

USO DEL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV) PARA MEJORAR LA SUSTENTABILIDAD DE LA CADENA PRODUCTIVA DEL BIOETANOL EN TUCUMÁN

Caro, R. F.; Dilascio, M. P.; Abascal, G. F.; Romero, E. R.; Scandaliaris, J. y Casen, S. D.
Cátedra de Cultivos Industriales, Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucumán, San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, Las Talitas, Tucumán, Argentina

ABSTRACT

Biofuels are renewable substitutes for fossil fuels, with energy crops being a major source. Among biofuels main advantages we have: reduction of dependence on non-renewable fossil fuels, reduced emissions, and benefits to local economies.

Major concerns about the development of energy crops have been: a) low or negative energy balances, b) poor savings on emissions, c) use of intensive production systems, and d) impacts on biodiversity and food security.

There have been suggested some alternatives, such as the search for new crops not affecting food security to be grown in marginal areas, and/or the development of sustainable production systems with reduced inputs and emissions.

In Tucuman and North western Argentina the sustainable production of bioetanol from sugarcane is of paramount importance. A major issue is the intensive use of non-renewable fuels in field production. Thus, the use of biofuels and improvements in energy efficiency are suggested to improve sustainability of the productive chain.

The Obispo Colombres Agro Industrial Experiment Station and the School of Agronomy of the National University of Tucuman are currently researching the use of sweet sorghum in areas considered marginal for sugarcane, in order to enhance the utilization of field machinery (crop management, harvesting and transport) as well as industrial facilities (milling and distillation). In addition, sustainable alternatives of producing biodiesel are being studied.

Different production systems for sugarcane, sweet sorghum and soybeans were analyzed. Life Cycle Analysis methodology was used to define stages in crop production. An inventory of inputs required at each stage was made, and all data were converted to energy units per unit area (Mj/Ha and Mcal/Ha). Energy Efficiency was measured as the ratio between energy produced/energy used, and comparisons among alternative systems were made. Stages of major impact and opportunities for improvements were identified.

INTRODUCCIÓN

Los biocombustibles son sustitutos renovables para los combustibles fósiles. Una fuente importante para su obtención son los cultivos energéticos. Las mayores preocupaciones acerca del desarrollo de los cultivos energéticos son: a) balances energéticos ineficientes ó negativos, b) escasos ahorros en emisiones, c) sistemas productivos intensivos que agotan el suelo y utilizan agroquímicos, d) afectan la biodiversidad y sustentabilidad y comprometen la seguridad alimentaria.

Se han sugerido alternativas como el uso de cultivos energéticos que no comprometan la seguridad alimentaria y puedan producirse exitosamente en zonas marginales y/o implementar sistemas productivos sustentables de bajos insumos y emisiones. Para determinar sustentabilidad se hacen evaluaciones energética, ambiental, social y económica mediante indicadores cuantitativos. Una técnica es el Análisis de Ciclo de Vida (serie de Normas ISO 14040-14049) para realizar balances energéticos y de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

La producción de biocombustibles 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). En Argentina, se está desarrollando la producción de biodiesel de soja para exportación en la Pampa Húmeda.

En Tucumán, la EEAOC ha realizado estudios sobre producción de alcohol determinando balances energéticos y alternativas de optimización (1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7). Se ha utilizado el Análisis de Ciclo de Vida ó ACV (8, 9, 10, 11, 12) para medir la eficiencia energética y emisión de efluentes en la producción de biocombustibles a través de todas las etapas, desde la extracción de materias primas hasta el uso final.

La principal ventaja del ACV es que va más allá del sistema productivo. Su mayor limitación es que se centra en productos y usa sólo dos categorías de impacto: uso de energías fósiles y emisión de gases de efecto invernadero.

En Tucumán y el Noroeste Argentino la producción sustentable de bioetanol a partir de la caña de azúcar es de gran importancia. Un tema fundamental es el uso intensivo de combustibles no renovables en la producción agrícola. Así, se ha sugerido el uso de biocombustibles (biodiesel) y el aumento de la eficiencia energética del cultivo como una manera de mejorar la sustentabilidad de la cadena productiva.

La Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) y la Facultad de Agronomía y Zootecnia de la Universidad Nacional de Tucumán (FAZ – UNT) están investigando el uso de sorgo azucarado en áreas consideradas marginales para la caña de azúcar como una manera de incrementar el uso de maquinaria de campo (manejo de cultivo, cosecha y transporte), así como las instalaciones industriales (molienda y destilería) del complejo sucroalcoholero. Adicionalmente, están estudiando alternativas sustentables para producir biodiesel.

OBJETIVOS

El objetivo del presente trabajo fue analizar la productividad y eficiencia energética en la fase agrícola de sistemas productivos alternativos de tres cultivos energéticos, caña de azúcar, sorgo azucarado y soja, para identificar formas de mejorar la sustentabilidad de la cadena productiva del bioetanol en Tucumán.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para reconocer las cadenas productivas más sustentables, se han definido sistemas de producción alternativos:

Para caña de azúcar: 1) Convencional, con plantación manual, agroquímicos convencionales y cosecha integral con quema, 2) Caña Verde, con plantación manual, cobertura, biofertilizante y cosecha integral sin quema y 3) Energético Optimizado, con plantación mecánica, cachaza y biofertilizante y cosecha integral sin quema.

En sorgo azucarado: 1) Convencional, con preparación de suelo y 2) Conservacionista con barbecho químico y siembra directa.

Para soja: 1) Convencional con siembra directa; 2) Transgénico con siembra directa, y 3) Convencional sin Agroquímicos.

Se definieron diferentes etapas de manejo:

En caña planta: plantación, cultivo, cosecha y transporte. En caña soca: cultivo, cosecha y transporte.

En sorgo azucarado: barbecho/preparación de suelo, siembra, manejo del cultivo, y cosecha y transporte

En soja: barbecho/preparación de suelo, siembra, manejo del cultivo y cosecha

Para cada sistema productivo, y para cada etapa, se hizo un inventario de los recursos utilizados, los que fueron convertidos a su equivalente en unidades de energía por unidad de superficie: Mcal/Ha para caña de azúcar, y Mj/Ha para sorgo azucarado y soja.

En el caso de caña de azúcar, se utilizó la metodología detallada por Scandalariis y Alonso (1983). En sorgo azucarado y soja, los valores de referencia fueron los citados por Denoia, J. y colaboradores (2006).

La *energía utilizada* fue clasificada en Energía Indirecta (insumos y agroquímicos) y Energía Directa (combustible, mano de obra y maquinaria).

Para la *energía producida*, se calculó la productividad energética total por Ha: en caña de azúcar y sorgo, partiendo del rendimiento de Caña y el alcohol y bagazo obtenibles y en soja, convirtiendo los granos producidos en su equivalente energético.

Finalmente se hicieron los balances energéticos para cada sistema como el cociente entre la energía producida y la energía utilizada, obteniendo así la eficiencia energética.

RESULTADOS

La Tabla 1 muestra los diferentes tipos de energía utilizados en cada etapa del Ciclo de Vida de Caña Planta y Caña Soca, bajo los tres sistemas de manejo definidos y sus equivalentes energéticos en Mcal/Ha., sí como también la energía producida y la eficiencia energética,

Tabla 1. Tipos de energía utilizados y producida (Mcal/Ha) en el Ciclo de Vida en tres sistemas productivos alternativos de caña de azúcar y eficiencia energética.

CAÑA DE AZUCAR	Convencional		Caña Verde		Energético Optimizado	
ETAPAS CICLO DE VIDA	EN IND	EN DIR	EN IND	EN DIR	EN IND	EN DIR
Caña Planta						
Plantación	2019,30	92,91	2019,30	97,13	2039,47	23,94
Manejo de Cultivo	257,31	28,68	215,97	7,63	318,05	75,83
Cosecha	0,00	119,28	0,00	118,98	0,00	118,98
Transporte	0,00	110,73	0,00	115,35	0,00	115,35
Caña Soca						
Manejo de Cultivo	2254,01	340,68	1300,09	307,05	1300,09	223,84
Cosecha	0,00	715,68	0,00	713,90	0,00	713,90
Transporte	0,00	664,37	0,00	692,11	0,00	692,11
SUBTOTAL INGRESOS	4530,62	2072,34	3535,36	2052,15	3657,60	1963,95
TOTAL INGRESOS		6602,95		5587,50		5621,55
TOTAL EGRESOS		75723,77		75723,77		75723,77
EFICIENCIA ENERGÉTICA		11,47		13,55		13,47

EN IND: Energía Indirecta (insumos)

EN DIR: Energía directa (combustible, mano de obra y equipamiento)

Se incluyeron insumos renovables como caña semilla, cachaza usada como fertilizante y biofertilizante.

El sistema tradicional es el de mayor utilización de energía y el menos eficiente desde el punto de vista energético. Los sistemas de caña verde y energético optimizado usan menos energía y dan mayor eficiencia. Es notable la reducción en el uso de energía indirecta (agroquímicos), particularmente en la etapa de manejo del cultivo en caña soca. No hay diferencias muy notables en el uso de energía directa entre los sistemas.

La Tabla 2 presenta resultados cuando se considera solamente la energía no renovable.

Tabla 2. Energía utilizada y producida (Mcal/Ha) y eficiencia energética de tres sistemas productivos alternativos de caña de azúcar (Energía no renovable).

CAÑA DE AZUCAR	Convencional		Caña Verde		Energético Optimizado	
ETAPAS CICLO DE VIDA	EN IND	EN DIR	EN IND	EN DIR	EN IND	EN DIR
CAÑA PLANTA						
Plantación	0,00	92,91	0,00	97,13	20,17	23,94
Manejo de Cultivo	257,31	28,68	215,97	7,63	54,05	75,83
Cosecha	0,00	119,28	0,00	118,98	0,00	118,98
Transporte	0,00	110,73	0,00	115,35	0,00	115,35
CAÑA SOCA						
Manejo de Cultivo	2254,01	340,68	1282,49	307,05	1282,49	223,84
Cosecha	0,00	715,68	0,00	713,90	0,00	713,90
Transporte	0,00	664,37	0,00	692,11	0,00	692,11
SUBTOTAL INGRESOS	2511,32	2072,34	1498,46	2052,15	1356,71	1963,95
TOTAL INGRESOS		4583,65		3550,60		3320,66
TOTAL EGRESOS		75723,77		75723,77		75723,77
EFICIENCIA ENERGÉTICA		16,52		21,33		22,80

EN IND: Energía Indirecta (insumos)

EN DIR: Energía directa (combustible, mano de obra y equipamiento)

Acá se observa nuevamente una reducción en el uso de energía, particularmente energía indirecta en la etapa de manejo de cultivo de caña soca, para los sistemas productivos de caña verde y energético optimizado. Este último muestra un desempeño ligeramente superior al de caña verde. Los valores de eficiencia aumentan significativamente.

La Tabla 3 presenta el uso y producción de energía y la eficiencia energética de dos sistemas productivos alternativos de sorgo azucarado.

Tabla 3. Tipos de energía utilizados en el Ciclo de Vida en dos sistemas productivos alternativos de sorgo azucarado, energía producida y eficiencia energética.

SORGO AZUCARADO	Convencional		Conservacionista	
	EN IND	EN DIR	EN IND	EN DIR
Barbecho/Preparación de Suelo	0,00	952,60	1379,40	99,59
SIEMBRA	248,07	368,05	248,07	368,05
Manejo de Cultivo	3507,25	597,54	3503,07	597,54
Cosecha y Transporte	0,00	3924,63	0,00	3924,62
SUBTOTAL INGRESOS	3755,32	5842,82	5130,54	4989,80
TOTAL INGRESOS		9598,14		10120,34
TOTAL EGRESOS		98813,20		98813,20
EFICIENCIA ENERGÉTICA		10,30		9,76

EN IND: Energía Indirecta (insumos)

EN DIR: Energía directa (combustible, mano de obra y equipamiento)

Los valores de uso de energía, así como de eficiencia energética son similares en ambos sistemas., con ventajas para el sistema convencional. Grandes diferencias pueden observarse en la etapa de barbecho/preparación de suelo, en el que el sistema conservacionista utiliza grandes cantidades de energía indirecta (agroquímicos) y el convencional por su parte hace gran uso de energía directa (combustibles y maquinaria).

En la Tabla 4 se dan valores de uso y producción de energía y eficiencia energética de los tres sistemas alternativos de producción de soja analizados:

Tabla 4. Tipos de energía utilizados en el Ciclo de Vida en tres sistemas productivos alternativos de soja, energía producida y eficiencia energética.

SOJA	Convencional SD		Convencional S/ Agr		Transgénico SD	
	EN IND	EN DIR	EN IND	EN DIR	EN IND	EN DIR
Barbecho/Preparación de Suelo	1713,80	99,59	0,00	1321,37	1254,00	99,59
Siembra y Fertilización	1553,60	368,05	1164,30	364,40	1553,60	368,05
Manejo de Cultivo	1810,30	348,57	182,00	1195,08	1975,56	398,36
Cosecha	0,00	562,90	0,00	562,90	0,00	562,90
SUBTOTAL INGRESOS	5077,70	1379,11	1346,30	3443,75	4783,16	1428,90
TOTAL INGRESOS		6456,81		4790,05		6212,06
TOTAL EGRESOS		45225,00		33500,00		50250,00
EFICIENCIA ENERGÉTICA		7,00		6,99		8,09

EN IND: Energía Indirecta (insumos)

EN DIR: Energía directa (combustible, mano de obra y equipamiento)

Los tres sistemas difieren en el total de energía producida y utilizada y tienen valores similares de eficiencia energética, con ventajas para el sistema Transgénico SD de máxima productividad. El Convencional SD es el de mayor consumo de energía (especialmente energía indirecta en la etapa de barbecho). El Sistema Convencional sin Agroquímicos es el de menor uso y producción de energía, y es el de mayor consumo de energía directa (combustible y maquinaria en barbecho/preparación de suelo y manejo de cultivo).

CONCLUSIONES

La metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta muy útil para definir etapas dentro de los sistemas productivos y clasificar los recursos utilizados.

El estudio de insumos energéticos acá presentado permite discriminar en términos de uso y eficiencia de energía entre sistemas productivos alternativos, además de identificar etapas de mayor impacto y diagnosticar oportunidades de mejora.

La inclusión del uso de recursos renovables con sus valores energéticos correspondientes, si bien reduce los valores de eficiencia energética, aportaría a la sustentabilidad de los sistemas productivos. Por este motivo, es un tema que debe ser analizado en mayor profundidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. EEAOC (1980). Sorgo Sacarífero: posibilidades industriales, experiencias de campo. Publicación Miscelánea 66. 42 pp.
2. EEAOC (1981). El Alcohol Combustible. Recurso Energético Nacional. Avance Agroindustrial, Año 2, N° 7. 16 pp.
3. EEAOC (1983). Capacidad de producción de biomasa en Tucumán. Publicación Especial N° 1. 91 pp.
4. Scandaliaris, J. y J. Alonso (1983). Insumos Energéticos en el cultivo de la caña de azúcar. RIAT: p 1-13.
5. Olea, I., E. Romero y J. Scandaliaris (1989). Evaluación de técnicas de producción de caña de azúcar según criterios energéticos. RIAT: p 13-28.
6. Romero, E. y J. Scandaliaris (1989). Productividad Energética de algunas especies vegetales, con énfasis en caña de azúcar. RIAT: p 51-70.
7. EEAOC (1985). El Alcohol Combustible en la República Argentina. Publicación Especial N° 8. 79 pp.
8. Sheehan, J. (1998). An overview of Biodiesel and Petroleum Diesel Life Cycles. 47 pp. <http://www.dpe.gov/bridge>
9. Macedo, I. C. (2004). Ethanol LCA. www.unica.com.br/i_pages/files
10. CIEMAT (2005). 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. 112 pp.
11. CIEMAT (2006). Análisis del Ciclo de Vida comparativo de Combustibles Alternativos para el Transporte. Fase II. Análisis del Ciclo de Vida comparativo del Biodiesel y del Diesel. 139 pp.
12. UBA (2006). Análisis del Ciclo de Vida en la Producción de Biodiesel de Soja en Argentina
13. Denoia, J.; Vilche, M.; Montico, S.; Tonel, B. y Di Leo, N. (2006). Análisis descriptivo de la evolución de los modelos tecnológicos difundidos en el Distrito Zavalla (Santa Fé) desde una perspectiva energética. Ciencia y Tecnología N° 33. Año XVII