UTMACH

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESTUDIO CINÉTICO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DE CÁSCARA DE BANANO MADURO

MACÍAS BALÓN CINTHIA ROXANA
INGENIERA QUÍMICA

PALACIOS MORENO ARACELLY GISSELLA
INGENIERA QUÍMICA

MACHALA
2017

UTMACH

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESTUDIO CINÉTICO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DE CÁSCARA DE BANANO MADURO

MACÍAS BALÓN CINTHIA ROXANA
INGENIERA QUÍMICA

PALACIOS MORENO ARACELLY GISSELLA
INGENIERA QUÍMICA

MACHALA
2017

UTMACH

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

TRABAJO TITULACIÓN
ENSAYOS O ÁRTICULOS ACADÉMICOS

ESTUDIO CINÉTICO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DE CÁSCARA DE BANANO MADURO

MACÍAS BALÓN CINTHIA ROXANA
INGENIERA QUÍMICA

PALACIOS MORENO ARACELLY GISSELLA
INGENIERA QUÍMICA

ROMERO BONILLA HUGO ITALO

MACHALA, 08 DE SEPTIEMBRE DE 2017

MACHALA
2017

Nota de aceptación:

Quienes suscriben, en nuestra condición de evaluadores del trabajo de titulación denominado ESTUDIO CINÉTICO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DE CÁSCARA DE BANANO MADURO, hacemos constar que luego de haber revisado el manuscrito del precitado trabajo, consideramos que reúne las condiciones académicas para continuar con la fase de evaluación correspondiente.

ROMERO BONILLA HUGO ITALO
0702616251
TUTOR - ESPECIALISTA 1

YANEZ ROMERO MARIA ELENA
0704077544
ESPECIALISTA 2

MORALES AUZ JAIME ROBERTO
0701132904
ESPECIALISTA 3

Machala, 08 de septiembre de 2017

URKUND

Urkund Analysis Result

Analysed Document: MACIAS BALON CINTHIA ROXANA_PALACIOS MORENO ARACELLY GISSELLA_PT-010517.pdf (D30204984)
Submitted: 2017-08-21 20:00:00
Submitted By: titulacion_sv1@utmachala.edu.ec
Significance: 4 %

Sources included in the report:

http://www.academia.edu/27850579/Efecto_de_tres_pre-tratamientos_de_c%C3%A1scara_de_banano_para_la_obtenci%C3%B3n_de_jarabe_glucosado_mediante_hidr%C3%B3lisis_enzim%C3%A1tica
http://maharajabedcollege.org/mineral2/12051/la-produccion-de-esta-o-en-la-india.html
http://investigaciones.unicartagena.edu.co/index.php/grupos-de-facultades/ingenieria/incas/publicaciones-incas
https://www.researchgate.net/profile/Hugo_Romero6/publication/293178620_Effect_of_three_pre-treatments_on_banana_peel_to_obtain_a_glucose_syrup_by_enzymatic_hydrolysis/links/56b6962508ae3c1b79ad4a0d.pdf?origin=publication_detail

Instances where selected sources appear:

5

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

Las que suscriben, MACÍAS BALÓN CINTHIA ROXANA y PALACIOS MORENO ARACELLY GISSELLA, en calidad de autoras del siguiente trabajo escrito titulado ESTUDIO CINÉTICO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DE CÁSCARA DE BANANO MADURO, otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Las autoras declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las dispociones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Las autoras como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 08 de septiembre de 2017

Cinthia Macías
MACÍAS BALÓN CINTHIA ROXANA
0705534972

PALACIOS MORENO ARACELLY GISSELLA
0706653011

ESTUDIO CINÉTICO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DE LA CÁSCARA DE BANANO MADURO

KINETICS STUDY OF THE PRODUCTION OF BIOETHANOL FROM AGRO-INDUSTRIAL WASTE OF THE BANANA SHELL

Cinthia Macías Balón[1], Aracelly Palacios Moreno[2], Hugo Romero Bonilla[3]

RESUMEN:

Se estudió la aplicación de un compuesto de polietilen glicol (PEG de masa molecular 1500), que ayuda a combatir los compuestos inhibidores presentes en la hidrólisis enzimática de cáscara de banano maduro (variedad Cavendish) previo a la obtención de bioetanol mediante fermentación alcohólica. Se realizaron tres experimentos al 60% de cáscara de banano molida con PEG a diferentes concentraciones (0.01; 0.02; 0.03 g/g biomasa), la hidrólisis enzimática se la realizó con conidias del hongo *Trichoderma viride* y su posterior fermentación alcohólica con levadura activa seca comercial (*Saccharomyces cerevisiae)* que previamente fue activada. El mejor resultado corresponde al experimento 3 (PEG 1500 0.03 g/g biomasa), con el que se obtiene un mayor incremento de azúcares reductores, dando una producción de 7 % de bioetanol.

PALABRAS CLAVES:

Cáscara de banano, Polietilen glicol, hidrólisis enzimática, fermentación alcohólica, bioetanol.

ABSTRACT:

The application of a polyethylene glycol compound (PEG of molecular mass 1500), which helps to combat the inhibitory compounds present in the enzymatic hydrolysis of mature banana husk (Cavendish variety) prior to the production of bioethanol by alcoholic fermentation was studied. Three experiments were carried out on 60% of banana peel milled with PEG at different concentrations (0.01, 0.02, 0.03 g / g biomass), the enzymatic hydrolysis was carried out with conidia of the fungus Trichoderma viride and its subsequent alcoholic fermentation with dry active yeast Commercial (Saccharomyces cerevisiae) that was previously activated. The best result corresponds to experiment 3 (PEG 1500 0.03 g / g biomass), with which a greater increase of reducing sugars is obtained, giving a production of 7% of bioethanol.

KEY WORDS:

Banana peel, Polyethylene glycol, enzymatic hydrolysis, alcoholic fermentation, bioethanol.

[1] Egresada de la carrera de Ingeniería Química de la Universidad Técnica De Machala
cmacias_est@utmachala.edu.ec

[2] Egresada de la carrera de Ingeniería Química de la Universidad Técnica de Machala
agpalacios_est@utmachala.edu.ec

[3] Docente Investigador de la Universidad Técnica De Machala, laboratorio de Electroanalítica y Bioenergía
hromero@utmachala.edu.ec

INTRODUCCIÓN

La incertidumbre de la disponibilidad de recursos petroleros para satisfacer las necesidades de combustibles, han motivado un creciente interés por procesos de sustitución de la actual matriz energética por la producción de energía verde a partir de residuos agrícolas (Oberoi, Vadlani, Saida, Bansal, & Hughes, 2011) (Cortés, Ciro, & Moreno, 2012). Desde esta perspectiva, se ha fomentado la producción y el consumo de energías renovables, sostenibles y respetuosas con el medioambiente a partir de biomasa lignocelulósica (Conesa, Seguí, & Fito, 2013) que puede obtenerse de material de desecho de las actividades agrícolas (Kandasamy, et al., 2017). Las fuentes de biocombustibles están distribuidas geográficamente más uniforme que los combustibles fósiles (Kumar, et al., 2014); por lo tanto, las fuentes de energía serán, en mayor medida, locales y proporcionarán seguridad de abastecimiento al mercado nacional (Petrova & Viara, 2010).

Los sustratos vegetales están compuestos por celulosa, hemicelulosa y lignina (Franco, Martínez, & Valencia, 2009) los cuáles se consideran la materia prima del futuro para la producción de biocombustibles, debido a su bajo costo y disponibilidad (Chuck, Pérez, Heredia, & Serna, 2011). Por lo tanto, según (Haq, et al., 2016) y (Mohapatra, Mishra, Behera, & Thatoi, 2017) la producción y el uso de dichos combustibles ayudan a minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero ya que es obtenido de fuentes de energía alternativa. Así mismo la producción de bioetanol a partir de materia lignocelulósica implica diferentes etapas: pretratamiento, hidrólisis, fermentación (Ortiz & Oliveira, 2014).

En este sentido, la cáscara de banano es una fuente abundante de material celulósico que es el constituyente externo del banano y representa alrededor del 40% en peso, tiene el potencial de producir alcohol (Molsalve, Medina, & Ruiz, 2006) (Singh & Trivedi, 2013). Sin embargo, es necesario un procesamiento químico y bioquímico para convertir estos polímeros en azúcares monoméricos. Una vez en forma monomérica, los azúcares pueden convertirse mediante microorganismos fermentativos en bioetanol (Bower, Wickramasinghe, Nagle, & Schell, 2008). Durante la etapa de pretratamiento e hidrólisis se producen compuestos no deseables que afectan negativamente la tasa de fermentación de la levadura (Klasson, 2017), la toxicidad de estos compuestos, llamados inhibidores, sobre los microorganismos es uno de los principales factores limitantes en el rendimiento de bioetanol durante la fermentación (Jaramillo, Goméz, & Fontalvo, 2012). Por ello debe realizarse un pretratamiento antes de la hidrólisis para remover la lignina (Riaño, Gutiérrez, Muñoz, & Rivera, 2010), hidrolizar la hemicelulosa a azúcares fermentables, y reducir la cristalinidad de la celulosa para liberar la glucosa (Cuervo, Folch, & Quiroz, 2009), este determina el rendimiento que se obtendría después de la fermentación alcohólica (Danmaliki, Muhammad, Shamsuddeen, & Usman, 2016). La hidrólisis enzimática se aplica una vez que los residuos han sido tratados, para dejar las cadenas poliméricas más expuestas (Saval, 2012), para que la generación de compuestos tóxicos sea baja y para evitar la adición de compuestos químicos (Kuila, Sharma, Garlapati, & Singh, 2017). El proceso se lleva a cabo mediante la adición de enzimas celulíticas al biorreactor (Karimi, Esfandiar, & Biria, 2017). El uso de la *Trichoderma* en la industria biotecnológica es por su capacidad de producir diversos metabolitos y por la adaptación a diversas condiciones ambientales y sustratos (Acevedo, Granados, & Guerrero, 2014). Por otro lado la levadura *Saccharomyces cerevisiae* es usada en la fermentación (Tejada, et al., 2010), es un microorganismo anaeróbico facultativo que tiene la capacidad de fermentar la glucosa (Valdés, et al., 2015) y no tiene muchas exigencias en cuanto a nutrientes (Görgens, Bressler, & Rensburg, 2015). Por tal motivo, el objetivo de la presente investigación fue hidrolizar la celulosa y hemicelulosa presente en la cáscara de banano maduro a azúcares reductores y su posterior fermentación alcohólica para obtener bioetanol de segunda generación.

METODOLOGÍA

Materiales

La cáscara de banano maduro utilizada fue de la variedad Cavendish, las cuales son desechadas de las líneas de producción de la empresa DIANA FOOD S.A. que tiene su Planta de Procesamiento ubicada en Pasaje provincia de El Oro. Así mismo, polietilen glicol de peso molecular 1500 (PEG 1500) de Sigma-Aldrich (Alemania). Trichoeb proporcionado por Ecuabiológica (Ecuador) y levadura activa seca proporcionada por Levapan (Ecuador).

Pretratamientos
Se molió la cáscara, con la finalidad de aumentar el área de contacto de la cáscara con el hongo luego se procedió a realizar un tratamiento térmico en un autoclave ALLAMERICAN 25X a 121 ° C durante 15 minutos.

Diseño del experimento
Se prepararon tres soluciones al 60% de cáscara de banano molida reportado por (Romero, Ayala, & Lapo, 2015) ya que a esta concentración de cáscara se obtiene la mayor concentración de glucosa, a los cuales se añadieron 3 concentraciones diferentes de PEG 1500 (0,01-0,03 g/g Biomasa) respectivamente.

Para diferenciar las concentraciones del controlador de la inhibición del proceso hidrolítico enzimático, la tabla 1 muestra los factores y niveles experimentales en este aspecto.

Tabla 1 Factores y niveles del experimento.

Adsorbentes	Concentración PEG (g PEG/g biomasa)		
	$[\ ]_1$	$[\ ]_2$	$[\ ]_3$
PEG 1500	0.01	0.02	0.03

Fuente: Elaboración propia.
***PEG Polietilen glicol**

Hidrólisis enzimática
La hidrólisis enzimática se realizó en biorreactores de 2 L a una concentración de 60% de residuo, al cual se añadió tres concentraciones diferentes de PEG 1500 (0,01-0,03 g PEG/g biomasa) y se disolvieron en 600 mL de agua purificada, se agitó por 5 minutos para que el PEG adsorba a los inhibidores de la hidrólisis enzimática. Posteriormente se adicionó 0,4 g/L de conidias del hongo *Trichoderma viride*. Se agitó durante 1 hora a 200 rpm y se tomó una muestra cada hora. Para la cuantificación de los azúcares reductores se utilizó espectrofotometría UV-Visibles a 540 nm, utilizando el método Miller (DNS) (Miller, 1959), también se medió pH, °Brix y oxígeno disuelto.

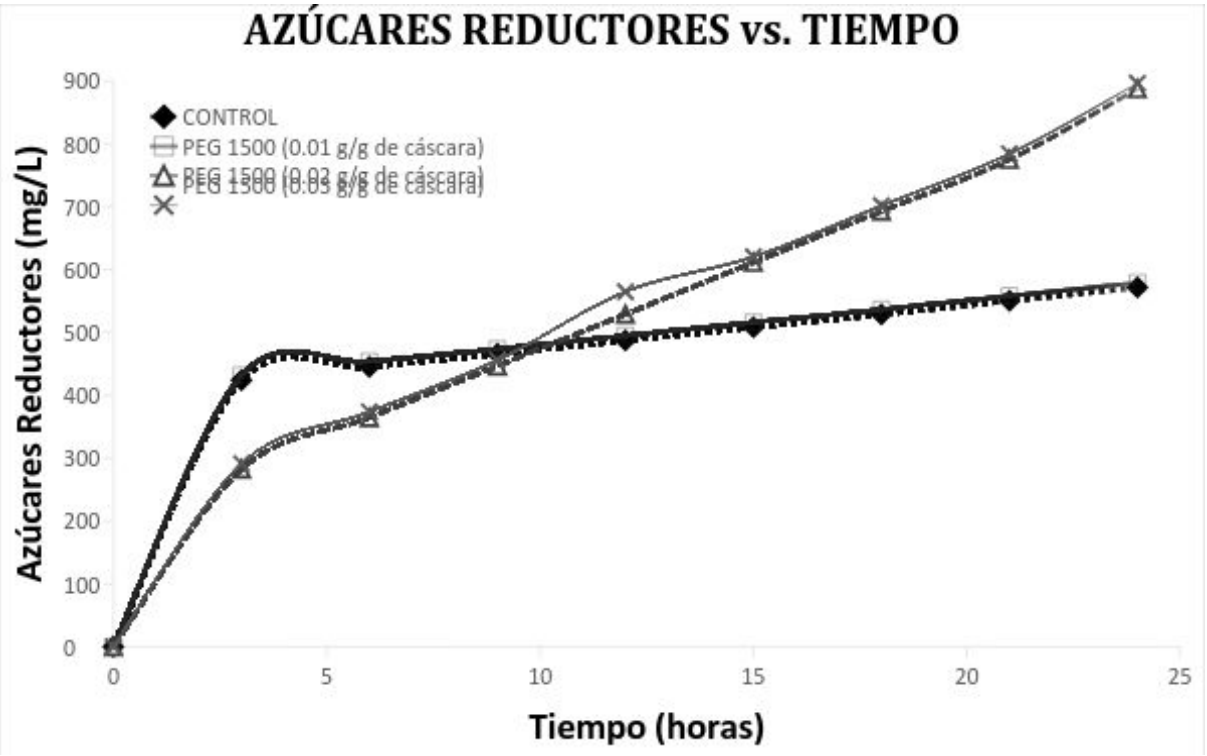
Cuantificación de azúcares reductores
Para la cuantificación se tomó una muestra de hidrolizado en un tubo de ensayo y se centrifugó a 10000 rpm durante 10 min, con el sobrenadante se hizo una dilución de 1:10. Luego se tomaron 0,5 ml de la dilución y 0,5 ml del reactivo DNS, se colocó el tubo de ensayo en baño de agua a 100 °C por 5 min en este lapso el ácido 3,5 dinitrosalicílico es reducido, por los azúcares reductores que entran en contacto con él, se desarrolló un cambio de color con variaciones de amarillo hasta café (Ávila, Rivas, Hernández , & Chirinos, 2012). Se enfrió hasta temperatura ambiente y se adicionó 5 ml de agua destilada. Se agitó y se realizó la lectura a 540 nm en el espectrofotómetro HACH DR 3900 (Bello, Carrera, & Diaz, 2006).

Con el experimento (PEG 0.03 g/g cáscara) que se obtuvo mayor concentración de glucosa se realizó la fermentación para la obtención de bioetanol.

Fermentación
Después de la hidrólisis enzimática para inactivar el hongo se pasteurizó el hidrolizado a 90°C por 10 min (Guidance, 2016). Se trabajó con un volumen de 1000 mL, se controló el pH y se adicionó la levadura activa seca comercial (*Saccharomyces cerevisiae)* que previamente fue activada. Se colocó en un bioreactor sellado herméticamente, se tomó muestras para medir la concentración de alcohol, el pH, °brix y oxígeno disuelto.

RESULTADOS

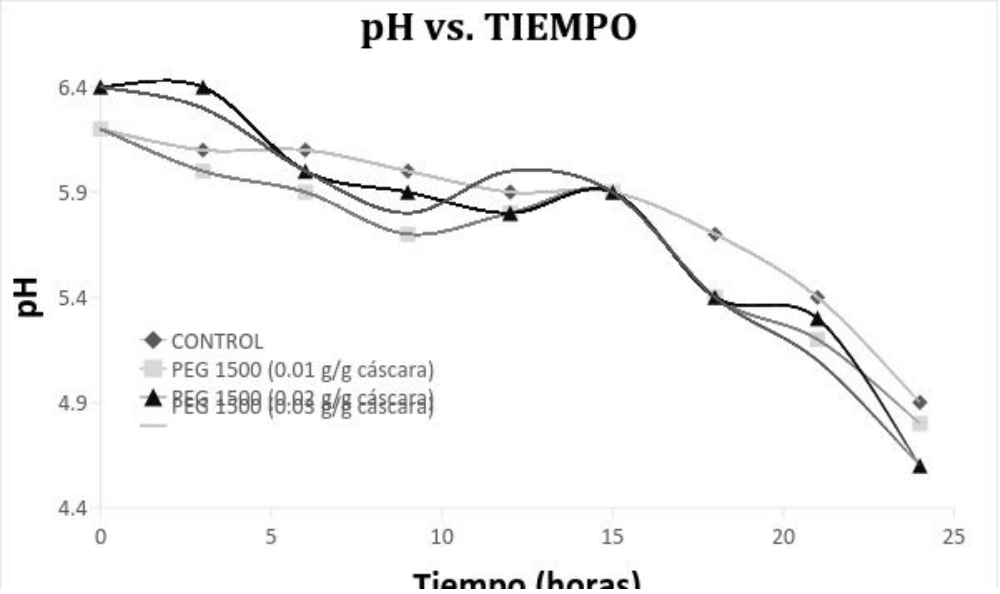
En lo referente, a la producción de azúcares reductores (mg/L) para los 3 tratamientos durante 24 horas de hidrólisis enzimática, se puede observar en la figura 1.



Fuente: Elaboración propia

Fig. 1 Cinética de la hidrólisis enzimática para los 3 tratamientos durante 24 horas.

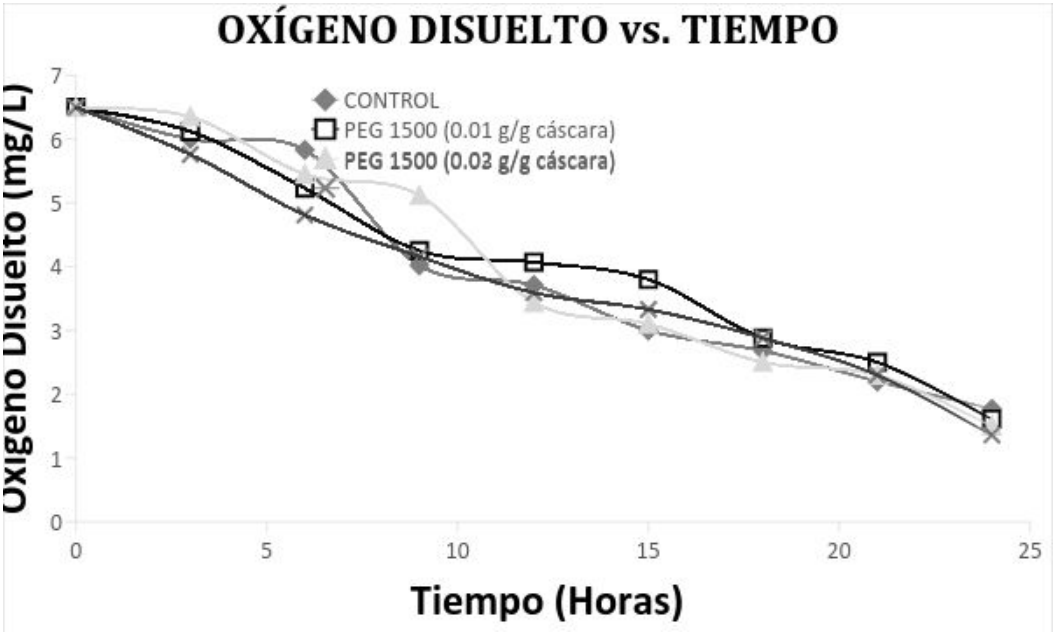
En la siguiente figura se presenta la variación del pH respecto al tiempo para la hidrólisis a una escala de 2L., se puede observar en la figura 2.



Fuente: Elaboración propia

Fig. 2 Variación del pH respecto al tiempo para la hidrólisis a una escala de 2 L.

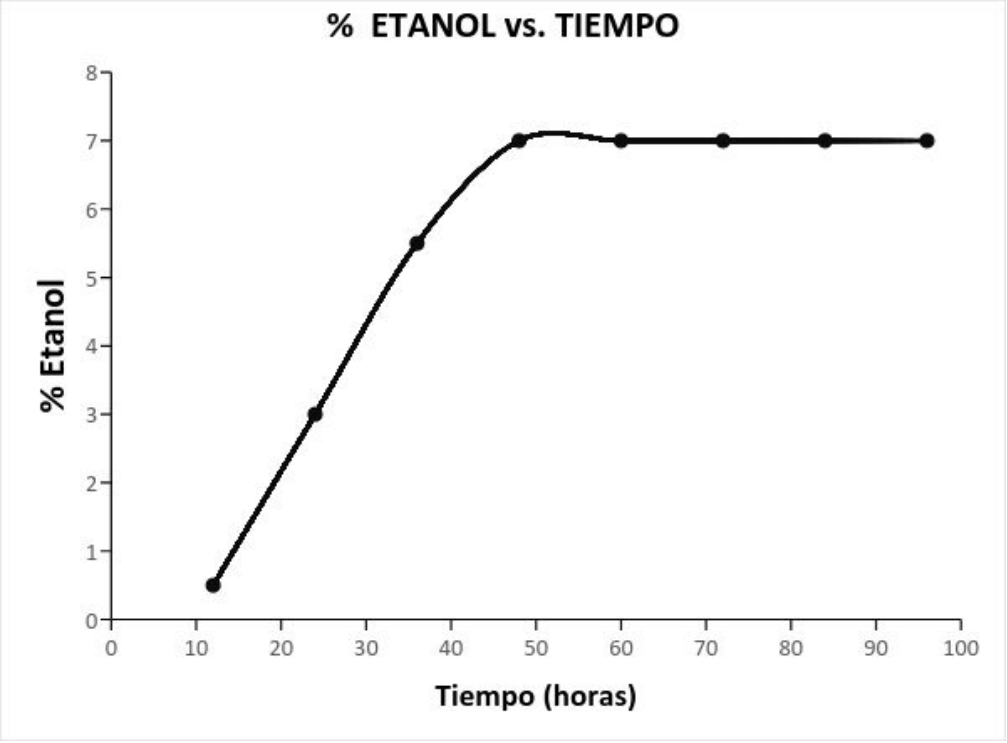
Por otro lado, la disminución del oxígeno disuelto para la hidrólisis enzimática a escala de 2 L., se muestra en la figura 3.



Fuente: Elaboración propia

Fig. 3 Disminución del oxígeno disuelto para la hidrólisis enzimática a escala de 2 L.

Adicionalmente, en la figura 4 se puede observar el comportamiento de la producción de bioetanol durante la fermentación por un periodo de 4 dìas.



Fuente: Elaboración propia

Fig. 4 Cinética de la producción de bioetanol durante la fermentación alcohólica.

DISCUSIÓN

En la tabla 1 se evidencia la concentración del polietilen glicol que se añadió a los bioreactores para evaluar su efecto como inhibidor en la hidrólisis enzimática ya que según (Ko, Um, Park, Seo, & Kim, 2015) la lignina y otros compuestos que se encuentran presentes en los residuos lignocelulósicos limitan la hidrólisis de la celulosa y la hemicelulosa. Obteniendo mejores resultados con la adicción de 0.03 g PEG/g biomasa.

En la figura 1 se observa que la adición de PEG con concentración 0.02 y 0.03 g/g biomasa parece aumentar los rendimientos de azúcares reductores. En el experimento con PEG 0.03 g/g biomasa se alcanzó un incremento de 895.95 (± 1.9) mg/L de azúcares reductores, existiendo diferencia significativa con la adición de PEG 0.01 g/g biomasa que alcanzó una producción máxima de 578.9 (± 0.42) mg/L de azúcares reductores. En el experimento en donde no se adicionó este aditivo se obtuvo una producción de 571.2 (± 0.84) mg/L de azúcares reductores.

Así mismo, respecto al descenso del pH (figura 2), durante el tiempo de hidrólisis de la cáscara de banano maduro presente en los 3 tratamientos con PEG 1500 (0.01; 0.02; 0.03 g/g biomasa) con respecto al tiempo. Se puede manifestar que este se produce desde 6.2 a 4.9 unidades de pH en el tratamiento de control, de 6.2 a 4.8 en el tratamiento 1, de 6.5 a 4.6 en el tratamiento 2 y de 6.5 a 4.6 en el tratamiento 3, estabilizandose después de 18 horas de hidrólisis en todos los tratamientos, lo cual indica que el hongo modifica el pH del medio de cultivo para su crecimiento y producción de glucosa.

Por su parte, el comportamiento del oxígeno disuelto respecto al tiempo (figura 3), se puede observar que éste decrece conforme avanza la hidrólisis enzimática, debido a que una fracción de este microorganismo lo consume como parte de la vía metabólica aeróbica.

En lo referente al rendimiento de bioetanol (figura 4), el valor más alto que se obtuvo fue de 7% para 48 horas de fermentación el cual se aproxima al valor reportado por (Kumar, et al., 2014).

CONCLUSIONES

Los resultados demuestran que a partir de residuos lignocelulósicos de la cáscara banano maduro, se puede obtener bioetanol, sin embargo, el rendimiento es bajo para que sea económicamente rentable haciéndose necesaria la realización de más estudios para la optimización del proceso. También se observó que con una mayor cantidad de polietilen glicol (PEG) debido a su capacidad de adsorber la lignina, principal inhibidor de la hidrólisis enzimática (Zhang, Wu, & Xie, 2017) se obtiene una mayor cantidad de azúcares reductores. Cabe resaltar que se debe controlar estrictamente el pH en la fermentación ya que este factor influye directamente en la producción de biocombustible. Según (Sharma & Mishra, 2015) el porcentaje de bioetanol obtenido es igual al de esta investigación pero el tiempo de producción fue de 7 días, en esta investigación los resultados obtenidos son los mismos en un lapso de 2 días lo cual evidencia que la adición de PEG aumenta notablemente la cinética de la producción de bioetanol.

BIBLIOGRAFÍA

Acevedo, D., Granados, C., & Guerrero, E. (2014). Cinética Enzimática del Bagazo de Caña para la Producción de Glucosa Utilizando la Enzima Trichoderma longibrachiatum. *Información tecnológica, 25*(5), 65-72.

Ávila, R., Rivas, B., Hernández , R., & Chirinos, M. (2012). Contenido de azúcares totales, reductores y no reductores en Agave cocui Trelease. *Multiciencias, 12*(2), 129-135.

Bello, D., Carrera, E., & Diaz, Y. (2006). Determinación de azúcares reductores totales en jugos mezclados de caña de azúcar utilizando el método del ácido 3, 5 dinitrosalicílico. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 40*(2), 45-50.

Bower, S., Wickramasinghe, R., Nagle, N., & Schell, D. (2008). Modeling sucrose hydrolysis in dilutebsulfuric acid solutions at pretreatment conditions for lignocellulosic biomass. *Bioresource technology, 99*(15), 7354-7362.

Chuck, C., Pérez, E., Heredia, E., & Serna, S. (2011). Sorgo como un cultivo multifacetico para la producción de bioetanol en México: Tecologías, avances y áreas de oportunidad. *Revista mexicana de ingeniería química*, 529-549.

Conesa, C., Seguí, L., & Fito, P. (2013). Sacarificación de residuos industriales de piña con mezclas de enzimas comerciales. 1-19.

Cortés, E., Ciro, H., & Moreno, E. (2012). Biocombustibles: búsqueda de alternativas*. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia, 11*(2), 118-123.

Cuervo, L., Folch, J., & Quiroz, R. (2009). Lignocelulosa Como Fuente de Azúcares Para la Producción de Etanol. *BioTecnología, 13*(3), 11-25.

Danmaliki, G., Muhammad, A., Shamsuddeen, A., & Usman, B. (2016). Bioethanol Production from Banana Peels. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology, 10*(6), 56-62.

Franco, A., Martínez, P., & Valencia, H. (2009). Pretratamientos de la celulosa y biomasa para la sacarificación. *Scientia et Technica*(42), 284-289.

Görgens, J., Bressler, D., & Rensburg, E. (2015). Engineering Saccharomyces cerevisiae for direct conversion of raw, uncooked or granular starch to etanol. *Critical Reviews in Biotechonology, 35*(3), 369-391.

Guidance, D. (2016). Hazard Analysis and Risk-Based Preventive Controls for Human Food: Guidance for Industry. 1-185.

Haq, F., Ali, H., Shuaib, M., Badshah, M., Hassan, S., Munis, M., y otros. (2016). Recent Progress in Bioethanol Production from Lignocellulosic Materials: A Review. *International Journal of Green Energy, 13*, 1413-1441.

Jaramillo, O., Goméz, M., & Fontalvo, J. (2012). Remoción de los Inhibidores de la Fermentación Etanólica Usando Membranas de Polidimetilsiloxano (PDMS) por pervaporación. *ION, 25*(1), 51-59.

Kandasamy, M., Hamawand, I., Bowtell, L., Seneweera, S., Chakrabarty, S., Yusaf, T., y otros. (2017). Investigation of Ethanol Production Potential from Lignocellulosic Material without Enzymatic Hydrolysis Using the Ultrasound Technique. *Energies, 10*(1), 1-12.

Karimi, M., Esfandiar, R., & Biria, D. (2017). Simultaneous delignification and saccharification of rice straw as a lignocellulosic biomass by immobilized Thrichoderma viride sp. to enhance enzymatic sugar production. *Renewable Energy, 104*, 89-95.

Klasson, K. (2017). The Inhibitory Effects of Aconitic Acid on Biothanol Production. *Sugar Tech*, 1-7.

Ko, J., Um, Y., Park, Y., Seo, J., & Kim, K. (2015). Compounds inhibiting the bioconversion of hydrothermally pretreated lignocellulose. *Applied microbiology and biotechnology, 99*(10), 4201-4212.

Kuila, A., Sharma, V., Garlapati, V., Singh, A., Roy, L., & Banerjee, R. (2017). Present Status on Enzymatic Hydrolysis of Lignocellulosic Biomass for Bioethanol Production. *Advances in Biofeedstocks and Biofuels*, 85-95.

Kumar, A., Rath, S., Kumar, Y., Masih, H., Peter, J., Benjamin, J., y otros. (2014). Bio-Ethanol Production from Banana peel by Simultaneous Saccharification and Fermentation Process using cocultures Aspergillus niger and Saccharomyces cerevisiae. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science, 3*(5), 84-96.

Miller, G. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical chemistry, 31*(3), 426-428.

Mohapatra, S., Mishra, C., Behera, S., & Thatoi, H. (2017). Application of pretreatment, fermentation and molecular techniques for enhancing bioethanol production from grass biomass – A review. *Renewable and Sustainable energy reviews, 78*, 1007-1032.

Molsalve, J., Medina, V., & Ruiz, A. (2006). Producción de etanol a partir de la cáscara de banano y almidón de yuca. *Dyna, 73*(150), 21-27.

Oberoi, H., Vadlani, P., Saida, L., Bansal, S., & Hughes, J. (2011). Ethanol production from banana peels using statiscally optimized simultaneous saccharification and fermentation process. *Waste Management, 31*(7), 1576-1584.

Ortiz, P., & Oliveira, S. (2014). Exergy analysis of pretreatment processes of bioethanol production based on sugarcane bagasse. *Energy, 76*(1), 130-138.

Petrova, P., & Viara, I. (2010). Perspectives for the Production of Bioethanol from Lignocellulosic Materials. *Biotechnology & Biotechnological Equipment, 24*(sup(1)), 525-546.

Riaño, M., Gutiérrez, A., Muñoz, J., & Rivera, C. (2010). Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos. *TUMBAGA, 1*(5), 61-91.

Romero, H., Ayala, H., & Lapo, B. (2015). Efecto de tres pre-tratamientos de cáscara de banano para la obtención de jarabe glucosado mediante hidrólisis enzimática. *Avances en Química, 10*(1), 79-82.

Saval, S. (2012). Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales:Pasado, presente y futuro. *BioTecnología, 16*(2), 14-46.

Sharma, P., & Mishra, A. (2015). Biofuel production from banana peel by using micro wave. *International Journal of Science, Engineering and Technology, 4*, 1015-1018.

Singh, D., & Trivedi, R. (2013). Acid And Alkaline Pretreatment Of Lignocellulosic Biomass To Produce Ethanol As Biofuel. *International Journal of ChemTech Research, 5*(2), 727-734.

Tejada, L., Tejada, C., Villabona, A., Alvear, M., Castillo, C., Henao, D., y otros. (2010). Producción de bioetanol a partir de la fermentación alcohólica de jarabes glucosados derivados de cáscara de naranja y piña. *Educación en ingeniería*, 120-125.

Valdés, A., Fernandes, B., Mota, A., Aguilar, C., Ilina, A., Teixeira, J., y otros. (2015). Cinética para la producción de bioetanol usando una levadura saccharomyces cerevisiae PE-2 para su calentamiento en reacotres en columna y gas -lift. *Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería. Guadalajara. México*.

Zhang, H., Wu, S., & Xie, J. (2017). Evaluation of the effects the isolate lignin on enzymatic hydrolysis of cellulose. *Enzyme and Microbial Technology*, 44-50.