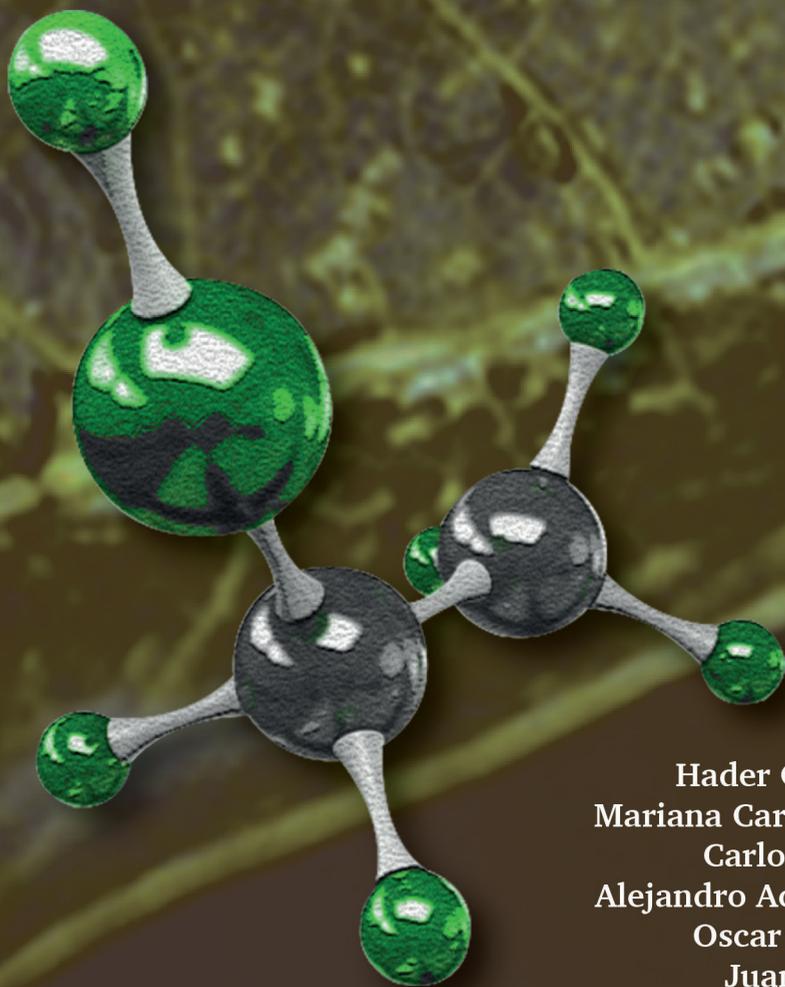


PRODUCCIÓN BIOTECNOLÓGICA DE ETANOL A PARTIR DEL CULTIVO DE LA YUCA



Hader Castaño Peláez
Mariana Cardona Betancur
Carlos Mejía Gómez
Alejandro Acosta Cárdenas
Oscar Ríos Márquez
Juan Reales Alfaro
José Zapata Montoya

**PRODUCCIÓN BIOTECNOLÓGICA DE ETANOL A
PARTIR DEL CULTIVO DE LA YUCA**

PRODUCCIÓN BIOTECNOLÓGICA DE ETANOL A PARTIR DEL CULTIVO DE LA YUCA

AUTORES

Hader Castaño Pelález
Mariana Cardona Betancur
Carlos Mejía Gómez
Alejandro Acosta Cárdenas
Oscar Ríos Márquez
Juan Reales Alfaro
José Zapata Montoya

**GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN PRODUCTIVIDAD Y
CALIDAD -COINDE-**



Institución Universitaria



POLITÉCNICO COLOMBIANO
JAIME ISAZA CADAVID

.....
Producción biotecnológica de etanol a partir del cultivo de la yuca

Peláez... [et al.]. -- 1a ed. -- Medellín: Fondo Editorial ITM; Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, 2015.
93 p. -- (Investigación científica)

Incluye Bibliografía
ISBN 978-958-8743-83-7

1. Etanol - Producción 2. Bioetanol 3. Harina de yuca 5. Biocombustibles I. Castaño Peláez, Hader, II. Cardona Betancur, Mariana III. Mejía Gómez, Carlos IV. Acosta Cárdenas, Alejandro V. Ríos Márquez, Óscar VI. Reales Alfaro, Juan VII. Zapata Montoya, José VIII. Serie

662.6692 SCDD Ed.21

Catalogación en la publicación - Biblioteca ITM
.....

Producción biotecnológica de etanol a partir del cultivo de la yuca

© Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid

© Instituto Tecnológico Metropolitano -ITM-

Edición: diciembre 2015

Hechos todos los depósitos legales

Autor

Hader Castaño Peláez

Mariana Cardona Betancur

Carlos Mejía Gómez

Alejandro Acosta Cárdenas

Oscar Ríos Márquez

Juan Reales Alfaro

José Zapata Montoya

Rectores

John Fernando Escobar Martínez

María Victoria Mejía Orozco

Comité editorial

Eduard Emiro Rodríguez Ramírez, MSc.

Jaime Andrés Cano Salazar, PhD.

Silvia Inés Jiménez Gómez, MSc.

Yolanda Álvarez Ríos, MSc.

Viviana Díaz, Esp.

Directora Editorial

Silvia Inés Jiménez Gómez

Correctora de Estilo

Lila María Cortés Fonnegra

Secretaría Técnica

Viviana Díaz

Diseño y Diagramación

Editorial L. Vieco S.A.S.

Las opiniones, originales y citas del texto son de la responsabilidad de los autores. El ITM salva cualquier obligación derivada del libro que se publica. Por lo tanto, ella recaerá única y exclusivamente sobre los autores.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos los más sinceros agradecimientos a los funcionarios de la Dirección de Investigación y Posgrados del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, por el apoyo administrativo en el desarrollo de los proyectos de investigación y financiero para la divulgación de los resultados de investigación; asimismo, agradecemos la gestión de los funcionarios del Fondo Editorial del Instituto Tecnológico Metropolitano por sus gestiones en la edición de este libro.

Nuestro agradecimiento a las directivas de la Universidad de Antioquia y el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, por su apoyo en recursos financieros y logísticos en la ejecución de los tres proyectos de investigación.

CONTENIDO

ABREVIATURAS	13
PRESENTACIÓN.....	15
I. PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE HARINA DE YUCA EN UN SISTEMA DE HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA Y FERMENTACIÓN SIMULTÁNEA.....	16
1. INTRODUCCIÓN	18
2. MATERIALES Y MÉTODOS	20
2.1 Harina de yuca	20
2.2 Enzima	20
2.3 Proceso de Hidrólisis Enzimática y Fermentación Simultánea (HEFS)...	21
2.4 Diseño experimental	21
2.5 Técnicas analíticas	22
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
3.1 Análisis bromatológico de la harina de yuca variedad Copiblanca	22
3.2 Etapa de prelicuado	23
3.3 Licuefacción, sacarificación y fermentación simultáneas del prelicuado de harina de yuca.....	24
3.4 Efecto de las variables evaluadas	25
3.5 Rendimientos y productividades alcanzadas.....	27
4. CONCLUSIONES	28
5. AGRADECIMIENTOS	29
6. REFERENCIAS	29
II. PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE HARINA DE YUCA UTILIZANDO DIFERENTES ESTRATEGIAS EN MODO CONTINUO ...	32
1. INTRODUCCIÓN	34
2. MATERIALES Y MÉTODOS	36

2.1	Materiales	36
2.2	Evaluación de los procesos de licuefacción, sacarificación y fermentación en modo continuo independiente	36
2.3	Proceso de licuefacción en continuo	36
2.4	Proceso de sacarificación en continuo	37
2.5	Proceso de fermentación en continuo	37
2.6	Licuefacción, sacarificación y fermentación en serie en modo continuo.	38
2.7	Sacarificación-fermentación simultánea en continuo	38
2.8	Métodos analíticos	39
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
3.1	Análisis bromatológico de la harina de yuca variedad Copiblanca	39
3.2	Proceso de licuefacción en continuo.	40
3.3	Proceso de sacarificación en continuo	41
3.4	Proceso de fermentación en continuo	41
3.5	Acoplamiento en serie de las etapas de licuefacción, sacarificación y fermentación en Modo Continuo (LSFC)	42
3.6	Sacarificación-Fermentación simultánea en continuo.	44
3.7	Comparación de los procesos FC, LSFC, SFSC.	45
4.	CONCLUSIONES	47
5.	AGRADECIMIENTOS	47
6.	REFERENCIAS	47
III.	EVALUACIÓN DE TRES MÉTODOS DE PRETRATAMIENTO QUÍMICO SOBRE LA DESLIGNIFICACIÓN DE TALLOS DE YUCA	49
1.	INTRODUCCIÓN	51
2.	MATERIALES Y MÉTODOS	52
2.1	Material lignocelulósico	52
2.2	Pretratamiento químico de los materiales.	52
2.3	Análisis del material lignocelulósico	53
2.4	Microscopía electrónica de barrido (SEM).	54
2.5	Análisis y modelamiento de los datos.	54
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
3.1	Caracterización del material	54
3.2	Pretratamiento Ácido	55

3.3	Pretratamiento alcalino	56
3.4	Pretratamiento organosolv	59
3.5	Observaciones SEM	61
4.	CONCLUSIONES	62
5.	AGRADECIMIENTOS	63
6.	REFERENCIAS	63
IV.	HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DE TALLOS DE YUCA PRETRATADOS POR MÉTODO ALCALINO	65
1.	INTRODUCCIÓN	67
2.	MATERIALES Y MÉTODOS	68
2.1	Tallos de yuca	68
2.2	Enzima	68
2.3	Pretratamiento de tallos de yuca por el método alcalino	69
2.4	Hidrólisis enzimática	69
2.5	Métodos analíticos	69
2.6	Diseño Central Compuesto (DCC)	70
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	70
3.1	Pretratamiento por método alcalino	70
3.2	Sacarificación	71
3.3	Respuesta del modelo de regresión	72
4.	CONCLUSIONES	77
5.	AGRADECIMIENTOS	77
6.	REFERENCIAS	77
V.	SACARIFICACIÓN Y FERMENTACIÓN SIMULTÁNEAS DE TALLOS DE YUCA	80
1.	INTRODUCCIÓN	82
2.	MATERIALES Y MÉTODOS	83
2.1	Material lignocelulósico	83
2.2	Enzimas	84
2.3	Sacarificación y Fermentación Simultaneas (SSF)	84
2.4	Sacarificación y Fermentación Independientes (SHF)	85
2.5	Sacarificación y Fermentación Simultánea en biorreactor de 5-litros	86
2.6	Métodos analíticos	86

3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	86
3.1	Sacarificación y Fermentación Simultáneas - SSF	86
3.3	Optimización del proceso SSF	88
3.4	Sacarificación y Fermentación independiente.	89
3.5	SSF en biorreactor de 5-litros	90
4.	CONCLUSIONES	91
5.	AGRADECIMIENTOS	91
6.	REFERENCIAS	91

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Diseño experimental para evaluar la producción de etanol en sistema HEFS.	22
Tabla 2.	Análisis bromatológico de la harina de yuca variedad Copiblanca . . .	23
Tabla 3.	Obtención de azúcares reductores y glucosa durante la fase de prelicuado (el medio se sostuvo por 10 min a la temperatura del tratamiento experimental)	24
Tabla 4.	Concentración de etanol (% v/v y g/L) a las 72 horas de proceso según el diseño de experimentos	25
Tabla 5.	ANOVA del diseño experimental.	26
Tabla 6.	Estadísticos del análisis de varianza del modelo de superficie de respuesta	26
Tabla 7.	Análisis bromatológico de la harina de yuca variedad Copiblanca. . .	39
Tabla 8.	Licuefacción en continuo a una tasa de dilución de 0.1 h ⁻¹	40
Tabla 9.	Sacarificación en continuo (concentración de A.R. y conversión a los 4 TR) TR Tiempos de Retención = 1/D= V/F (V= volumen reactor, F Flujo volumétrico)	41
Tabla 10.	Fermentaciones en continuo (concentraciones de etanol y glucosa y valores de productividad evaluadas a 4 TR).	42
Tabla 11.	Sistema licuefacción, sacarificación y fermentación acoplados en Continuo (concentración de A.R. de los procesos acoplados en serie en Modo continuo) a D 0.1 h ⁻¹	42
Tabla 12.	Sistema licuefacción, sacarificación y fermentación acoplados en continuo (valores de productividad, rendimiento y concentraciones de etanol y glucosa en el biorreactor de fermentación)	43
Tabla 13.	Seguimiento a las concentraciones de sustrato y producto en el sistema SFSC	45
Tabla 14.	Condiciones de los pretratamientos	53
Tabla 15.	Principales componentes de la biomasa de tallos de yuca.	54
Tabla 16.	Análisis de las muestras provenientes del pretratamiento ácido (porcentajes en base seca)	55

Tabla 17.	Análisis de regresión para el modelo pretratamiento ácido	56
Tabla 18.	Análisis de las muestras provenientes del pretratamiento alcalino	57
Tabla 19.	Análisis de Varianza para el modelo pretratamiento alcalino	58
Tabla 20.	Análisis de las muestras provenientes del pretratamiento organosolv.	60
Tabla 21.	Análisis de Varianza para el modelo pretratamiento organosolv.	61
Tabla 22.	Composiciones en peso seco de material antes y después del pretratamiento	71
Tabla 23.	Concentración de azúcares reductores después de 60 horas de proceso a las condiciones de la matriz de Diseño Central Compuesto	72
Tabla 24.	ANOVA para azúcares reductores	73
Tabla 25.	Diseño Experimental de SSF	85
Tabla 26.	Concentración de etanol obtenido en el diseño experimental del proceso SSF	87
Tabla 27.	Significancia de los coeficientes de regresión para los factores	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Superficie de respuesta diseño	27
Figura 2.	Rendimientos y productividades de etanol evaluadas a las 48 h . . .	28
Figura 3.	Gelatinización del medio	40
Figura 4.	Análisis comparativo de los resultados de las estrategias de proceso SFSC, LSFC y FC	46
Figura 5.	Comparación de estrategias de proceso de producción de etanol a partir de harina de yuca.	46
Figura 6.	Superficie de respuesta del modelo de regresión para el proceso de remoción de lignina con el pretratamiento alcalino	59
Figura 7.	Imágenes SEM de la biomasa de tallos de yuca a) sin pretratar, b) pretratada organosolv, c) pretratado ácido, d) pretratado alcalino.	62
Figura 8.	Ajuste de los valores experimentales y predichos por el modelo de regresión lineal obtenido azúcares	73
Figura 9.	Superficie de respuesta de A.R. como respuesta de los efectos combinados de pH y carga enzima a una temperatura de 37,5 °C . . .	74
Figura 10.	Producción de A.R. por hidrólisis de tallo de yuca pretratado en función del pH y temperatura a una carga de enzima de 8,7 FPU/g de yuca pretratada.	75
Figura 11.	Producción de A.R. por hidrólisis de tallo de yuca pretratado en función de la carga de enzima y temperatura a un pH 4,5.	75
Figura 12.	Superficie de respuesta del modelo de regresión para el proceso de SSF	88
Figura 13.	Perfiles de concentración de glucosa y etanol SSF en biorreactor de 5 litros (media y desviación de 2 réplicas)	90

ABREVIATURAS

A.R.	Azúcares reductores
BIS	Sigla en inglés de Instituto de Estandarización Británico
CCD	Sigla en inglés de Diseño Central Compuesto (diseño de experimentos)
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical
CLAYUCA	Consorcio Latinoamericano y del Caribe para Promoción del Cultivo de la Yuca
D	Tasa de dilución. En procesos continuos, es la velocidad específica de crecimiento
F	Fermentación
FC	Fermentación en modo continuo
FDA	Fibra Detergente Ácida
FDN	Fibra Detergente Neutra
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GWP	Sigla en inglés de Potencial de Calentamiento Global
HEFS	Hidrolisis Enzimática y Fermentación Simultánea
HTYSP	Harina de Tallo de Yuca Sin Pretratar
IPCC	Sigla en inglés para el Panel Intergubernamental de Cambio Climático
L	Licuefacción
LSF	Licuefacción, Sacarificación y Fermentación independientes en modo discontinuo
LSFS	Licuefacción, Sacarificación y Fermentación Simultáneas en modo discontinuo
LSFC	Licuefacción, Sacarificación y Fermentación acopladas en serie en modo Continuo
NER	Sigla en inglés del Índice de Energía Neta

PAS	igla en inglés de Especificación Pública Disponible
RRC	Índice de relación entre la cantidad de residuo y cosecha de un producto agrícola
S	Sacarificación
SEM	Sigla en inglés de Microscopia Electrónica de Barrido
SSF	Sigla en inglés de Sacarificación y Fermentación Simultánea
SHF	Sigla en inglés de Sacarificación y Fermentación Separadas
SSFC	Sacarificación y Fermentación Simultánea en Continuo
TR	Tiempo de Residencia
TY	Tallos de Yuca

PRESENTACIÓN

El Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, como Institución de Educación Superior, coherente con su papel transformador de la sociedad, ha querido apoyar la divulgación de resultados de investigación.

Este libro recoge la producción científica de cinco años de investigación de la Institución en torno a la producción biotecnológica de etanol, a partir del aprovechamiento integral de la yuca. El libro presenta un esquema por capítulos, en los que se describen los resultados de áreas específicas de la producción de etanol a partir de la yuca, utilizando la estrategia del proceso Hidrólisis Enzimática y Fermentación Simultáneas (HEFS). Como resultados del proyecto se tiene: producción de etanol a partir de harina de yuca utilizando diferentes estrategias en modo continuo; proyectos realizados en asocio con investigadores del grupo de Biotransformación de la Universidad de Antioquia; resultados del proyecto de investigación, *Producción de etanol carburante a partir de los tallos de yuca*, del que se derivaron tres capítulos: «Evaluación de tres métodos de pretratamiento químico sobre la deslignificación de tallos de yuca», «Hidrólisis enzimática a partir de tallos de yuca pretratados por método alcalino» y «Sacarificación y fermentación simultánea de tallos de yuca»; proyecto realizado con investigadores del Grupo de Ofidismo de la Universidad de Antioquia.

Con la publicación de los resultados de los proyectos de investigación en torno a la producción de bioetanol a partir de un sustrato como la yuca, tenemos como objetivo llamar la atención de la comunidad científica nacional sobre las altas potencialidades de la yuca para ser materia prima alternativa en la producción de biocombustibles en Colombia, bajo el esquema del aprovechamiento integral de toda la biomasa de la planta, tanto en la parte aérea (tallos) como en la no aérea (tubérculos), y ser responsables con el desarrollo del país frente a las necesidades en investigación de un cultivo huérfano, bajo las perspectiva de uso como sustrato de la agroindustria del bioetanol, poniéndonos en la misma sintonía de países como Tailandia, China y Corea del Sur, en lo que al aprovechamiento industrial de la yuca se refiere.

Esperamos que este libro pueda servir de base científica para el desarrollo de la agroindustria del bioetanol de yuca en Colombia, permitiendo diversificar la oferta de sustratos como materia prima para la cadena y distribuir la riqueza que pueda generar esta agroindustria.



I. Producción de etanol a partir de harina de yuca en un sistema de hidrólisis enzimática y fermentación simultánea

ETHANOL PRODUCTION FROM CASSAVA FLOUR IN SIMULTANEOUS
ENZYMATIC HYDROLYSIS AND FERMENTATION SYSTEM

HADER CASTAÑO PELÁEZ
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid

MARIANA CARDONA BETANCUR
CARLOS MEJÍA GÓMEZ
ALEJANDRO ACOSTA CÁRDENAS
Universidad de Antioquia

Resumen: la necesidad mundial en la producción de biocombustibles ha llevado a explorar nuevas estrategias de procesos y a usar materias primas alternativas con el objetivo de optimizar la producción; por tal razón, se desarrolla en esta investigación el estudio del proceso de producción de etanol a partir de harina de yuca, integrando las etapas de hidrólisis enzimática (licuefacción y sacarificación) y fermentación simultáneamente (HEFS) mediante el uso del complejo enzimático STARGEN™ 001. El diseño experimental fue una Superficie de Respuesta de un diseño Central Compuesto de dos factores a dos niveles (48° - 80°C y 400 - 600 rpm) en las etapas de prelicuado, y luego la temperatura se ajustó a 37°C manteniendo las otras condiciones de proceso en la integración de las etapas. La experimentación se desarrolló con una concentración de sólidos de la harina de yuca de 28% p/v, pH de 5, 3, inóculo de 0, 75 g/L de la levadura Ethanol Red® y una carga enzimática de 4 m L/L. La temperatura es la variable de mayor efecto sobre la producción de etanol si se compara con la agitación, aunque ambos factores presentan significancia estadística sobre la variable de respuesta. A 64°C y 500 rpm se alcanza una concentración de etanol de 14,6% v/v y una productividad de 2,5 g/L h (48 horas de proceso).

Palabras Clave: harina de yuca, producción de etanol, HEFS, STARGEN™ 001.

Abstract: The global need for the production of biofuels, has led to explore new strategies process and use alternative raw materials in order to optimize production, for this reason this research is developed in the study of the ethanol production process from flour cassava integrating the stages of enzyme hydrolysis (liquefaction and saccharification) and fermentation simultaneously (HEFS), using the enzyme complex STARGEN™ 001. The experimental design was a response surface central composite design with two factors and two levels (temperature: 48 - 80 ° C and agitation: 400 - 600 rpm) in liquefaction stages previous, and then the temperature was adjusted to 37 ° C keeping the other conditions in the integration process of the stages. The experimentation was developed with a solids concentration of cassava flour of 28% w/v, pH 5, 3, inoculums of 0, 75 g/L of yeast Ethanol Red®, and an enzyme concentration of 4 ml/L. The temperature is variable with greatest effect on the production of ethanol when compared to the agitation, though; both factors have statistic significance on the response variable. A 64 ° C and 500 rpm is reached an ethanol concentration of 14, 6% v/v and a productivity of 2, 5 g/Lh (at 48 hours of processing).

Keywords: SEHF, Cassava flour, ethanol production, STARGEN™ 001.

medio de dispersión, gas: evolución de dióxido de carbono), aspecto que complica el análisis fenomenológico, ya que a la carga de sólidos evaluada, se observan problemas de homogeneidad y dispersión.

4. CONCLUSIONES

La estrategia de proceso SSF demostró sus bondades al obtener una mayor concentración de etanol (1,88% v/v para SSF vs 0,52% v/v de SHF). El pretratamiento de la biomasa permite alcanzar una mayor concentración de etanol a través del uso de la estrategia SSF (1,87% v / v vs pretratamiento 0,51% v/v sin pretratamiento).

A las condiciones evaluadas, la actividad enzimática y la interacción actividad enzimática*Inóculo presentaron efectos positivos sobre la producción de etanol, mientras que el inóculo y el termino cuadrático de la actividad enzimática presentaron efecto negativo.

La determinación y validación de las condiciones óptimas de inóculo y actividad enzimática permitieron alcanzar una concentración de etanol de 1.88%v/v (14,7 g/L) de etanol.

En la evaluación del cambio de escala a biorreactor de 5L agitado mecánicamente, se observa una reducción del 20% en la concentración final de etanol al cabo de las 72 horas de proceso (11.5 vs. 14.7 g/L). Debido a la coexistencia de tres fases involucradas en los procesos SSF para obtener etanol de segunda generación, el análisis del escalamiento requiere una evaluación diferente frente al escalado tradicional utilizado en los procesos de producción de etanol de primera generación.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid por financiar el proyecto 2061100144

6. REFERENCIAS

- Alfaro, J. (2012). *Obtención de etanol a partir de residuos agrícolas de la yuca*. Tesis magíster Ciencias Farmacéuticas, Facultad de Química Farmacéutica, Universidad de Antioquia, Colombia.
- Alvira, P., Tomás-Pejó, E., Ballesteros, M. and Negro, M.J. (2010). Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis. *Bioresource Technology*, 101(13), 4851–4861.

- Balat, M. (2011). Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway. *Energy Conversion and Management*, 52(2), 858–875.
- Carvalho, F., Duarte, L.C. and Gírio, F.M. (2008). Hemicellulose biorefineries. *J. Sci. Ind. Res.*, 6(11), 849–864.
- Castaño, H. (2008). La yuca como alternativa para la producción e alcohol carburante. *Politécnica*, 4(1), 27-37.
- Castaño, H., Naranjo, C. and Botero, J. (2011). *Life Cycle Assessment for Bioethanol production from Cassava in Colombia*. Memorias de la IV Conferencia Internacional de Análisis de Ciclo de Vida, Coatzacoalcos, México, 35-39.
- Fernández, T., Martín, C., Marcet, M. and Thomsen, A.B. (2008). Fermentabilidad de prehidrolizados de residuos lignocelulósicos para la producción de etanol. *Ingeniería Química*, 40 (455), 196-197.
- Ghose, T. K. (1987). Measurement of cellulase activities. *Pure Appl. Chem.*, 59, 257-263.
- Han, M., Kim, Y. Kim, Y., Chung, B., and Choi, G. (2011). Bioethanol production from optimized pretreatment of cassava stem. *Korean J. Chem, Eng.*, 28(1), 119-125.
- Howard, R.L., Abotsi, E., Jansen, E.L. and Howard, S. (2003). Lignocellulose biotechnology: issues of bioconversion and enzyme production. *African Journal of Biotechnology*, 2 (12), 602-619.
- Krishna, S. and Chowdary, G. (2000). Optimization of simultaneous saccharification and fermentation for the production of ethanol lignocellulosic biomass. *J. Agric. Food Chem.*, 48, 1971-1976.
- Li, H., Kim, N., Jiang, M., Kang, J. and Chang, H. (2009). Simultaneous saccharification and fermentation of lignocellulosic residues pretreated with phosphoric acid-acetone for bioethanol production. *Bioresource Technology*, 100, 3245-3251.
- Mabee, W. and Saddler, J. (2010). Bioethanol from lignocellulosics: Status and Perspectives in Canada. *Bioresource Technology*, 101, 4806-4813.
- Martín, C., Alriksson, B., Sjöde, A., Nilvebrant, N. and Jönsson, L., (2007). Dilute Sulfuric Acid Pretreatment of Agricultural and Agro-Industrial Residues for Ethanol Production. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 137-140(1-12), 339-352.

- Martín, C., López, Y., Plasencia, Y. and Hernández, E. (2006). Characterization of agricultural and agro-industrial residues as raw materials for ethanol production, *Chem. Biochem. Eng. Q.*, 20(4), 443-447.
- Nuwamanya, E., Chiwona, L., Kawuki, R., Baguma, Y. (2011). *Bio-Ethanol Production from Non-Food Parts of Cassava (Manihot esculenta Crantz)*. Royal Swedish Academy of Science.
- Pandey, A., Soccol, C., Nigam, P., Soccol, V., Vandenberghe, L. and Mohan, R. (2000). Biotechnological potential of agro industrial residues. II: cassava bagasse. *Bioresource Technology*, 74, 81-87.
- Rodríguez, R., Gernaev, K., Meyer, A. and Sin, G. (2011). A mathematical model for simultaneous saccharification and co-fermentation of C6 and C5 sugars. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 19(2), 185-191.
- Sánchez, O. and Cardona, C. (2008). Trend in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstock. *Bioresource Technology.*, 99, pp, 5270-5295,
- Silverstein, R., Chen, Y., Sharma-Shivappa, R., Boyette, M. and Osborne, J. (2007). A comparison of chemical pretreatment methods for improving saccharification of cotton stalks. *Bioresource Technology*, 98(16), 3000-3011.
- Sovorawet, B. and Kongkiattikajorn, J. (2011). *Bioproduction of ethanol in SHF and SSF from cassava stalks, The 4th international Conference on Fermentation Technology for value added Agriculture Products*. Thailand.
- Sun, Y. and Cheng, J. (2002). Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production. *Biosources Technology*, 83(1), 1-11.
- Van Soest, P. (1963). Use of detergent in the analysis of fibrous feeds. II A rapid method for the determination of fiber and lignin. *J Assoc Off Anal Chem.*, 46(1), 829-835.
- Varga, E., ScengyeL, Z. and Recaey, K. (2002). Chemical pretreatments of corn Stover for enhancing enzymatic digestibility. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 98-100(1-9), 73-87.
- Yu, S. and Toa, J. (2009). Energy efficiency assessment by life cycle simulation of cassava-based fuel ethanol for automotive use in Chinese Guangxi context. *Energy*, 34(1), 22–33.
- Zyl, J., Rensburg, E., Zyl, W., Harms, T. and Lynd, L. (2011). A kinetic model for simultaneous saccharification and fermentation of Avicel with *Saccharomyces cerevisiae*. *Biotechnology and Bioengineering*, 108, 924-933.

AUTORES

HADER CASTAÑO PELÁEZ

Ingeniero Químico de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Especialista en Alta Gerencia con énfasis en Calidad de la Universidad de Antioquia, Especialista en Gerencia de Mercadeo de ESUMER y Maestría en Biotecnología de la Universidad de Antioquia. Docente universitario.

MARIANA CARDONA BETANCUR

Ingeniera Química, Magíster en Ingeniería con énfasis en Bioprocesos. Docente en la Escuela de Microbiología de la Universidad de Antioquia. Clases Magistrales de los cursos de Biotecnología Industrial, Microbiología Industrial y Bioprocesos.

CARLOS EDUARDO MEJÍA GÓMEZ

Ingeniero Químico. Bacteriólogo y laboratorista clínico, Magíster en Biotecnología. Experiencia docente en Microbiología industrial, Biotecnología Industrial y en la implementación de procesos metrológicos a variables de interés biotecnológico.

ALEJANDRO ACOSTA CÁRDENAS

Ingeniero Químico y Magíster en Biotecnología de la Universidad de Antioquia. Experiencia docente en los programas de Microbiología Industrial, Bioprocesos, Biotecnología Industrial, Ingeniería Bioquímica, Balances de Materia, en la Universidad de Antioquia. Docente de la Escuela de Microbiología de la Universidad de Antioquia y Coordinador del Grupo de Biotransformación.

ÓSCAR FABIÁN RÍOS MÁRQUEZ

Ingeniero Químico de la Universidad de Antioquia y docente universitario.

JUAN GUILLERMO REALES ALFARO

Ingeniero Agroindustrial, Magíster en Ciencias Farmacéuticas con énfasis en Alimentos. Docencia Universitaria en la Universidad Popular del Cesar. Mejor ECAES 2005, Joven investigador del Colciencias 2008 y 2010.

JOSÉ EDGAR ZAPATA MONTOYA

Ingeniero Químico, Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Magíster en Biotecnología, Doctor en Biotecnología. Profesor Asociado del Departamento de Alimentos de la Universidad de Antioquia.



Producción biotecnológica de etanol a partir del cultivo de la yuca
Se terminó de diseñar en Editorial L. Vieco S.A.S, en diciembre de 2015.
Fuentes tipográficas: Times New Roman texto corrido, en 10 puntos.
Para títulos de capítulos Charter BD BT, en 14 puntos.

Este libro recoge la producción científica de cinco años de investigación de la Institución en torno a la producción biotecnológica de etanol, a partir del aprovechamiento integral de la yuca. En el libro se describen los resultados de áreas específicas de la producción de etanol y se describen y analizan los resultados de las investigaciones de esta producción a partir de la harina de yuca, utilizando la estrategia del proceso Hidrólisis Enzimática y Fermentación Simultáneas (HEFS). En este proyecto se trabajó con investigadores del Grupo de Biotransformación y el Grupo de Ofidismo de la Universidad de Antioquia, de la ciudad de Medellín-Colombia.

This book contains the scientific production of five years of research carried out by the Institution focused on the biotechnological production of ethanol from the full use of cassava (yuca). In the book the results of specific areas of ethanol production are discussed, and the results of investigations of this production from cassava flour, using the strategy of Simultaneous enzymatic hydrolysis and fermentation (SEHF) process are described and analyzed. In this project we worked with researchers from the Grupo de Biotransformación and the Grupo de Ofidismo from Universidad de Antioquia, Medellin, Colombia.