

Original

Balance energético de la preparación del suelo para el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.)

Energetic balance of soil preparation for cultivation the sugar cane (*Saccharum Officinarum* L.)

Lourdes Beatriz Fernández de Moya, estudiante de 5to año del Grupo científico de Laboreo del Suelo y Energía Agrícola de la carrera de Ingeniería Agrícola, Departamento de Ingeniería Agrícola, Universidad de Granma, Cuba,

lbeatrizf@estudiantes.udg.co.cu

Dr. C. Yosvel Enrique Olivet Rodríguez, Prof. Titular e Inv. de la Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad de Granma, Cuba, yolivetr@udg.co.cu

Recibido: 15 de mayo de 2019 / Aceptado: 23 de agosto de 2019

Resumen

El trabajo se realizó en la Unidad Empresarial de Base (UEB) Estación Territorial de Investigación de la Caña de Azúcar (ETICA) Oriente Sur, Los Coquitos, Palma Soriano, provincia de Santiago de Cuba, durante el mes de mayo julio del año 2018. El mismo se llevó a cabo con objetivo de evaluar el balance energético de la preparación del suelo para el cultivo de la caña de azúcar, teniendo en cuenta el consumo de energía de uso directo e indirecta y la energía de entrada del proceso (*Input*). Teniendo como resultados un consumo de energía de uso directo de 3 176,8 MJ ha⁻¹, desatancándose la labor de rotura con mayor consumo respecto a las demás actividades realizadas (cruce, primera y segundo pase de grada de discos). La energía asociada al uso de la maquinaria fue de 525,6 MJ·ha⁻¹, donde los valores de la productividad de trabajo influyeron manteniéndose la labor de rotura con el mayor consumo de energía. La energía total de entrada (*Input*) fue de 3702,4 MJ·ha⁻¹.

Palabras claves: energía de uso directo e indirecto; energía de entrada; productividad de TRABAJO

Abstract

The work was carried out in the Base Business Unit (UEB) Territorial Research Station of Sugar Cane (ETICA) South East, Los Coquitos, Palma Soriano, province of Santiago de Cuba, during the month of May, July 2018. It was carried out with the objective of

evaluating the energy balance of soil preparation for the cultivation of sugar cane, taking into account the consumption of direct and indirect use energy and the input energy of the process (*Input*). Having as a result a consumption of energy of direct use of 3 176.8 MJ·ha⁻¹, untangling the work of breaking with greater consumption with respect to the other activities carried out (crossing, first and second pass of disc harrow). The energy associated with the use of the machinery was 525.6 MJ·ha⁻¹, where the values of labor productivity influenced the breaking work with the highest energy consumption. The total input energy (*Input*) was 3702.4 MJ·ha⁻¹.

Key words: direct and indirect use energy; input energy; work productivity

Introducción

La crisis energética ha motivado un descenso en la demanda alimentaria (Vázquez Milanés *et al.*, 2012), por lo que para implementar políticas encaminadas a lograr un desarrollo sostenible resulta de vital importancia la integración de los conceptos de alimentación y energía. La necesidad actual de tener una agricultura totalmente moderna y sostenible, ha conllevado la necesidad de aplicar diferentes técnicas de laboreo con vista a aumentar los rendimientos agrícolas en cantidades considerables que satisfaga la demanda del país y de las exportaciones.

Los tractores y máquinas agrícolas tienen un alto costo de adquisición y operación en términos monetarios y energéticos. Varias investigaciones han concluido que el costo energético por concepto de combustible y máquinas representa un alto porcentaje del costo energético total de producción en la agricultura (Fluck, 1992; de las Cuevas *et al.*, 2004; Paneque y Soto, 2007). Todo esto es necesario dominarlo en cualquier sistema de producción debido a que la utilización de máquinas y equipos agrícolas, cuando se realiza de manera adecuada presenta ventajas como: mayor rendimiento operacional, facilita el trabajo del hombre, posibilita la expansión del cultivo y atender el cronograma de actividades en tiempo (Ibáñez y Rojas, 1994). Si se analiza la relación entre el valor energético de la biomasa contenida en la caña de azúcar y la energía necesaria para su cultivo y cosecha, calculada para una agricultura cañera con altos niveles de fertilización, uso de riego y cosecha mecanizada se obtiene una relación de 20 a 1 (López y De Armas, 1980).

La demanda de energía en la agricultura ha aumentado considerablemente desde la

finalización de la segunda guerra mundial por efecto de la creciente mecanización de los cultivos y por la introducción de variedades altamente productivas (Canakci y Akinci, 2006). En los sistemas de producción agrícola mecanizados, la labranza constituye una de las actividades que más consumo de energía requiere. Actualmente, los sistemas de labranza tradicionales presentan un consumo de combustible de 60 a 80 L·ha⁻¹, mientras que los sistemas de labranza reducida pueden llegar a suponer un ahorro significativo en términos de energía sin poner en riesgo la productividad de los cultivos (Lal *et al.*, 1990). El combustible que se consume al realizar una determinada labor de cultivo depende de una serie de variables entre las que podemos destacar el tipo de suelo y su estado o condición en el momento de ser labrado, la potencia del tractor, el apero utilizado y la profundidad en que trabaja (Aliaga, 2012). Sin embargo, existen condiciones para mejorar este incremento de manera sostenible.

La agricultura cañera trae consigo un alto consumo de energías relacionadas fundamentalmente con los gastos de combustibles y lubricantes (Paneque y Prado, 2005), así como la energía invertida en el trabajo humano y para la fabricación de abonos y alcanzar nuevas metas en este campo (Atencio, 2011).

En Cuba, a pesar de los avances en materia de laboreo, aún prevalece la tecnología tradicional. Durante años muchos investigadores han planteado disímiles criterios en favor de la sustitución de esta tecnología por prácticas de laboreo que conduzcan a una mejor conservación del suelo, logrando reducir significativamente los procesos que degradan el medio (compactación, erosión, pérdida de la materia orgánica), y las pérdidas de suelo de 25 - 30 %, en comparación con la labranza tradicional.

Hoy en día la preparación de suelo es una de las actividades más usadas por el hombre para el control de las malezas y la creación de un lecho de siembra apropiado para las futuras plantas. El empleo de las máquinas agrícolas depende de las condiciones del suelo. Los trabajos mecanizados crean las condiciones para el desarrollo de la producción agrícola, además facilitan el trabajo y lo hacen más rentable (Olivet y Cobas, 2017).

La utilización de máquinas y equipos agrícolas, cuando se realiza de manera adecuada presenta ventajas como: mejorar el rendimiento operacional, facilitar el trabajo del hombre del campo, posibilitar la expansión del cultivo y atender el cronograma de

actividades en el tiempo disponible (Paneque *et al.*, 2002). Lo más importante para lograr la eficiencia energética de una empresa no es solo tener un plan de ahorro de energía, sino que exista un sistema de gestión energética que garantice que ese plan sea renovado cada vez que sea necesario. El objetivo del trabajo es evaluar el balance energético en la preparación del suelo para el cultivo de la caña de azúcar en la Unidad Empresarial de Base (UEB) Estación Territorial de Investigación de la Caña de Azúcar (ETICA) Oriente Sur.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en el área experimental para la siembra de caña de azúcar de la Estación Territorial de Investigación de la Caña de Azúcar Oriente Sur (ETICAO.S). La misma está ubicada en la carretera central km 2, Los Coquitos, Palma Soriano, Santiago de Cuba, con un área total de 18,14 ha y cultivable 12,26 ha (Figura 1). Se realizó con el objetivo de determinar el balance energético de la preparación de suelo para el cultivo de la caña de azúcar, teniendo en cuenta cada una de las actividades siguientes: rotura y cruce con arado discos ADI-3M y tractor MTZ-80, 1^{er} y 2^{do} gradeo con grada de discos G-965 kg y tractor MTZ-80. Las variables de estudio fueron: consumo de energía directa e indirecta y el consumo de energía total (*Input*) para las labores de preparación del suelo, mediante la metodología propuesta por Bowers (1992), en el cual se calcula la energía total consumida ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$), teniendo en cuenta las energías de uso directo e indirecto.



Figura 1. Localización de la Estación Territorial de Investigación de la Caña de Azúcar Oriente Sur.

Metodología de cálculo para el balance energético

Para el cálculo del balance energético de las diferentes labores, se tuvo en cuenta la metodología propuesta por Bowers, (1992). Para ello se contabiliza, por un lado, la energía directa e indirecta de los insumos consumidos en cada una de las labores.

1. Energía directa (E_d) incluye aquella que está asociada al consumo de combustible, y mano de obra empleada en diferentes labores:

a) Energía asociada al consumo de combustible (E_{dc}) ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)

$$E_{dc} = C_c E_{eg} \quad (1)$$

donde:

C_c , es el consumo de combustible ($\text{L}\cdot\text{ha}^{-1}$)

E_{eg} , es el equivalente energético del gasóleo ($41 \text{ MJ}\cdot\text{L}^{-1}$) (de la Figal *et al.*, 2012)

b) Energía asociada con la mano de obra empleada (E_{dh}) ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)

$$E_{dh} = \frac{E_h n_{ob}}{C_{tob}} \quad (3)$$

donde:

E_h , es el equivalente energético del trabajo humano (1,96 para el hombre) (Mandal *et al.*, 2002)

n_{ob} , es la cantidad de obreros que participan en una determinada labor

C_{tob} , es la capacidad de trabajo de los obreros agrícolas ($\text{ha}\cdot\text{h}^{-1}$)

1. Energía indirecta (E_i) es aquella que se emplea en la utilización de la maquinaria y de los factores de producción, esto es:

a) Energía de uso indirecto asociada a la utilización de la maquinaria (E_{imq}) ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)

$$E_{imq} = \frac{m_{eq} [E_f (1 + (E_r / 100)) + E_t]}{V_u} \times \frac{10}{a_t v_{tr}} \quad (5)$$

donde:

E_f , es el factor energético debido a la fabricación del equipo ($87 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) (Bowers, 1992)

E_r , es el factor energético en reparación y mantenimiento (%)

E_t , es el factor energético debido al transporte del equipo desde fábrica ($88 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) (Bowers, 1992)

M_{eq} , es la masa del equipo (kg)

V_u , es la vida útil del equipo (h)

a_t , es la anchura de trabajo del equipo (m)

V_{tr} , es la velocidad real de trabajo ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)

Los valores del factor energético correspondiente a reparación y mantenimiento de los diferentes equipos mecánicos utilizados, junto con sus correspondientes vidas útiles, están recogidos en la Tabla.1

Tabla 1. Factores de conversión

Equipos	Energía de reparación (%)	Fuente:	Vida útil (h)	Fuente:
Tractor	49	(Bowers, 1992)	12 000	(Ponvert y Lau, 2013)
Grada de discos	61	(Bowers, 1992)	6 000	(Cadena-Zapata <i>et al.</i> , 2004)
Arado ADI-3M	97	(Guzmán <i>et al.</i> , 2002)	6 000	(Cadena-Zapata <i>et al.</i> , 2004)

2. Energía del proceso

a) Energía total consumida (*Input*) (I_{ecs}) ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)

$$I_{ecs} = E_d + E_i$$

Análisis y discusión de los resultados

Energía de uso directo

En la siguiente Tabla 2, se muestra la energía de uso directo que se consume en cada una de las labores realizadas, para un consumo total de $3187,9\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. La energía total directa se encuentra en por debajo en un 76 % a la energía alcanzada por Olivet (2017), al evaluar la preparación del suelo para el cultivo de frijol, para una energía directa de $13\,539,33\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, donde intervienen: el consumo de combustible y la mano de obra. Siendo la labor de rotura, la actividad de mayor consumo de $5\,170,56\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Los resultados expuestos en la Tabla 2 son inferiores a los obtenidos por (Olivet, 2017).

Tabla 2. Consumo de energía de uso directa ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Labores	Combustible	Humana	Total
Rotura	1 271,0	4,3	1275,3
Cruce	779,0	4,0	783,0

1 ^{er} Gradeo	574,0	1,70	575,7
2 ^{do} Gradeo	514,2	1,6	515,8
Total	3 176	11,9	3187,9

De todo este consumo se destaca la labor de rotura con el mayor consumo de energía de uso directo con 1 275,3 MJ·ha⁻¹ con relación a las restantes labores. La labor de rotura consume el 60 % de la energía total con relación al uso del combustible(Figura 2). E las restantes labores el uso del combustible representa entre 25 y el 16 % respectivamente. El resultado energético del uso del combustible es inferior a los alcanzado por Bailey *et al.* (2003) y Paneque y Soto (2007), haciendo uso de los arados de vertederas y de discos respectivamente.

Es evidente que el uso de la maquinaria y el consumo de combustible representan el mayor porcentaje de consumo de energía (Fluck, 1992; Hetz y Barrios, 1997; Álvarez *et al.*, 2006).

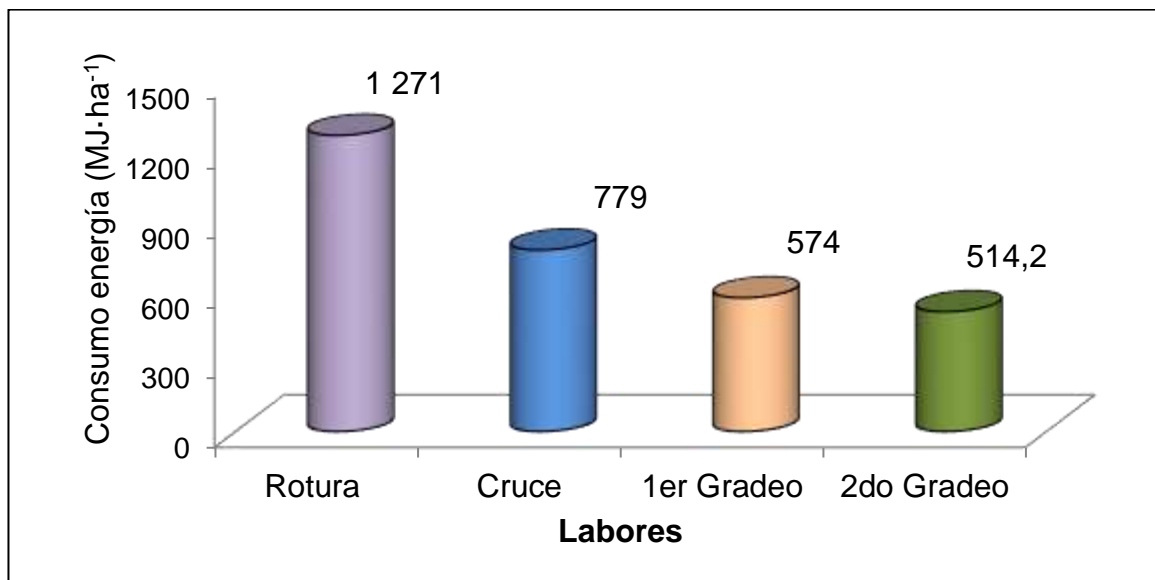


Figura 2. Energía asociada al consumo del combustible.

Energía de uso indirecto

Al analizar la energía de uso, la actividad de rotura es la que muestra el mayor consumo de esta energía 187 MJ ha⁻¹, superando a los valores obtenidos por las restantes labores. En este indicador la productividad de trabajo influyó, los valores obtenidos fueron de 0,45

ha·h⁻¹ para la rotura 1,15 ha·h⁻¹ para el 1^{er} gradeo 0,48 ha·h⁻¹ para el cruce y 1,2 ha·h⁻¹ para el 2^{do} gradeo. La energía total de uso indirecto fue de 525,6 MJ·ha⁻¹. Esta energía, comparada con la energía indirecta alcanzada por Olivet (2017), en la preparación de suelo en el cultivo del frijol fue mayor debido al uso de la maquinaria. Donde la labor de rotura, mostró el mayor consumo de energía (163,58 MJ·ha⁻¹), con relación a las labores restantes.

Energía total de entrada (*Input*)

La energía total del proceso es el producto de la suma de la energía de uso directo e indirecto se caracteriza por la energía de entrada (*Input*), tal y como se muestra en la Figura 3. Donde la energía total de entrada ES de 3 702,43 MJ·ha⁻¹, donde la labor de rotura ocupa el 40 % del total de la energía consumida inferior a los valores obtenidos por Olivet (2017) y Rodríguez (2016) en la preparación de suelo para el cultivo del frijol.

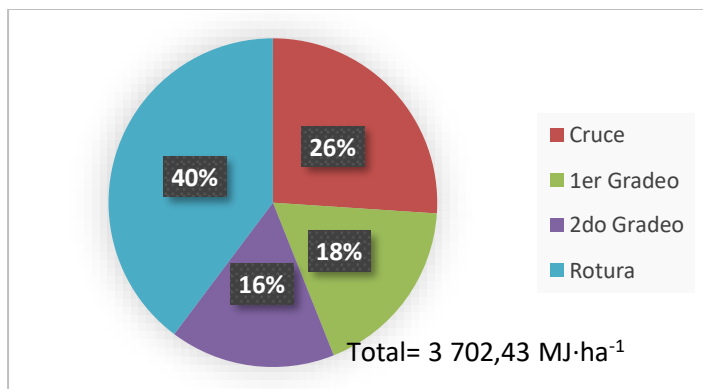


Figura 3. Consumo de energía total *Input*.

Conclusiones

1. La energía de uso directo alcanzó un valor de 3 187,9 MJ ha⁻¹, destacándose la labor de rotura con el mayor consumo de energía de uso directo
2. El consumo de energía indirecta fue de 525,6 MJ ha⁻¹, siendo la labor de rotura la actividad que más contribuyó al consumo de energía con 187 MJ ha⁻¹
3. La energía de total (*Input*) tuvo un comportamiento de 3 702,4 MJ ha⁻¹, manteniéndose la actividad de rotura con el mayor consumo de energía.

Referencias bibliográficas

Aliaga, M. (2012). *Balance energético de tres unidades productoras de caña de azúcar de la UEB atención a los productores "Grito de Yara"*. (Trabajo de Diploma),

- Universidad de Granma, Facultad de Ciencias Técnicas.
- Álvarez, R. L., Paneque, R. P., Álvarez, O. y Brizuela, S. M. (2006). Costo energético de las operaciones de siembra más comunes en Cuba. *IIMA. MINAG. Cuba*.
- Atencio, E. (2011). *Evaluación de algunos índices tecnológicos-explotativos y energéticos durante las operaciones de labranza para el cultivo del King Grass (Pennisetum purpureun cv.)*. (Trabajo de Diploma), Universidad de Granma, Departamento de Ingeniería Agrícola.
- Bailey, A. P., Basford, W. D., Penlington, N., Park, J. R., Keatinge, J. D. H., Rehman, T., . . . Yates, C. M. (2003). A comparison of energy use in conventional and integrated arable farming systems in the UK. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 97(1), 241-253.
- Bowers, W. (1992). Agricultural field equipment. In: Fluck, R.C. (Ed.), *Energy in World Agriculture. Energy in Farm Production. Elsevier, Amsterdam*, 6, 117-129.
- Cadena-Zapata, M., Gaytán-Muñiz, T. y Zermeño-González, A. (2004). Desempeño de implementos de labranza en términos de consumo de energía y calidad de trabajo. *Revista Agraria-Nueva Epoca-Año I- Vol, 1(3)*.
- Canakci, M. y Akinci, I. (2006). Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production. *Energy*, 31(8), 1243-1256.
- de la Figal, A. E., Valdés, Y. y Vargas, J. (2012). Evaluación de los gastos de explotación, económicos y energéticos en la labor de cultivo del frijol, tomate y papa comparando el tractor YUMZ-6M con yunta de bueyes. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(3), 62-68.
- de las Cuevas, M. H., Hernández, H. R., Rodríguez, T. y Paneque, P. (2004). La labranza consevacionista y sus gastos energéticos. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 13(2).
- Fluck, R. C. (1992). Energy Analysis of Agricultural Systems. *Energy in World Agriculture*, 6, 45-52.
- Hetz, E. J. y Barrios, A. I. (1997). Costo energético de las operaciones agrícolas mecanizadas más comunes en Chile. *Agro sur*, 25(2), 146-161.
- Lal, R., Eckert, D. J., Fausey, N. R. y Edwards, W. M. (1990). Conservation tillage in sustainable agriculture. In: C. A. Edwards, R. Lal, P. Madden, R. H. Miller and G.

- House (Editors), Sustainable Agriculture Systems. *Soil and Water Conservation Society, Iowa, USA, 203-225.*
- Mandal, K. G., Saha, K. P., Ghosh, P. K., Hati, K. M. y Bandyopadhyay, K. K. (2002). Bioenergy and economic analysis of soybean-based crop production systems in central India. *Biomass and Bioenergy*, 23(5), 337-345.
- Olivet, Y. E. (2017). Balance energético de la preparación del suelo para el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *REDEL. Revista Granmense de Desarrollo Local*, 1(3), 144-145.
- Olivet, Y. E. y Cobas, D. (2017). Efecto de dos sistemas de labranza mínima sobre la porosidad de un *Fluvisol* para cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *REDEL. Revista Granmense de Desarrollo Local*, 1(1), 13-21.
- Paneque, P., Fernández, H. C. y de Oliveira, A. D. (2002). Comparación de cuatro sistemas de labranza/siembra en relación con su costo energético. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 11(2), 1-6.
- Paneque, P. y Prado, Y. (2005). Comparación de tres sistemas agrícolas en el cultivo del frijol. *Agricultura Conservacionista. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 14(3).
- Paneque, P. y Soto, L. D. (2007). Costo energético de las labores de preparación de suelos en Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 6(4), 17-21.
- Ponvert, D. y Lau, A. (2013). Uso de las imágenes de satélites y los SIG en el campo de la Ingeniería Agrícola. *Revista Ciencias Técnicas Agro-pecuarias*, 22(4), 75-80.
- Rodríguez, L. (2016). *Balance energético para el cultivo del frijol (Phaseolus vulgaris L.) en la Unidad Básica de Producción Cooperativa "14 de Junio"*. (Trabajo de Diploma, curso 2015-2016), Universidad de Granma, Facultad de Ciencias Técnicas.
- Vázquez Milanés, H. B., Parra Serrano, L. R., Sánchez-Girón Renedo, V. M. y Ortiz Rodríguez, A. (2012). Análisis de la productividad y el consumo de combustible en conjuntos de labranza en un fluvisol para el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta*, Crantz). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(2), 38-41.