

EVALUACIÓN ENERGÉTICA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ETANOL DE 1G Y 2G A PARTIR DE SORGO DULCE Y CAÑA DE AZÚCAR EN PLANTA PILOTO DEL ITVER

César García-Arellano^a, María Guadalupe Aguilar Uscanga^b, Sandra del Moral Ventura^c.

^aUniversidad del Papaloapan, Campus Loma Bonita, Instituto de Agroingeniería. Av. Ferrocarril s/n, CD. Universitaria, Loma Bonita, Oaxaca, México. C.P. 68400, rasecgarella@hotmail.com.

^bUnidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz. Miguel Ángel de Quevedo 2279, Col. Formando Hogar, Veracruz, Ver. C.P. 91897.

^cCátedras CONACYT-Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz. Miguel Ángel de Quevedo 2279, Col. Formando Hogar, Veracruz, Ver. C.P. 91897.

Palabras clave: etanol, balance energético, 1G y 2G.

Introducción. El etanol es una alternativa para mitigar los problemas ambientales que conlleva el uso de combustibles fósiles⁽¹⁾, sin embargo, existe controversia sobre el uso de fuentes de alimento como materia prima para la producción de biocombustibles. Es por ello que el etanol de 2G toma un interés preponderante debido a la abundante disponibilidad de residuos lignocelulósicos⁽²⁾. Sin embargo, la aceptación del proceso de producción de etanol como una fuente emergente de energía, dependerá del equilibrio entre el índice de eficiencia y la energía utilizada para dicho fin⁽³⁾.

Por lo tanto, en este trabajo se analizaron los parámetros que intervienen en el balance energético de un cultivo para la producción de biomasa de sorgo dulce y caña de azúcar y su posterior transformación en etanol en la planta piloto (PP) del Instituto Tecnológico de Veracruz.

Metodología. Se incluye la aplicación de equivalentes energéticos a las diferentes entradas implicadas en la cadena del proceso de producción, y a los productos energéticos de salida, para obtener los rendimientos energéticos que permiten determinar si el balance energético del cultivo es positivo. El cálculo de la energía utilizada en la fase agrícola se consideró en términos del rendimiento del cultivo por hectárea (t/ha) de tallos, así como la producción de etanol por hectárea (L/ha)⁽⁴⁾. Se analizó el consumo de energía primario de la PP de etanol de 1G y 2G mediante mediciones *in situ* en cada equipo, así como su tiempo de operación para dos cultivos lignocelulósicos y su transformación en jugo. Se analizan los indicadores energéticos del ciclo completo: el rendimiento másico (η_m), la densidad de cultivo (ρ_C), la densidad energética (ρ_{en}), el Valor Energético Neto (VEN) y la Relación de Energía (ER)⁽⁵⁾.

Resultados. Los resultados se resumen a continuación:

Tabla 1. Energía utilizada para la producción de etanol

Concepto (MJ/ha)	Sorgo dulce		Caña de azúcar	
	1G	2G	1G	2G
Energía por cultivo	11,574	11,574	11,460	11,460
Energía de transporte	17,027	17,027	19,460	19,460
Electricidad en planta	1,848	1,848	1,896	1,896
Procesos de Hidrólisis	-	11,109	-	21,402
Total (agrícola+proceso)	30,450	41,558	32,817	54,219

Tabla 2. Indicadores energéticos del proceso en PP del etanol

Indicador Energético	Sorgo dulce		Caña de azúcar	
	1G	2G	1G	2G
η_m (L/t)	60	90	70	110
ρ_C (L/ha)	2,820	5,220	3,780	7,700
ρ_{en} (MJ/ha)	67,206	124,404	90,085	183,507
VEN (MJ/L)	9.8	11.1	12.8	14.4
ER	2.0	2.3	2.7	3.3

Conclusiones. La energía requerida por la fase agrícola para el caso del sorgo dulce, representa un 38% del total de la energía invertida para la producción de etanol de 1G, y de 27.8% para el caso de 2G. Para la caña de azúcar, la fase agrícola representa el 34.9% para el caso de 1G y el 21.1% para el caso de 2G. La mayor cantidad de energía utilizada en el proceso de 2G en PP se utiliza durante la hidrólisis ácida, aquí se gasta el 26.7% de la energía total para el caso del sorgo (10,461 MJ) y 39.4 % para la caña (20,754 MJ), es decir 2 veces más energía. Se observa que el mejor rendimiento energético de la planta se presenta para el caso de la caña de azúcar, donde el ER alcanza un valor de 3.3 para el caso de etanol de 1G y de 2.7 para 2G, esto representa un incremento del 26% en relación con el caso del sorgo dulce; sin embargo, es necesario mencionar que no se consideró el costo de la energía invertida en la producción de la semilla de caña. Así el uso de cultivos de alto contenido lignocelulósico, suponen desafíos para desarrollar tecnologías novedosas de los procesos de operación y transformación e integrarlos en un concepto de biorrefinería, de manera que se puedan obtener procesos energéticamente viables.

Agradecimientos. Este trabajo fue financiado por los proyectos CONACYT-SAGARPA 291143 Convocatoria 2017-03, y Problemas Nacionales 2017 proyecto 4650.

Bibliografía.

- Kim S, Dale BE (2005) *Biomass Bioenergy*. 28:475-489.
- Hui Teng Tan *et al.* (2010) *Bioresource Technology*. 101:5719-5727.
- Palacios-Bereche R *et al.* (2013) *Energy*. 62:46-61.
- Worley JW (1992) *Bioresource Technology*. 40:263-273.
- Velásquez-Arredondo HI *et al.* (2010) *Energy*. 35:3081-3087.

