

## Balances Energéticos de Caña de Azúcar como Cultivo Energético en Tucumán, Argentina

*Energy Balances of Sugarcane as an Energy Crop in Tucuman, Argentina*

CARO, Roque Fernando. Universidad Nacional de Tucuman, roquecaro@hotmail.com.

### Resumen

El objetivo de este trabajo es analizar la producción de Caña de Azúcar con criterios energéticos para identificar sistemas más sustentables con menos insumos y emisiones. Se comparan tres alternativas: tradicional (cosecha integral con quema, plantación manual y uso de agroquímicos), de caña verde (cosecha integral sin quema, plantación manual, uso de rastrojos para cobertura y biofertilizantes) y energético (cosecha integral sin quema, plantación mecánica, y uso de cachaza y biofertilizantes). Usando metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) se identificaron las etapas de plantación, cultivo, cosecha y transporte en caña planta, y cultivo, cosecha y transporte en caña soca. Se hizo un inventario de insumos convertidos a su equivalente en energía (Mcal/Ha). Se presentan los insumos energéticos usados y valores de eficiencia energética, que muestran mejores balances para los sistemas de caña verde y energético, comparados con el tradicional.

**Palabras-clave:** Biocombustibles, Análisis de Ciclo de Vida.

### Abstract

*The Objective of this article is to analyze sugarcane production using energy criteria to identify more sustainable production systems with low inputs and emissions. Three alternatives are compared: traditional (with burning, hand planting and use of agrichemicals), green cane (no burning, hand planting, mulching and use of biofertilizer), and energetic (no burning, mechanical planting, and use of filter cake and biofertilizer). By using the Life Cycle Analysis (LCA) methodology, stages have been identified: planting, crop management, harvest and transport for plant cane, and crop management, harvest, and transport for ratoon cane. An inventory of inputs was made, with conversion to energy equivalencies (Mcal/Ha). Inputs used and energy efficiency values are presented which show better energy balances in green cane and energetic production systems than in the traditional system.*

**Keywords:** Biofuels, Life Cycle Analysis

### Introducción

Una fuente importante para la obtención de biocombustibles son los cultivos energéticos, cuya producción ha cobrado nuevo impulso, principalmente en EEUU (etanol de maíz y biodiesel de soja), Brasil (etanol de Caña de Azúcar), y la Unión Europea (biodiesel de colza y mezclas de aceites vegetales).

El Noroeste Argentino presenta un gran potencial para el desarrollo de biocombustibles a partir de caña de azúcar con unas 290.000 Has implantadas en Tucumán, Salta y Jujuy.

En Tucumán existe vasta experiencia en el manejo y producción comercial del cultivo y allí se diseñó e implementó el primer plan nacional de utilización de etanol de caña de azúcar en mezclas con nafta y se realizaron estudios de balances energéticos y de optimización energética de la producción de caña de azúcar y sorgo azucarado para combustible (EEAOC, 1980, 1981, 1983; Scandaliaris y Alonso, 1983; Olea, Romero y Scandaliaris, 1989, y Romero y Scandaliaris, 1989).

## Resumos do VI CBA e II CLAA

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) ha sido utilizado (Macedo, 2004, CIEMAT, 2005, y Ometto, Roma y Ortega, 2005) para medir la eficiencia energética y emisión de efluentes en la producción de biocombustibles. No existen antecedentes locales sobre balances energéticos y de impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida de los biocombustibles, ni evaluaciones de sustentabilidad de las cadenas productivas.

### Metodología

Los sistemas productivos alternativos de manejo del cultivo de Caña de Azúcar son:

- 1) Tradiciona (ST), con plantación manual, uso de agroquímicos convencionales y cosecha integral con quema, utilizado por pequeños productores cañeros en Tucumán.
- 2) Caña Verde (CV), con plantación manual, uso de rastrojo como cobertura, biofertilizante y cosecha integral sin quema, utilizado en un 34 % del área cañera de Tucumán y
- 3) Energético (SE), con plantación mecánica, uso de cachaza y biofertilizante y cosecha integral sin quema, propuesto por la EEAOC de Tucumán.

Se calculó la productividad energética total por Ha, partiendo del rendimiento de Caña (Toneladas/Ha) y el alcohol (Litros/Tonelada de Caña) y bagazo (Toneladas/Ha) obtenibles.

Utilizando la metodología de Ciclo de Vida se definieron etapas de manejo en caña planta (plantación, cultivo, cosecha y transporte) y en caña soca (cultivo, cosecha y transporte).

Empleando los criterios del Energy Analysis, se clasificaron los recursos en Naturales (Renovables y No renovables) y Económicos (Materiales y Servicios).

Para cada sistema productivo, y cada etapa, se hizo un inventario de los recursos utilizados, los que fueron convertidos a su equivalente en energía (Mcal/Ha), utilizando la metodología detallada por Scandalariis y Alonso (1983).

Finalmente se hicieron los balances energéticos (o eficiencia energética EE) para cada sistema como el cociente entre la energía producida y la energía utilizada.

### Resultados y discusiones

La productividad energética basada en un rendimiento cultural de 75 toneladas de Caña por hectárea y la obtención de 93 litros de alcohol/Tonelada de Caña y 300 Kg de bagazo/Tonelada de Caña para los tres sistemas, se muestra en la Tabla 1:

TABLA 1. Productividad Energética/Ha de la Caña de Azúcar en Tucumán (Mcal/Ha)

Producto	Producción por Hectárea	Valor Energético	Productividad Energética Mcal/Ha
Alcohol	6975 Litros	5,05 Mcal/Lit.	35223,75
Bagazo	22500 Kilogr	1,80 Mcal/Kg	40500,00
Total	--	--	75723,75

La Tabla 2 da un resumen de los insumos energéticos utilizados a lo largo del Ciclo de Vida (Caña Planta, Caña Soca y Total) para los sistemas estudiados.

## Resumos do VI CBA e II CLAA

TABLA 2. Resumen de los Insumos Energéticos Utilizados bajo tres Sistemas de Manejo en Caña de Azúcar (Mcal/Ha).

	Combust.	Agroquim.	Mano de Obra	Equipos	SUB TOTAL	Insumos Renovables	TOTAL
<b>TRADICIONAL</b>							
PLANTA	310,3	257,3	4,5	43,1	615,2	2019,3	2634,5
SOCA	1547,6	2254,0	7,2	203,2	4012,0	0	4012,0
TOTAL	1857,9	2511,3	11,7	246,3	4627,2	2019,3	6646,5
<b>CAÑA VERDE</b>							
PLANTA	312,9	216,0	4,5	45,1	578,5	2019,3	2597,8
SOCA	1548,9	1282,5	6,7	199,3	3037,4	17,6	3055,0
TOTAL	1861,7	1498,5	11,2	244,5	3615,9	2036,9	5652,8
<b>ENERGETICO</b>							
PLANTA	285,1	74,2	1,4	53,8	414,5	2283,3	2697,8
SOCA	1474,9	1282,5	6,3	190,6	2954,3	17,6	2971,9
TOTAL	1760,0	1356,7	7,6	244,4	3368,7	2300,9	5669,6

Se considera como insumos renovables la caña semilla, la cachaza usada como fertilizante y el biofertilizante.

La Eficiencia Energética de cada sistema de manejo, calculada como el cociente entre la productividad energética y los insumos energéticos, se muestra en la Tabla 3:

TABLA 3. Valores de Eficiencia Energética en Sistemas de Manejo de Caña de Azúcar:

Sistema de Manejo	Eficiencia Energética (EE)	
	Recursos No Renovables	Recursos No Renovables + Renovables*
Tradicional (ST)	16,36	11,39
Caña Verde (CV)	20,94	13,40
Energético (SE)	22,48	13,36

\* Caña Semilla, Cachaza y Biofertilizante.

El ST usa más insumos no renovables (4.012 Mcal/Ha), y tiene menor EE (16,36). El SE utiliza menos energía (2.954,3 Mcal/Ha) y tiene mayor EE (22,48). Es notable la reducción del uso de agroquímicos (1.356,7 Mcal/Ha versus 2.511,3 Mcal/Ha en el ST). El CV es intermedio, y próximo al SE en uso de energía (3615,9 Mcal/Ha) y EE (20,94).

La EE del ST es similar a la obtenida por Scandaliaris y Alonso (1983), de 16,01. La productividad energética es mayor (73.723,8 Mcal/Ha versus 53.549,8 Mcal/Ha) y también el uso de insumos energéticos no renovables (4.627,2 Mcal/Ha versus 3.344 Mcal/Ha) indicando que el salto de productividad se basó en un uso más intenso de energía. El SE hace un uso similar de energía (3.368,7 Mcal/Ha) con mayor EE (22,48).

La quema del cultivo da mayor eficiencia y menor costo de cosecha y transporte, con ahorro de combustibles, pero es un peligro para la salud y la vida comunitaria (riesgos de accidentes por escasa visibilidad en las rutas, cortes de energía por daños a líneas de electricidad) y el medio ambiente.

El sistema CV usa rastrojo como cobertura y elimina la quema. Permite retención de humedad de suelo, mejor control de malezas, menor impacto de plagas, menor erosión hídrica y menos laboreo y es una alternativa más sustentable, con ahorro de 40,3% en agroquímicos (herbicidas y reemplazo de 50 % de fertilizantes por biofertilizante).

El SE reemplaza plantación manual por mecánica, y sustituye fertilizante nitrogenado por cachaza (residuo contaminante de la industria azucarera). Comparado con el ST, ahorra 46 % de

## Resumos do VI CBA e II CLAA

agroquímicos y aumenta la EE en 37,4 %.

Si incluimos los insumos renovables (caña semilla, biofertilizante y cachaza) en el análisis, el uso de energía se incrementa en todos los sistemas, fundamentalmente por la caña semilla, y la EE se reduce ( 30 % en el ST, 36 % en CV y 41 % en el SE). Esto indicaría que convencionalmente, los análisis subestiman los recursos utilizados y sobreestiman la EE de los sistemas productivos. En el caso de la cachaza, debería valorizarse el impacto ambiental favorable de la eliminación de un efluente altamente contaminante.

Para que los cultivos energéticos sean sustentables deben ser seguros para la salud y la biodiversidad, rentables, eficientes energéticamente, generar mínimas emisiones y desechos y no afectar la seguridad alimentaria. En este trabajo preliminar se analiza la fase de producción primaria de la cadena de obtención de biocombustibles, el uso de insumos valorados energéticamente y la EE de sistemas productivos alternativos para buscar opciones más sustentables. Para poder evaluar la sustentabilidad de las cadenas productivas de biocombustibles, se hacen necesarios estudios más amplios y profundos.

### Conclusiones

Los sistemas de CV y SE son más sustentables que el ST por menor uso de insumos no renovables como agroquímicos (40 y 46 % respectivamente), mayor EE (22% y 37%), preservación del recurso suelo por uso de cobertura, eliminación de prácticas nocivas como la quema de cañaverales y la emisión de efluentes contaminantes como la cachaza.

La inclusión de recursos renovables haría más realistas los valores de eficiencia energética.

El estudio de sustentabilidad de sistemas productivos debe ser analizado en mayor profundidad.

### Referencias

EEAOC. *Sorgo Sacarífero: posibilidades industriales, experiencias de campo*. Publicación Miscelánea 66, 1980. 42 pp.

EEAOC. *El Alcohol Combustible. Recurso Energético Nacional*. Avance Agroindustrial, Año 2, Nº 7, 1981. 16 pp.

EEAOC. *Capacidad de producción de biomasa en Tucumán*. Publicación Especial Nº 1, 1983. 91 pp.

SCANDALIARIS, J. y J. ALONSO. *Insumos Energéticos en el cultivo de la caña de azúcar*. RIAT, 1983: p 1-13.

OLEA, I., E. ROMERO y J. SCANDALIARIS. *Evaluación de técnicas de producción de caña de azúcar según criterios energéticos*. RIAT, 1989: p 13-28.

ROMERO, E. y J. SCANDALIARIS. *Productividad Energética de algunas especies vegetales, con énfasis en caña de azúcar*. RIAT, 1989: p 51-70.

EEAOC. *El Alcohol Combustible en la República Argentina*. Publicación Especial Nº 8, 1985. 79 pp.

MACEDO, I. C. (2004). *Ethanol LCA*. [www.unica.com.br/i\\_pages/files](http://www.unica.com.br/i_pages/files)

CIEMAT. *Análisis del Ciclo de Vida comparativo de Combustibles Alternativos para el Transporte. Fase I. Análisis del Ciclo de Vida comparativo del etanol de cereales y de la gasolina*. 2005, 112 pp.

## Resumos do VI CBA e II CLAA

OMETTO, A. R., W. N. L. ROMA, and E. ORTEGA. *Emergy Life Cycle Assessment of fuel ethanol in Brazil*. Proceedings of IV Biennial International Workshop "Advances in Emergy Studies". 2004, p 389-399.