estos investigadores, indican que la cepa de levadura SDM es buena candidata para la producción de 2,3-Butanodiol y el residual de yuca, como un sustrato alternativo para la producción de este alcohol.

El objetivo de este trabajo fue caracterizar el contenido químico y obtener bioetanol de los residuos del material lignocelulósico de la corteza de yuca (*Manihot esculenta*) del procesamiento de almidón, en San Pablo de Tarugo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la comunidad San Pablo de Tarugo en el cual se tomó muestras de cáscara de yuca y en la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López (ESPAM MFL), se llevó a cabo la fase experimental del proyecto.

Diseño experimental

En la investigación se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA); en arreglo factorial: AxB, donde el factor A es la concentración de ácido muriático (75% y 100%) y B el tiempo de reacción (20, 30 y 40 minutos) cada factor interactúa entre sí (A1xB1; A1xB2; A1xB3; A2xB1; A2xB2; A2xB3). Los tratamientos obtenidos se replicaron por triplicado.

Análisis estadístico de los resultados

Los datos se analizaron mediante análisis de varianza y la prueba de Tukey, al 0.05 probabilidades de error para la categorización de los promedios de significancia estadística.

Métodos

A la materia prima cáscara de yuca, se realizaron análisis bromatológicos, físicos y químicos en base a los métodos INEN (2011), entre estos se midieron: ceniza (INEN 467), fibra (INEN 542), proteína, nitrógeno (INEN 465), humedad (INEN 454); y celulosa (TAPPI T-1717 m-55), lignina (TAPPI T-13-0S-54), solubilidad en alcohol benceno (TAPPI T-60S-59) y humedad para análisis (TAPPI T-412-M6) según TAPPI (1991).

Elaboración del bioetanol

La cáscara de yuca fue deshidratada a una temperatura de 80 °C durante 24 horas, luego de esto fue pasada por un molino manual tolva baja y cernido en un tamiz 35 micras, para homogenizar las partículas.

Para el proceso de hidrólisis se pesaron 50 g de materia seca a la cual se le añadió 500 mL de ácido muriático, relación peso/volumen para cada unidad experimental. Posteriormente, se realizaron pruebas de identificación cualitativa a través de reacciones colorimétricas: Lugol (presencia de almidón, disacáridos o glucógeno), reacción de Benedict (presencia de glucosa, maltosa y sacarosa), Fehling (presencia azúcares reductores a no reductores) y la determinación cuantitativa de azúcares reductores por licor de Fehling (Jiménez *et al.*, 2008).

El hidrolizado se filtró en un lienzo común a fin de separar la fracción sólida de la fracción líquida, con el objeto de eliminar los compuestos tóxicos que han quedado adheridos al residuo sólido, se ajustó el pH con una solución alcalina en un rango de 4 – 4.5 (Tejada *et al.*, 2010) para su etapa de fermentación.

La fermentación se realizó en envases ámbar de capacidad de 1000 mL, con un volumen efectivo de trabajo de 1000 mL, en anaerobiosis. Se inocularon con 7 g/L de Levadura comercial (levapan) *Saccharomyces cerevisiae*, la cual se activó en 100 mL de agua destilada y media cuchara de azúcar común que se añadió al hidrolizado y se agitó hasta tener una buena distribución de la levadura en toda la solución. El proceso de fermentación terminó luego de 30 días (León, 2009).

Destilación

Al mosto fermentado se le midió el volumen para ser destilado en un sistema de laboratorio. Para esto se colocó 250 mL de mosto en un balón de destilación de vidrio pírrex de 1 L de capacidad acoplado a un tubo refrigerante con circulación de agua fría, (Alban *et al.*, 2009). El destilado se recolectó en un vaso de precipitación de 80 mL, una vez recolectados 100 mL de destilado se realizó una prueba de alcohol con el alcoholímetro de Gay Lussac. Es necesario señalar que el proceso de obtención del alcohol, solo se realizó al tratamiento que presentó la mayor cantidad de azúcares reductores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 1 muestra la composición de la cáscara de yuca seca en lo referente a su contenido de celulosa (17.23%), lignina (12.52%), permite establecer que este material posee concentraciones adecuadas de fracciones, donde las dos primeras son fuente importante de carbohidratos, que puede ser hidrolizadas y obtener azúcares simples útiles como sustratos para procesos biotecnológicos orientados a la producción de alcoholes, ya que estos parámetros se encuentran dentro del rango para materiales lignocelulósico (15 – 19 % de celulosa, 14 – 17 % lignina) reportados por Jiménez *et al.* (2008) correspondiente al follaje de la yuca.

Cuadro 1. Composición de la cáscara de yuca (*Manihot esculenta* Crantz)

Componentes	Porcentaje
Cenizas	14.80
Fibra	10.57
Proteínas	5.91
Nitrógeno	0.95
Carbohidratos	51.49
Lignina	12.52
Celulosa	17.23
Solubilidad en alcohol benceno	4.73

El Cuadro 2 muestra la presencia y ausencia de las variables analizadas de las pruebas colorimétricas en cada uno de los hidrolizados permitiendo observar que

los tratamientos en los que se trabajó a una concentración de ácido de 100% demostraron presencia de glucosa, maltosa, sacarosa y azúcares reductores en las pruebas de Fehling y Benedict mientras que en la prueba de Lugol la ausencia de almidón, disacáridos o glucógeno, por lo que son favorables para el proceso de hidrólisis. Mientras que en los tratamientos a una concentración de ácido de 75%, al tener una cantidad baja de azúcares reductores, se dificulta el proceso de fermentación alcohólica (Alban *et al.*, 2009).

Collares *et al.* (2012) evaluaron la hidrólisis enzimática del almidón de yuca utilizando pectinasa, α -amilasa, y amiloglucosidasa en un biorreactor con un volumen de trabajo de 2 L. La hidrólisis resultó en una concentración de azúcar total de 160 g/L. Concluyeron que la pectinasa mejoró la hidrólisis del almidón de yuca después de su adición al medio de reacción, se aumentó de 30% -50% la cantidad total de azúcar reductores en el medio de reacción.

Cuadro 2. Identificación cualitativa de almidón, disacáridos o glucógeno (Lugol), presencia de glucosa, maltosa y sacarosa (Benedict), presencia azúcares reductores (Fehling)

Tratamiento Conc-tiempo	Lugol			Fehling			Benedict		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
(75% x 20min)	+	+	+	-	-	-	-	-	-
(75% x 30min)	+	+	+	-	-	-	-	-	-
(75% x 40min)	+	+	+	-	-	-	-	-	-
(100% x 20min)	-	-	-	+	+	+	+	+	+
(100% x 30min)	-	-	-	+	+	+	+	+	+
(100% x 40min)	-	-	-	+	+	+	+	+	+

+ = presencia - = ausencia

Cuadro 3. Promedio de azúcares reductores por identificación cuantitativa (licor de Fehling)

Tratamientos	Medias de azúcares reductores
A1B1	36.11 b
A1B2	34.61 c
A1B3	30.53 d
A2B1	41.38 a
A2B2	41.48 a
A2B3	41.73 a
Error Estándar	0.27

Letras iguales no difieren estadísticamente según Tukey 0.05

La mayor cantidad de azúcares reductores se observó en los tratamientos a mayor concentración de ácido con una media de 41.73, datos que coinciden con Fonseca *et al.* (2006), quienes utilizaron ácido sulfúrico diluido con diferentes concentraciones (2, 4, 6 y 8%) obteniendo un mayor rendimiento con el tratamiento de 8%. La fermentación tuvo un tiempo total de 30 días, de los cuales en los 25 días iniciales no se presentó evidencia de

alcohol, y al final de la fermentación se obtuvo 17°GL (Cuadro 4).

Cuadro 4. Determinación del grado alcohólico durante la fermentación

Días de fermentación	Grados de alcohol
5 días	0°
8 días	0°
15 días	0°
25 días	0°
30 días	17°

CONCLUSIONES

El tratamiento de hidrólisis ácida con una concentración 100% y un tiempo de reacción de 40 minutos, a una temperatura estándar de 60 °C, permitió obtener la máxima concentración de azúcares reductores de 41.73 g/L, lo que facilitó la separación de los monómeros constituyentes de los polímeros de la celulosa y hemicelulosa, debido a que se verificó en todas las muestras de hidrolizados la presencia de carbohidratos de estructuras

La importancia de trabajar con materiales de desecho, como son los residuos del procesamiento de almidón (cáscara de yuca), es no atender contra la soberanía alimentaria ni contra el medio ambiente, ya que la cantidad de desechos generados en procesos industriales son difíciles de tratar.

LITERATURA CITADA

- Ailong Wang, Youqiang Xu, Cuiqing Ma, Chao Gao, Lixiang Li, Yu Wang, Fei Tao, and Ping Xu. 2012. Efficient 2,3-Butanediol Production from Cassava Powder by a Crop-Biomass-Utilizer, *Enterobacter cloacae* subsp. *dissolvens* SDM. *PLoS One*. 7, (7), Published online, 2012, July 5. doi: 10.1371/journal.pone.0040442.
- Alban, D; Freire, D. 2009. Obtención de bioetanol a partir de residuos de naranja "Citrus sinensis" provenientes del proceso agroindustrial de la provincia de Bolívar. *Ing. Agropecuario*. Escuela Politécnica del Ejército. Quito, Ecuador. Consultado, 15 de abr 2012. Disponible en <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2597>.
- Barragán, B; Téllez, Y; Laguna, T. 2008. Utilización de Residuos Agroindustriales. *Revista Sistemas Ambientales – Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*. 2(1):44–50.
- Cárdenas, F; Inestraza, F; Alvares, H; Cobeña, G; Arroyave, J. 2000. Situación y desarrollo agroindustrial de la yuca en el Ecuador. (En línea). *Ec. Formato (HTML)*. Consultado 11 jul. 2011. Disponible en www.sian.info.ve/porcinos/eventos/clayuca0102/ecuador.html.
- Collares, R. Miklasevicius, L. Bassaco, M. Salau, N. Mazutti, M. Bisognin, D and Terra, L. 2012. Optimization of enzymatic hydrolysis of cassava to obtain fermentable sugars. *J Zhejiang Univ Sci B*. 2012 July; 13(7): 579–586.
- CONCOPE (Consortio de Consejos Provinciales de Ecuador). 2008. Cultivo de yuca. (En línea). *EC*. Consultado 10 jun. 2011. Disponible en www.concope.gov.ec/Ecuaterritorial/paginas/Apoyo_Agro/.../Cultivos.../MYuca.
- Fonseca, E; Oviedo, A; Vargas, I. 2006. Hidrolisis acida de sustratos residuales agroindustriales colombianos. *Umbral Científico*. (8):5-11.
- Jiménez, I; Villegas, J; Ferrer, J. 2008. Evaluación del tratamiento de hidrólisis acida del bagazo de uva. Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería. Maracaibo. Venezuela. Consultado 15 de abr 2012. Disponible en <http://www.uru.edu/fondoeditorial/articulos/ARTICULO>.
- NTE INEN (Norma Técnica Ecuatoriana) 2012. Catálogo de normas. Actualizado 2012-03. Normas revisadas: 467, 542, 465, 454. Disponible en: www.inen.gob.ec.
- Medina, M; Fernández, L; Aguilar, C; Garza, H. 2011. Aprovechamiento de materiales lignocelulosicos para la producción de etanol como carburante. *Acta Química Mexicana*. 3(6): 1-7.
- Mossatto, S; Dragone, G; Fernandez, M; Rocha, G; Roberto, I. 2006. Efecto de los tratamientos de hidrólisis ácida e hidrólisis alcalina en la estructura del bagazo de malta para liberación de fibras de celulosa. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de Lorena – Departamento de Biotecnologia. Brazil. Disponible en <http://biblioteca.idict.villaclara.cu/UserFiles/File/adhesivos%20para%20tableros%20de%20madera/21.pdf>.
- León, L. 2009. Valoración del potencial de frutos de tres musáceas para la producción de alcohol a nivel de laboratorio. Tesis. *Ing. Agropecuario*. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil-Ecuador. *Ec*. Consultado 14 de may. Formato (PDF). Disponible en http://www.cib.espol.edu.ec/Digipath/D_Tesis_PDF/D-38959.pdf.
- Sánchez, A; Gutiérrez, A; Muñoz, J; Rivera, C. 2010. Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos. *Revista Tumbaga*. 5(2):61–90.
- Tejada, L; Tejada, C; Villabona, A; Alvear, M; Castillo, C; Henao, D; Maimón, W; Madariaga, N; Tarón, A. 2010. Producción de Bioetanol a partir de la fermentación alcohólica de jarabes glucosados derivados de cáscaras de naranja y piña. *Revista Educación en ingeniería*. (10):120-125.
- TAPPI1991. Test methods Ash in wood and pulp, TAPPI, Atlanta.