

### Bibliografía

Arboleda, Germán. *Proyectos, Formulación, Evaluación y Control*. Cali, AC Editores, 2001.

Bunge, Mario. *Azar, causalidad, caos y accidente*. En: *Dominical, Medellín, El Colombiano*, 25 de Agosto de 1996, p. 11.

Calvo, Félix. *Estadística Aplicada con el planteamiento y solución de 450*

Deusto, 1978. *Problemas*, 2<sup>da</sup> edición, Bilbao.

Cos Bu, Raúl. *Análisis y evaluación de proyectos de inversión*. México, 2<sup>da</sup> edición Limusa, 1986.

García Mendoza, Alberto. *Evaluación de proyectos de inversión*. México, Mc Graw-Hill, 1998.

Kay D., Ronald, Edwards William M., y Duffy Patricia Ann. *Farm Management*. 6<sup>ta</sup> edición. New York, McGraw-Hill, 2007.

Peña, Daniel, Prat, Albert y Romero Rafael. *La enseñanza de la Estadística en las Escuelas Técnicas*. *Estadística Española*, Vol. 32 Núm 123, pp 147-220, 1990.

Savater, Fernando. *El valor de elegir*. Bogota, Ariel, 2003.

Sapag, Nassir y Sapag, Reinaldo. *Preparación y evaluación de proyectos*. 3<sup>ra</sup> edición Bogotá, Mc Graw-Hill, 1997.



# La yuca como alternativa para la producción de alcohol carburante

Hader Iván Castaño Peláez

## Autor

### HÁDER IVÁN CASTAÑO PELÁEZ

Ingeniero Químico Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Especialista en Alta Gerencia con Énfasis en Calidad, Universidad de Antioquia. Especialista en Gerencia de Mercadeo, Institución Universitaria ESU-MER. M.Sc en Biotecnología. Universidad de Antioquia. Docente, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Facultad de Administración. hicastano@elpoli.edu.co

**Recibido:** 24 de septiembre de 2007  
**Aprobado:** 24 de enero de 2008

## Resumen

Colombia presenta un déficit de 10 millones de litros/mes de alcohol carburante para suplir la demanda de la ley 693 de 2001. En la actualidad la oferta de alcohol carburante se soporta únicamente en el cultivo de la caña de azúcar. El cultivo de la yuca es una alternativa para la producción de alcohol en el país, ya que es un cultivo poco exigente en calidad del suelo y con buenas productividades agrícolas. La explotación integral del cultivo permite la producción del alcohol a partir del almidón del tubérculo, y del residuo del cultivo (tallos y hojas). Teniendo como referente un cultivo de yuca con una productividad de 30 ton/ha año y con un índice de cosecha/residuo de 0.162 se pueden obtener 6500 litros de etanol del tubérculo y 500 litros a partir del residuo aéreo, incrementando la productividad en un 7,6% en el modelo de aprovechamiento del residuo.

## Palabras clave

Alcohol carburante, almidón, colombia, residuo lignocelulósico, yuca.

## Abstract

Colombia has an alcohol carburant production deficit of 10 million of liters per month to supply the demands of law 693 of 2001. Nowadays the offer is concentrated in the sugar cane crop. Cassava crop is an alternative for the alcohol production in the country, due to the little requirements of soil quality and good agricultural productivities. The integral crop allows the production of the alcohol from the tuber starch, and the crop residue (stalk and leaves). If we take a 30 ton/ha year productivity and an ratio of crops to residue of 0.163 as a reference, 6500 liters of ethanol can be obtained from tuber and 500 liters from aerial residue, increasing the productivity in 7,6%.

## Key Words

Biofuel, Starch, Colombia, Lignocellulosic Residue, Cassava.

# La yuca como alternativa para la producción de alcohol carburante

Hader Iván Castaño Peláez

POLITÉCNICA No. 6 | enero - junio de 2008, pp. 25 - 38

## Introducción

Con el objetivo de prevenir cambios irreversibles y reducir el impacto de los gases invernadero sobre el clima del planeta, muchos países han decidido definir estrategias de producción de energía utilizando fuentes renovables. La primera estrategia ha sido la sustitución de combustibles derivados del petróleo por biocombustibles, que producen una reducción en las emisiones de CO por emisiones de fuentes móviles (Ljunggren, 2004). Uno de los candidatos que puede ser sustituto de los combustibles fósiles es el alcohol etílico. En la actualidad el etanol es producido a gran escala a partir del maíz (Estados Unidos) y de la caña de azúcar (Brasil, India y Colombia); nuestro país tiene alta potencialidad en la producción de azúcar a partir de caña, pero su producción se ha concentrado en modelos agroindustriales y está concentrada en manos de pocas empresas pertenecientes a grupos económicos de reconocida trayectoria. Con la puesta en vigencia de la ley 693 de 2001, por la que se debe comercializar la gasolina con un 10 % de alcohol carburante, se crea una demanda representativa



nacional en la producción de etanol. La producción nacional diaria es de un millón de litros de etanol carburante, que satisface los mercados del Valle del Cauca, eje Cafetero y altiplano cundiboyacense, lo que arroja un déficit mensual de 10 millones de litros para abastecer el mercado de Antioquia, los Santanderes y la Costa Atlántica (Corpodib, 2006).

En la actualidad, la crisis geopolítica de Estados Unidos con países petroleros, como Irán, Irak y Venezuela, y las noticias de disminución en las reservas mundiales, han influido en los precios del petróleo, que han experimentado valores récord de US\$ 105 por barril, lo que pone en riesgo la estabilidad de muchas economías no autoabastecidas energéticamente (Portafolio, 2007). Además, el consumo de energía se ha ido incrementando gradualmente con el aumento de la población mundial, y las fuentes de energía convencionales no dan respuesta a estas demandas. Una salida tecnológica a dicha problemática es el uso de biocombustibles; sin embargo, la competitividad en materia de precio de éstos frente a la gasolina sigue siendo objeto de discusión. Uno de los principales elementos de restricción de los biocombustibles es el costo de la materia prima y su pretratamiento, por lo que se requieren sustratos de bajo precio para alcanzar los niveles de precio competitivos (Mojovic y otros, 2006). En Colombia, a diferencia de la caña de azúcar, la yuca tiene alta potencialidad como materia prima para la producción de etanol. La yuca se caracteriza por ser un tubérculo

■ La yuca (*Manihot esculenta crantz*), junto con el maíz, la caña de azúcar y el arroz, constituye una de las fuentes de energía más importantes en las regiones tropicales del mundo.

con alto contenido de almidón en base seca, que la hacen potencialmente útil como materia prima para la producción de etanol, además de impactar positivamente las áreas de influencia donde es cultivada (Consortio latinoamericano y del Caribe de apoyo a la investigación y desarrollo de la yuca, 2006). Existen variedades de yuca con potencialidad de producir 25-30 ton/ha año; de cada tonelada de yuca pueden extraerse entre 180 y 200 litros de etanol, una ventaja frente a la caña, de la cual sólo se obtienen de 70 a 80 litros por hectárea en el mundo (Cerat, 2007). Los resultados anteriores se deben contrastar con los altos valores de productividad del cultivo de la caña en Colombia (120 ton/ha año). La yuca constituye una excelente fuente para la producción de alcohol, gracias a su rendimiento, disponibilidad de territorios tropicales y rentabilidad (Consortio Latinoamericano y del Caribe de apoyo a la investigación y desarrollo de la yuca, 2007). A la fecha no existe en Colombia antecedentes del uso de los residuos del cultivo de la yuca, como materia prima para la producción de etanol, hecho, que de materializarse técnica y económicamente, permitirá incrementar la productividad de la agroindustria de producción de etanol a partir del cultivo de la yuca. Es necesario realizar un acercamiento teórico de la producción de alcohol a partir de los residuos del cultivo, que permita evaluar el incremento en los rendimientos y productividades del proceso, que den soporte al desarrollo de proyectos de investigación que validen los hallazgos teóricos y que hacia el futuro permitan el desarrollo de un paquete tecnológico de producción de alcohol a partir del aprovechamiento integral del cultivo de la yuca (tubérculo y residuos del cultivo).

## El cultivo de la yuca

La yuca (*Manihot esculenta Crantz*), junto con el maíz, la caña de azúcar y el arroz, consti-

tuye una de las fuentes de energía más importantes en las regiones tropicales del mundo. Es el cuarto producto básico más importante después de arroz, trigo y maíz, y es el componente principal de la dieta de más de 1000 millones de personas, principalmente en Asia, en países como Tailandia, Malasia y Vietnam, y en África en países como Nigeria, Camerún, y el Congo, entre otros (Zhu *et al.*, 2005). La yuca es originaria de América del Sur y fue domesticada hace unos 5000 años; desde entonces ha sido cultivada en forma extensiva en las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Arias *et al.*, 1997). Como cultivo, la producción de yuca

tiene ventajas, como su gran rendimiento por hectárea, su tolerancia a la sequía y a los suelos degradados, y una gran flexibilidad para la siembra y la cosecha. Como fuente de almidón, la yuca es muy competitiva; la raíz contiene más almidón por peso seco que casi cualquier otro cultivo alimentario, y su almidón es fácil de obtener con tecnologías sencillas (Wagner *et al.*, 1993). La yuca presenta en su composición una variada distribución de estos compuestos. (Véase tabla 1). En la producción de alcohol carburante son importantes los contenidos de minerales y vitaminas, así como los contenidos de proteínas.

Tabla 1. Composición química de la raíz y el follaje de la yuca (Porcentaje en peso) (Arias y otros, 1997)

Componente mayores	Raíz (%)	Follaje (%)
Materia seca	35,00	28,00
Proteína cruda	1,10	6,80
Lípidos	0,47	1,80
Fibra cruda	1,10	5,80
Ceniza	0,70	1,70
Calcio	0,10	0,43
Fósforo	0,15	0,08
Potasio	0,25	0,35
Magnesio	0,03	0,12
Hierro	0,17	2,46
Cobre	0,02	0,03
Zinc	0,14	0,71
Magnesio	0,03	0,72
Sodio	0,76	0,51
<b>Nutrientos menores</b>		
Vitamina A	0,01950	0,020
Tiamina (B-1)	0,00005	0,00013
Riboflavina (B-2)	0,00003	0,00026
Niacina	0,00006	0,00160
Ácido ascórbico	0,03000	0,290

En el ámbito internacional, el continente africano lidera la producción de yuca, que soporta las necesidades calóricas de la población. Nigeria es el principal productor mundial de yuca, con una producción de 38,1 millones de toneladas; le siguen

en su orden Brasil, Indonesia y Tailandia. En los últimos años China ha venido emergiendo como un gran productor de yuca, fruto de los programas gubernamentales de producción de alcohol carburante a partir de éste insumo. (Véase tabla 2).

Tabla 2. Producción Mundial de yuca. (Balcázar y Mancilla, 2007)

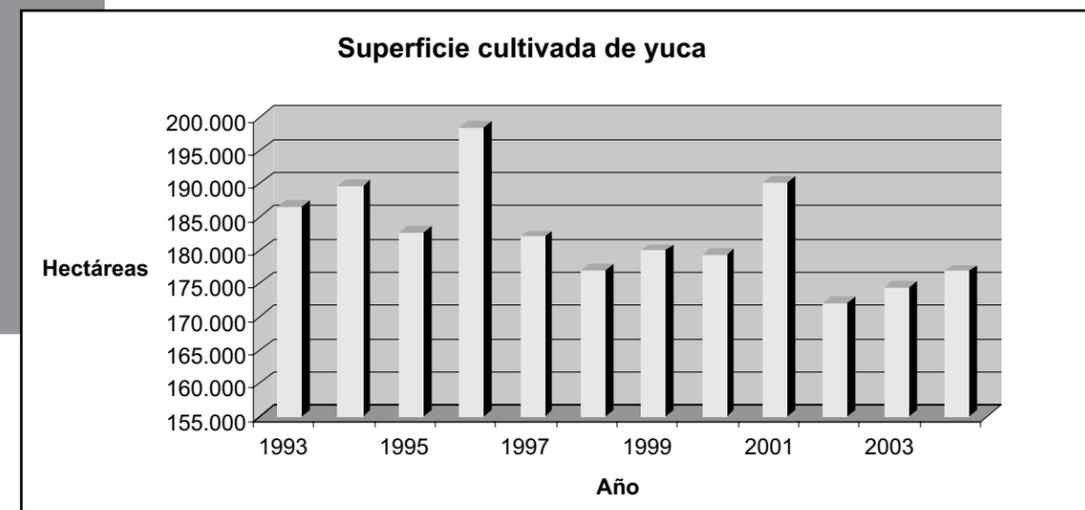
Total mundial	2003	2004	2005
<b>Millones de toneladas</b>			
	<b>192,3</b>	<b>203,1</b>	<b>203,0</b>
Nigeria	32,9	38,1	38,1
Brasil	21,9	23,9	26,6
Indonesia	18,5	19,4	19,4
Tailandia	19,7	21,4	16,9
República Democrática del Congo	14,9	14,9	14,9
Ghana	10,2	9,7	9,7
Angola	6,8	6,6	8,6
Tanzania	6,8	6,8	7,0
India	7,0	6,7	6,7
Mozambique	6,1	6,4	6,1
Vietnam	5,3	5,5	5,7
Uganda	5,2	5,5	5,5
Paraguay	4,6	5,5	4,9
China	4,0	4,2	4,2
Benín	3,0	2,9	3,1
Colombia	1,8	1,9	2,1

## La yuca en Colombia

Colombia es el tercer productor de yuca en América, después de Brasil y Paraguay, y su producción se ha dirigido prácticamente al consumo local. En las últimas dos décadas, el gobierno colombiano, en asocio con organismos internacionales, ha estimulado el mejo-

ramiento de los procesos de transformación de yuca fresca a través de proyectos agroindustriales en diferentes áreas del país, con el objetivo de mejorar los indicadores de calidad de vida de los agricultores (Amutha y Gunarekaran, 2001).

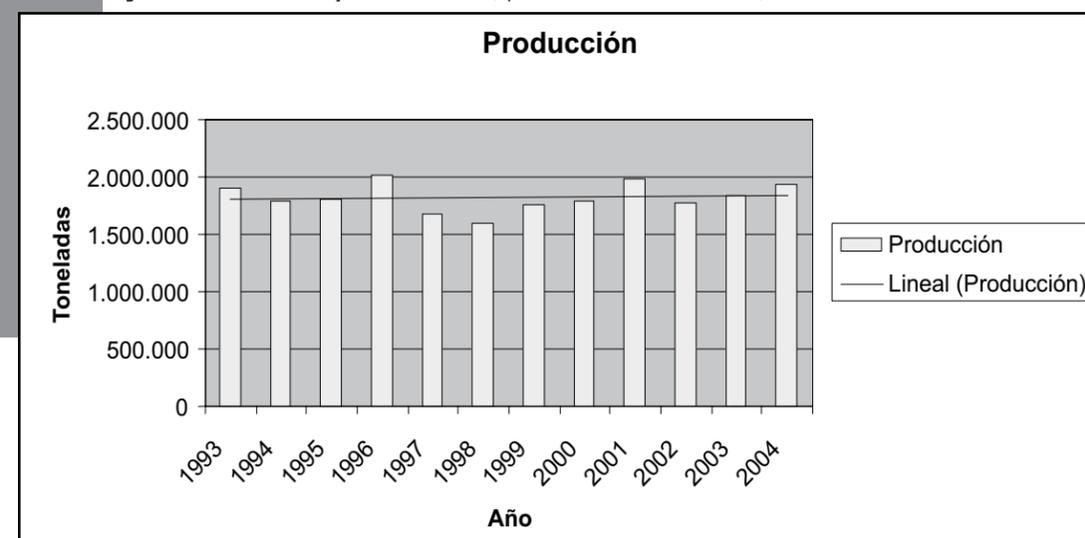
Figura 1. Superficie cultivada de yuca en Colombia, periodo 1993-2004 (Mielenz, 2001)



La superficie cultivada de yuca en Colombia ha presentado fluctuaciones importantes en el periodo de análisis, pasando de un promedio de 195000 ha en el periodo 1993-1996 a 175000 ha

en el periodo 2000-2004, lo que representa una reducción de 20000 ha en el área de siembra. Su efecto en la producción se evalúa analizando los niveles de productividad en estos periodos.

Figura 2. Producción de yuca en Colombia, periodo 1993-2004 (Mielenz, 2001)



Se observa, por medio de la línea de tendencia, cómo la producción nacional de yuca se ha mantenido en valores promedio de 1,8 millones de toneladas y presentan disminuciones a tal

comportamiento en los años de 1997 y 1998. La reducción en el área de siembra y el sostenimiento en la producción nacional en los últimos años se explica por el incremento, aunque leve,



Tabla 4. Fracción de almidón, rendimiento de almidón/hectárea y productividad en toneladas/ hectárea año, de fuentes amiláceas (Amaral y Jaigobind, 2007)

Biomasa	Almidón/ materia prima (fracción en peso)	Almidón/Área (ton/ha)	Productividad (ton/ha año)
Arroz	0,77	2,93	3,80
Batata	0,12	2,68	22,30
Yuca	0,35	9,00	30,0
Maíz	0,56	5,00	4,50
Ñame	0,17	6,80	40,0

No obstante no tener la yuca la mayor composición de almidón (35%), presenta el mayor rendimiento de almidón en ton/ha (Arias *et al*, 1997), gracias a su alto valor de productividad agrícola (30 ton/ha); este indicador está superado por el ñame, que presenta una productividad de 40 ton/ha.

## Cálculo de la productividad de etanol en litros/hectárea cultivada en yuca

A manera de ejemplo se presentan los cálculos de productividad de etanol para el cultivo de la yuca; cálculos que se utilizan para las otras biomásas energéticas con el objetivo de adelantar análisis comparativos en su potencialidad de producción de etanol (cálculos no mostrados).

Base de cálculo para la yuca  
 Rendimiento del cultivo (ton/ha año): 30  
 Contenido de almidón (%): 35  
 Conversión en la fermentación alcohólica: 0,511 g etanol/g glucosa  
 Conversión de almidón en glucosa: 1.11 g glucosa/g almidón  
 Densidad del etanol: 0,78 ton/m<sup>3</sup>

(30 ton/ha año).(0,35 ton almidón/ton yuca).(1,11 ton glucosa/ton almidón).(0,511 ton etanol/ton glucosa).(m<sup>3</sup> etanol/0,78 ton etanol).(1000 litros/m<sup>3</sup>) = **7.634 l/ha año**

(0,35 ton almidón/ton yuca).(1,11 ton glucosa/ton almidón).(0,511 ton etanol/ton glucosa).(1000 litros etanol/0,78 ton etanol) = **254 litros etanol/tonelada yuca fresca**

Si se suponen eficiencias del 95% en el proceso enzimático y del 90% en la fermentación alcohólica, los resultados anteriores se transforman en:

6500 litros etanol/hectárea año y 217 litros de etanol/ tonelada de yuca

Los datos que arrojan los cálculos de productividad de etanol en litros/ha año para los cultivos de yuca, caña y maíz se presentan en la tabla 5. La caña de azúcar presenta la mayor productividad en la obtención de etanol, en litros/ha año, gracias a su alto rendimiento agrícola (85 ton/ha), superando a la yuca en 1000 litros/ha año. Como materia prima para la obtención de etanol, los cultivos de yuca y caña tienen bondades evidentes, ya que duplican sus niveles de productividad frente al maíz (6500, 7200 vs. 3000 respectivamente). (Véase tabla 5)

Tabla 5. Análisis comparativo de yuca, maíz y caña en la producción de etanol (Amaral y Jaigobind, 2007).

Cultivo	Yuca	Maíz	Caña
Productividad (ton/ha año)	30,0	8,0	85,0
Azúcares fermentables totales (%)	35,0	62,0	14,5
Productividad en azúcares (ton/ha año)	10,5	5,0	12,3
Productividad de etanol (litros/ha año)	6500	3000	7200

## B. Potencialidad de producción de alcohol carburante a partir de residuos agrícolas de yuca

En Colombia, de la planta de la yuca se utiliza el tubérculo, pero la planta presenta potencialidades en los tallos y follajes para ser utilizados como biomásas energéticas y en la alimentación animal, dadas su composición química y los factores nutricionales que posee. La productividad de la biomasa aérea del cultivo de la yuca presenta un índice CRR (Relación de cosecha a residuo, por sus siglas en inglés) de 0,162 (FAO, 1998), lo

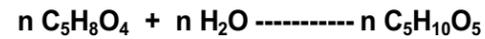
que representa que de un cultivo con un rendimiento de 30 ton/ha año de tubérculo se obtienen 4,8 ton/ha año de biomasa aérea. En Colombia es difícil disponer de información de la composición de la parte aérea de la yuca, como celulosa, hemicelulosa y lignina, carbohidratos susceptibles de biotransformarse en alcohol carburante. Si se supone que su composición es similar a la de los tallos del maíz (Véase tabla 6) se pueden calcular los valores de productividad de etanol a partir de los residuos agrícolas del cultivo.

Tabla 6. Composición de biomásas energéticas (Sun, 2002)

Material	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina	Cenizas	Extractos
Algas verdes	20-40	20-50	-	-	-
Algodón	80-95	5-20	-	-	-
Pastos	25-45	25-50	10-30	-	-
Árboles duros	45+/-2	30+/-5	20+/-4	0.6+/-0.2	5+/-3
Corteza de árboles duros	22-40	20-38	30-55	0.8+/-0.2	6+/-2
Madera blanda	42+/-2	27+/-2	28+/-3	0.5+/-0.1	3+/-2
Corteza de árboles de madera blanda	18-38	15-33	30-60	0.8+/-0.2	4+/-2
Tallos de maíz	39-49	26-31	3-5	12-16	1-3
Paja de trigo	37-41	27-32	13-15	11-14	7+/-2
Papel periódico	40-55	25-40	18-30	-	-
Pulpa química	60-80	20-30	2-10	-	-

Los procesos de hidrólisis de la celulosa y hemicelulosa se desarrollan según las siguientes ecuaciones estequiométricas, que describen el proceso de conversión de los celuloooligosacridos en carbohidratos de cinco y seis carbonos, por medio de procesos hidrolíticos enzimáticos o tratamientos en medio ácidos o alcalinos.

**Hidrólisis de pentosanos a pentosas:**



**Hidrólisis de hexosanos a hexosas:**



Fermentación de hexosas y pentosas a etanol. Base 0,51 g etanol/ g carbohidrato



<b>1 g</b>	<b>0,511 g</b>	<b>0,489 g</b>
------------	----------------	----------------



<b>1g</b>	<b>0,511 g</b>	<b>0,489 g</b>
-----------	----------------	----------------

Por cada 1000 kg (base seca) de biomasa aérea de yuca se obtienen 390 kg de celulosa y 290 kg de hemicelulosa y si se suponen rendimientos de hidrólisis de la celulosa y hemicelulosa a azúcares fermentables del 76 y 90%, respectivamente, y una conversión de glucosa y xilosa a etanol del 75 y 50%, respectivamente, se obtienen 258 litros de etanol, como se presenta en los cálculos siguientes:

**Conversión de celulosa a etanol**

Base de cálculo: 1000 kg de biomasa seca  
 Celulosa 390 kg  
 $390kg \text{celulosa} \times (1.111kg \text{deglucosa}/kg \text{celulosa}) \times 0.76 \times (0,51kg \text{Etanol}/kg \text{glucosa}) \times (0,75) = 126 \text{ kg etanol} = 161 \text{ litros de etanol}$   
 Hemicelulosa 290 Kg  
 $290kg \text{Hemicelulosa} \times (1.136kg \text{xilosa}/kg \text{hemicelulosa}) \times (0.90) \times (0,511kg \text{etanol}/kg \text{xilosa}) \times (0.5) = 75,6 \text{ kg de etanol} = 97 \text{ litros de etanol}$

**Total de litros de etanol / ton biomasa seca = 258 litros**

Realizando la conversión a base húmeda (humedad de la biomasa aérea de yuca: 60%), se obtiene:

258 litros etanol/ton biomasa seca  $\times (0.4 \text{ ton biomasa seca}/\text{ton biomasa húmeda}) = 103,2 \text{ litros de etanol ton biomasa aérea húmeda de yuca.}$

Con esta cifra se puede calcular la cantidad total de etanol a partir de una hectárea de cultivo de yuca como se presenta a continuación:

103,2 litros de etanol /ton biomasa aérea húmeda  $\times (4.8 \text{ ton biomasa aérea húmeda /ha}) = 494 \text{ litros de etanol / ha}$

Cantidad total (toda la planta) de etanol producida por hectárea de yuca (base de cálculo: 30 ton/ha año de tubérculo y 4.8 ton parte aérea /ha año)

Total: 6500 litros etanol/ha año + 494 litros etanol/ha año = 6994 litros /ha año

Se incrementa en 7.6% la cantidad de alcohol que se puede obtener por ha año si se utiliza la biomasa aérea de la planta. Los resultados anteriores son conservadores frente a los rendimientos de los procesos de hidrólisis de la celulosa y hemicelulosa a azúcares reductores y su posterior transformación a etanol. Es importante



**Conclusiones**

El aprovechamiento integral de los residuos agrícolas del cultivo permite obtener 500 litros de etanol por hectárea, partiendo de un productividad media de 30 ton de yuca/ ha; este valor representa un incremento de 7.6% frente a la cantidad de etanol obtenida si solo se utiliza el tubérculo. El uso de la parte aérea de la yuca permitirá mejorar los flujos de caja de los proyectos de producción de alcohol a partir de yuca. El nivel de productividad total según el aprovechamiento integral de toda la planta de yuca alcanza los 7000 litros etanol/ha año, un valor muy similar a los alcanzados en el ámbito internacional de producción de etanol a partir de caña de azúcar (7200 litros/ha año). Es necesario adelantar evaluaciones de tipo experimental que validen los cálculos hallados en lo que respecta con la transformación de los residuos del cultivo en etanol, ya que la transformación del tubérculo en etanol es un proceso ya validado tecnológicamente y económicamente. Con el incremento en la producción de etanol se incrementa el índice energético (energía obtenida del biocombustible/ energía requerida para la producción del biocombustible) de producción de etanol a partir de yuca.

resaltar el hecho de que la parte del tallo que se une a la raíz de la yuca presenta un contenido alto de almidón en base seca; variedades brasileras como las IAC 13 y Fibra tienen valores de almidón de 55 y 60 % respectivamente, además de un 38 y 27% de fibra cruda; componentes con valores interesantes para evaluar la producción de alcohol a partir de estos residuos (Cerat, 2007). Al incrementar la producción de etanol por hectárea, se mejoran los índices energéticos de este cultivo como materia prima alternativa para la producción de alcohol carburante.

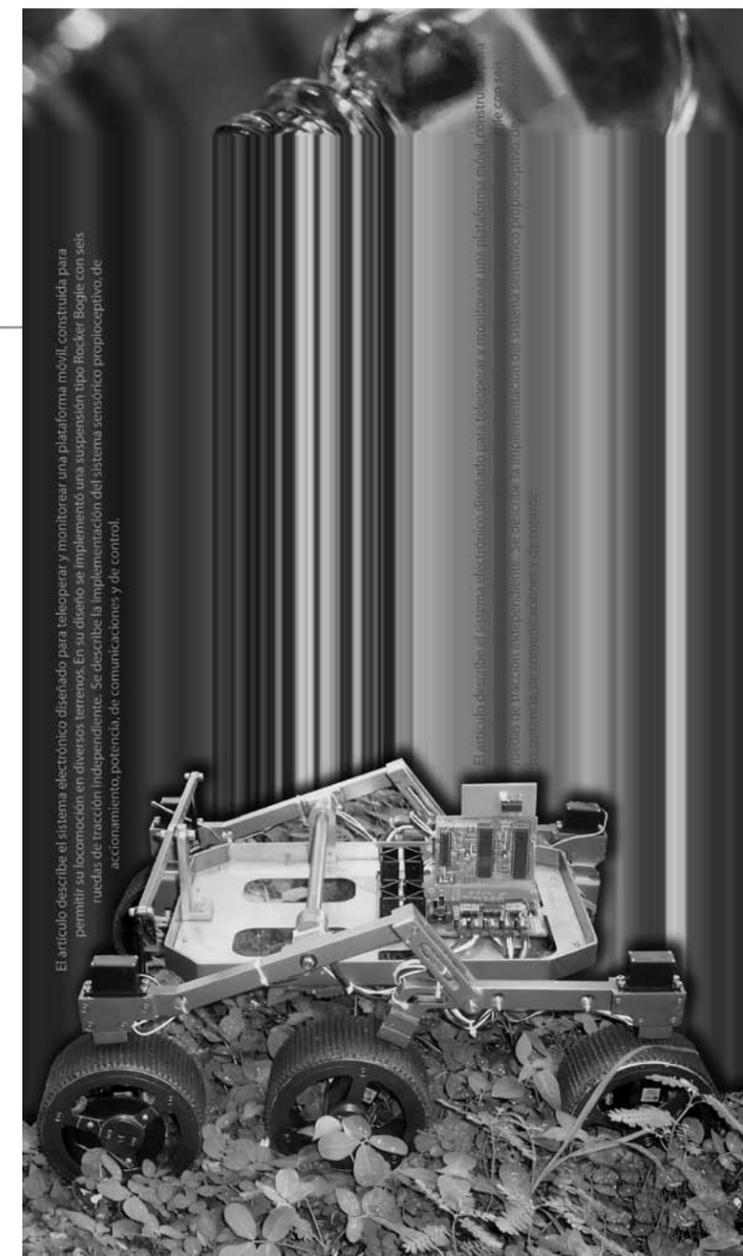
## Bibliografía

- Alkasrawi Malek, Eriksson Torony, Borjensson Johan, Wigren Anders, Galbe Malts, Tjerneld Folke et al. The Effect of Tween 20 on Simultaneous Saccharification and Fermentation of Softwood to Ethanol. En: Enzyme and Microbial Technology (33):71-78, 2003.
- Amaral Lucia, Jaigobind Samaray. Processamento da mandioca.: <http://www.sbirt.ibict.br>. (19 de abril de 2007)
- Amutha Ramasamy, y Gunareskaran Paramasamy. Production of Ethanol from Liquefied Cassava Strach Using Co-Immobilized Cells of Zymomonas Mobilis and Saccharomyces Diastaticus. En: Journal of Bioscience and Bioengineering 92 (6):560-564, 2001.
- Arias Mario, Castaño Háder, Gómez, José. Estudio cinético de una fermentación alcohólica utilizando miel de abejas como sustrato. En: Ingeniería e Investigación.(36):70-81,1997.
- Balcázar Álvaro, y Mansilla Hernán. Cassava Crop Development in Colombia.: <http://www.fao.org/docrep/007/y5271e/y5271e07.htm>. (2 de mayo de 2007).
- CERAT (Centro de Raíces y Tubérculos Tropicales) Materias primas amiláceas con fines energéticos. Memorias de Seminario de Tecnologías en agroindustria de tubérculos tropicales. Botucatu. CERAT, 2007.
- CORPODIB (Corporación para el Desarrollo Industrial de la Biotecnología y Producción Limpia). Proyecto para producción de biodiesel a partir de palma africana en Colombia. <http://www.corpodib.org>. (15 de noviembre de 2006).
- CONSORCIO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE APOYO A LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA YUCA. Yuca en la producción de alcohol carburante. Boletín electrónico N° 6.<http://www.clayuca.org>. (30 de agosto de 2006)
- CONSORCIO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE APOYO A LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA YUCA. La yuca en la producción de alcohol carburante. Boletín electrónico N° 7.<http://www.clayuca.org>. (16 de abril de 2007).
- Demirbas, Andrea. Bioethanol from Cellulosic Materials: A Renewable Motor Fuel from Biomass. En: Energy Sources. (27): 327:337, 2005.
- FAO. Regional Wood EnergyDevelopment Programme in Asia, Report no. 36, Bangkok, Thailand.1998
- Ljunggren, Mattias. Kinetics Analysis and Modelling of Enzymatic Hydrolysis and ssf. Lund: Lund Institute of Technology, 2004.
- Mielenz Jonathan. Ethanol Production from Biomasa: Technology and Commercialization Status. En: Current Opinion in Microbiology (4):324-329, 2001.
- Mojovic, Ljilijana, Nikolik Svetlana, Rakin Marica, Vukasnovik Maja. Production of Bioethanol from Corn Meal Hydrolyzates. En: Fuel. 85:1750-1755, enero de 2006.
- Montesinos Thomas, y Navarro Johan. Production of Alcohol from Raw Wheat Flour by Amyloglucosidase and Saccharomyces Cerevisiae. En:Enzymes and Microbial Technology (27) 362-370, 2000.
- PORTAFOLIO Colombia liderará los temas de turismo y biocombustibles en Plan Puebla Panamá. Consultado: Mayo 22 de 2007.
- Sun Yang. Hydrolysis of Lignocellulosic Materials for Ethanol Production: A Review. En: Bioresource Technology. (83); 1. 11, 2002.
- Sureh Kao, Sree Kiran, Rao Venkateswer. Utilization of Damaged Sorghum and Rice Grains for Ethanol Production by Simultaneous Saccharification and Fermentation. En: Biosources Technology (68): 301-304, 1998.
- Wagner H, Bauer R, Birol G, Doruker P, Kirdar B, Onsan Z, et al. Mathematical Description of Ethanol Fermentation by Immobilised Sachharomyces Cerevisiae. En: Process Biochemistry 33 (7): 763-771, 1998.
- Zhu, Shengdong, Wu, Yuanxi, Yu Ziniu, Zhanp Xuan, Wang Cunwen, Yu Faquan et al. Simultaneous Saccharification and Fermentation of Microwave/Alcali pre-Treated Rice Straw to Ethanol. En: Biosystem Engineering 92 (2):229-235, 2005.

# Sistema de control y comando de un robot móvil para terrenos irregulares

Juan Bernardo Cano.  
Maribel Arroyave Giraldo.  
Diana Lucía Mazo.  
Nelson Londoño Ospina.  
Nelson David Muñoz C.

POLITÉCNICA No. 6 | enero - junio de 2008, pp. 39 - 52 |



El artículo describe el sistema electrónico diseñado para teleoperar y monitorear una plataforma móvil, construida para permitir su locomoción en diversos terrenos. En su diseño se implementó una suspensión tipo Rocker Bogle con seis ruedas de tracción independiente. Se describe la implementación del sistema sensorial, el sistema de accionamiento, potencia, de comunicaciones y de control.

El artículo describe el sistema electrónico diseñado para teleoperar y monitorear una plataforma móvil, construida para permitir su locomoción en diversos terrenos. En su diseño se implementó una suspensión tipo Rocker Bogle con seis ruedas de tracción independiente. Se describe la implementación del sistema sensorial, el sistema de accionamiento, potencia, de comunicaciones y de control.