

Evaluación energética de la producción de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.)

(Original)

Energy evaluation of sugar cane production (*Saccharum officinarum* L.) (Original)

Yosvel Enrique Olivet Rodríguez. Ingeniero Agrícola. Doctor en Ciencias Técnicas

Agropecuarias. Profesor Titular. Universidad de Granma. Bayamo. Granma. Cuba.

yolivetr@udg.co.cu 

Luis Delmis Pérez Soto. Ingeniero Agrícola. Doctor en Ciencias Agropecuarias. Profesor

Titular. Universidad de Granma. Bayamo. Granma. Cuba. lperezs@udg.co.cu 

Daimara Cobas Hernández. Licenciada en Lengua Inglesa con segunda Lengua Extranjera.

Profesor Auxiliar. Universidad de Granma. Bayamo. Granma. Cuba. dcobash@udg.co.cu 

Elizabet González Verales. Estudiante de 4to año de la carrera de Ingeniería en Procesos

Agroindustriales. Universidad de Granma. Bayamo. Granma. Cuba. egonzalesv@udg.co.cu 

Recibido: 07-03-2024/Aceptado: 18-05-2024

Resumen

La investigación se desarrolló en la Unidad Básica de Producción Cooperativa 26 de Julio, perteneciente al municipio Songo-La Maya, provincia Santiago de Cuba. Dicha entidad se encuentra dedicada al cultivo de la caña de azúcar y el estudio desarrollado en ella tuvo el objetivo de evaluar el consumo y costo energético de la preparación del suelo para este cultivo. Con ese fin se tuvieron en cuenta las energías directa, indirecta y de entrada. Los datos obtenidos permitieron hacer un análisis de varianza (ANOVA) de clasificación simple, empleando el paquete estadístico STATISTICA, con la prueba de LSD de Fisher para una probabilidad $p < 0,95$. Como resultado se obtuvo que el uso del tractor MTZ-80, con el arado de discos ADI-3M,

presentó un consumo de energía directa de $1\ 271\ \text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ para el uso del combustible y de $106,53\ \text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ de energía indirecta para el uso de la maquinaria agrícola. El análisis de Pareto demostró que en la Unidad se deben concentrar los esfuerzos en reducir el consumo de energía en la actividad de rotura y cruce del suelo, que es donde se tiene un mayor consumo de combustible y energía humana.

Palabras clave: caña de azúcar; balance energético; gasto directo de explotación; preparación del suelo.

Abstract

The research was carried out in the 26 de Julio Cooperative Basic Production Unit, belonging to the Songo-La Maya municipality, Santiago de Cuba province. This entity is dedicated to the cultivation of sugar cane and the study developed in it had the objective of evaluating the energy consumption and cost of soil preparation for this crop. For this purpose, direct, indirect and input energies were taken into account. The data obtained allowed an analysis of variance (ANOVA) of simple classification, using the STATISTICA statistical package, with Fisher's LSD test for a probability $p<0.95$. As a result, it was obtained that the use of the MTZ-80 tractor, with the ADI-3M disk plow, presented a direct energy consumption of $1\ 271\ \text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ for the use of fuel and $106,53\ \text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ of indirect energy for the use of agricultural machinery. The Pareto analysis showed that the Unit should concentrate its efforts on reducing energy consumption in the activity of breaking and crossing the soil, which is where there is the highest consumption of fuel and human energy.

Keywords: sugar cane; energy balance; direct operating costs; soil preparation.

Introducción

El nivel de desarrollo tecnológico alcanzado por la agricultura azucarera que se practica

está condicionado, en gran medida, por la cantidad de energía que se consume por unidad de superficie cultivada. Actualmente, la producción del cultivo de la caña de azúcar requiere de una cierta cantidad de energía para garantizar una producción determinada (Damanauskas & Janulevičius, 2022) y demanda gran cantidad de maquinaria agrícola, fuerza humana y un paquete tecnológico para su fomento. El uso de la maquinaria está presente en las labores de acondicionamiento y preparación del terreno para el trasplantes de la semilla de caña; también, en las atenciones culturales, de cosecha y en la transportación de esta hacia el ingenio, donde es procesada, todo lo cual motiva un elevado consumo y costo energético en el tránsito hasta la obtención del azúcar (Nejad et al., 2023).

En el desarrollo de las plantaciones de azúcar, se emplean grandes cantidades de fertilizantes, pesticidas y herbicidas con el objetivo de alcanzar producciones con buena calidad, además de la presencia de sistemas de riego. Todo esto para ser movido y utilizado requiere tanto del combustible como de la fuerza humana, elementos indispensables para garantizar producciones capaces de satisfacer la demanda de la población.

En su afán de tener un suelo con buenas condiciones para depositar la semilla, se realiza una preparación del suelo con arados y gradas de discos o en algunos de los casos se emplean sistemas de labranza mínima o cero laboreo, los cuales aplican herbicidas para el control de las plantas ajenas al cultivo principal, la caña de azúcar. Estos permiten, en un periodo corto, dejar el terreno listo o realizar la plantación como tal. En cualquiera de los casos se tiene un consumo de energía por el empleo de la maquinaria agrícola, los herbicidas, el trabajo humano, el combustible y los lubricantes (Figueredo et al., 2023).

Si bien la caña de azúcar es un cultivo noble, esta demanda de gran cantidad de energía de uso directo e indirecto; actualmente los consumos de energía de entrada (*input*) son mayores

que la energía de salida (*output*), debido a los bajos rendimientos agrícolas que presentan los campos de caña, aspecto que se estima entre las 200 y 300 t·ha⁻¹. Se hace necesario, entonces, establecer un análisis que permita identificar y cuantificar la cantidad de energía asociada a los equipos e insumos que intervienen en las actividades agrícolas para lograr alcanzar producciones eficientes mediante el uso racional de los portadores energéticos, de la maquinaria y de los insumos.

La aplicación de métodos y herramientas para mejorar el consumo de energía es una tarea de gran importancia, ya que el uso de los combustibles y la maquinaria empleada representan un alto porcentaje del costo energético total de cualquier cultivo. Existen formas para mejorar el consumo de energía de manera sostenible, pero los productores cañeros se aferran a seguir imponiendo sus tradicionales, métodos de preparación de suelo y siembra, sin tener en cuenta las especificaciones agro-técnicas del cultivo, el consumo energético y los gastos económicos que estos generan (Valdés et al., 2022). En Cuba, la labranza del suelo para el cultivo de la caña de azúcar se hace con el arado y la grada de discos, por lo que se encarece el proceso de labranza (González, 2022).

Teniendo en cuenta todo lo abordado, lo más importante para lograr la eficiencia energética de una empresa no es solo tener un plan de ahorro de energía, sino hacer un uso racional y adecuado de los portadores energéticos, la maquinaria agrícola, los insumos y la fuerza humana, fomentando nuevos hábitos de producción y consumo en función de la eficiencia, a través del control y el autocontrol de los procesos productivos que se realizan.

Granma es una de las provincias más limitadas en cuanto a sus recursos financieros, con baja capacidad de inversión en el sector cañero del territorio, manteniendo en este sistema productivo los mismos métodos y sistemas de máquinas con baja capacidad de renovación, lo

cual ha facilitado un incremento del consumo de portadores energéticos (Valdés et al., 2022). Es por eso que se hace necesario garantizar las producciones venideras con un consumo mínimo de portadores energéticos, con la adecuada eficiencia energética como una vía para el crecimiento de la economía del territorio. Teniendo en cuenta este análisis, se plantea como objetivo evaluar el consumo y costo energético de la preparación del suelo para el cultivo de la caña de azúcar en la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) 26 de Julio.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en la UBPC 26 de Julio, perteneciente al municipio Songo-La Maya, provincia Santiago de Cuba. Dicha entidad se encuentra dedicada al cultivo de la caña de azúcar, con un área total 19,12 ha; de ellas, 13,22 ha son cultivables, ubicadas sobre un vertisol, según clasificación de Hernández et al. (2019). Se tuvieron en cuenta para el estudio las energías directa, indirecta y de entrada (*input*). Los datos obtenidos permitieron hacer un análisis de varianza (ANOVA) de clasificación simple con el paquete estadístico STATISTICA (Statsoft, 2003) con la prueba de LSD de Fisher para una probabilidad $p<0,95$.

Determinación del balance energético

Para calcular el balance energético de las diferentes labores, se tuvo en cuenta la metodología propuesta por Bowers et al. (1992). Para ello, se contabilizaron las energías directa e indirecta de los insumos consumidos en cada una de las labores.

La energía directa (E_d) incluye aquellas energías que están asociadas al consumo de combustible, electricidad y mano de obra empleada en las diferentes labores:

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

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

Donde:

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

E_{eg} , es el equivalente energético del gasóleo ($41 \text{ MJ}\cdot\text{L}^{-1}$) (Saunders et al., 2006, p.41).

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

$$E_{dh} = \frac{E_h \cdot n_{ob}}{C_{tob}} \quad (2)$$

Donde:

E_h , es el equivalente energético del trabajo humano ($1,96 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ para el hombre)

(Martínez et al., 2020, p.1034);

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

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

En la energía indirecta (E_i) se incluyen la utilización de la maquinaria y de los factores de producción:

a) Energía de uso indirecto asociada al empleo de la maquinaria (E_{inq}) ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$).

$$E_{inq} = \frac{m_{eq}[E_f(1+(E_r/100))+E_t]}{V_u} \times \frac{10}{a_t v_{tr}} \quad (3)$$

Donde:

E_f , es el factor energético relacionado con la fabricación del equipo ($87 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) (Bowers et al., 1992, p.42);

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

E_t , es el factor energético relacionado con el transporte del equipo desde la fábrica ($88 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$);

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

V_u , es la vida útil del equipo (h);

a_t , es el ancho de trabajo del equipo (m);

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

Los valores del factor energético correspondientes a la reparación y al mantenimiento de los equipos mecánicos utilizados, junto con sus respectivas vidas útiles y los factores de conversión en energía, están recogidos por Bowers et al. (1992).

Energía total del proceso:

- a) Energía total (*input*) consumida en el proceso de labranza (MJ·ha⁻¹).

$$E_{Input} = E_d + E_i \quad (4)$$

Determinación del costo energético

El costo energético se determinó teniendo en cuenta la energía secuestrada en los materiales de fabricación y transporte, en el uso del combustible y lubricantes, en la reparación y mantenimiento y en la mano de obra, establecida por Valdés et al. (2022, p. 8). Los costos energéticos totales de la operación agrícola mecanizada se calculan según la ecuación (5).

$$EST = ES_m + ES_c + ES_l + ES_{mr} + ES_{mo} \quad (5)$$

Donde:

EST, costo energético total de la operación agrícola mecanizada (MJ·h⁻¹);

ESm, energía secuestrada en los materiales, la fabricación y el transporte (MJ·h⁻¹);

ESc, energía secuestrada en el combustible (MJ·h⁻¹);

ESl, energía secuestrada en lubricante (MJ·h⁻¹);

ESmr, energía secuestrada en la reparación y/o mantenimiento (MJ·h⁻¹);

ESmo, energía secuestrada en la mano de obra (MJ·h⁻¹).

- a) La energía secuestrada en los materiales, la fabricación y el transporte (*ESm*).

$$ESm = \frac{G_t \cdot EUt}{VUt} + \frac{Gm \cdot EUm}{VUm} \quad (6)$$

Donde:

Gt, *Gm*, masa constructiva del tractor y la máquina agrícola respectivamente (kg);

EUt , EUm , energía por unidad de masa constructiva del tractor y de la máquina agrícola respectivamente ($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$);

VUt , VUm , vida útil del tractor y de la máquina agrícola respectivamente (h).

b) La energía correspondiente al combustible utilizado (ESc) se calculó con el estándar propuesto por Valdés et al. (2022, p.8).

$$ESc = gh \cdot E_{eq} \quad (7)$$

Donde:

g_e , consumo específico de combustible ($\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$);

E_{eq} , energía equivalente del combustible ($\text{MJ}\cdot\text{L}^{-1}$).

c) La energía correspondiente a lubricantes/filtros (ESl) y a reparaciones/mantenimiento ($ESmr$), se calculó por lo establecido por Trujillo & Pantoja (2021, p. 59), el 5 % de la energía del combustible y el 129 % de la energía correspondiente a materiales/fabricación, respectivamente.

$$ESl = 0,05 \cdot ESc \quad (8)$$

$$ESmr = 1,29 \cdot ESm \quad (9)$$

d) El gasto energético de la mano de obra ($ESmo$) para un turno de 8 h.

$$e) \quad ESmo = n_{ob} \cdot E_h \quad (10)$$

Donde:

n_{ob} , número de operadores;

E_h , equivalente energético de un obrero, $\text{MJ}\cdot\text{h}^{-1}$.

Determinar el gasto directo de explotación

$$Ce = Cs + Cc + Cme + Ca + Cm + Caux \quad (11)$$

Donde:

C_s, Salario del personal que trabaja con el agregado;

C_c, costo del combustible y del lubricante;

C_{me}, costo de otros materiales de explotación;

C_a, descuento de amortización;

C_m, el costo de los mantenimientos, las reparaciones y la conservación.

Análisis y discusión de los resultados

Energía de uso directo

En la Tabla 1 se muestra el consumo de energía de uso directo destinada a la preparación del suelo para el cultivo de la caña de azúcar en la UBPC, para lo cual se aprecian diferencias significativas en el consumo de combustible. La actividad de rotura con el tractor MTZ-80 y el arado de discos ADI-3M presentan un consumo de $1\ 271\text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, superando entre 38,7 y 59,5 % a los valores de energía alcanzados en la labor de cruce, con $779\text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$; en el primer y segundo gradeo con 574 y $514,2\text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ respectivamente, con lo que se alcanza una media de $784,55\text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. En la actividad de primer y segundo gradeo no se aprecian diferencias significativas.

Al analizar la energía humana en el proceso de preparación del suelo, se observa que en la actividad de rotura y cruce es donde se obtiene el mayor consumo de energía, 4,3 y $4,0\text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, estando la actividad de rotura y cruce a un 60,5 % por encima de las actividades de gradeo, con una media de $2,9\text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Tabla 1. Consumo de energía directa

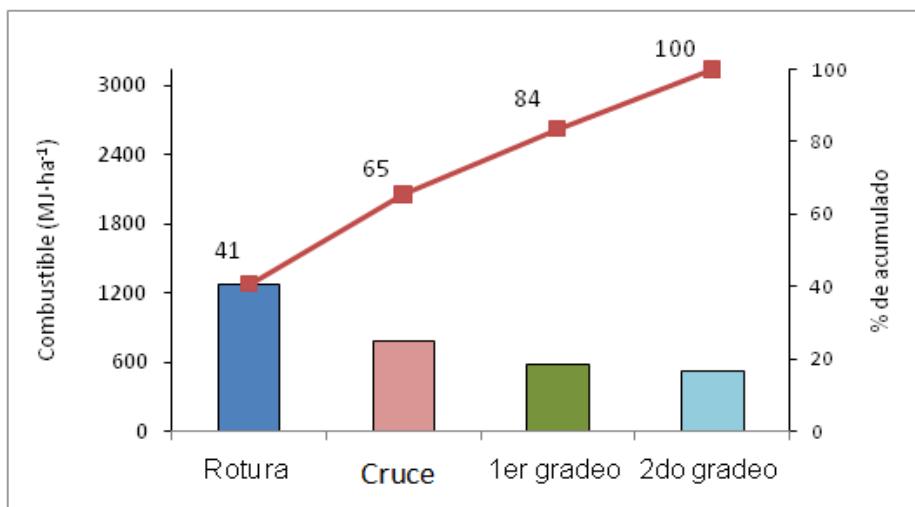
Labores	Combustible ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Humana ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Medias
Rotura	1 271a	4,3a	637,65
Cruce	779b	4,0a	391,5
Primer gradeo	574c	1,7b	287,85
Segundo gradeo	514,2c	1,6b	257,9
Medias	784,55	2,9	

Leyenda: En una misma columna grupos de letras mayúsculas comparan momentos diferentes en un mismo tratamiento para $p<0,95$ mediante la prueba LSD de Fisher.

Fuente: elaboración propia.

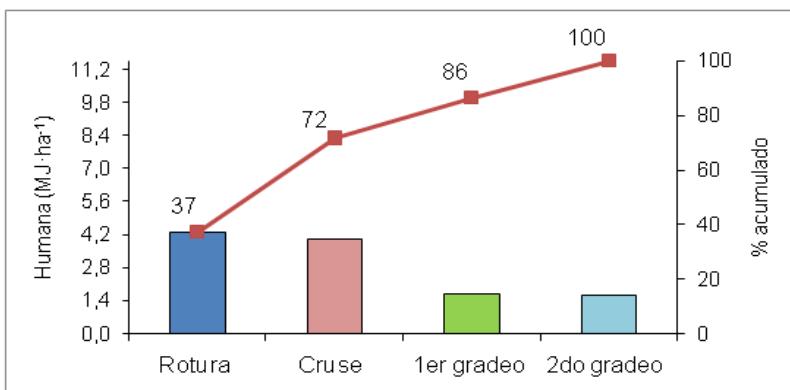
Al realizar el análisis de Pareto (Figura 1), se evidencia que la entidad tiene que concentrar su mayores esfuerzos en reducir el consumo de combustible en la actividad de rotura y cruce con el arado ADI-3, ya que estos procesos representan el 20 % del 80 % del costo energético total y la suma de ambos alcanza el 65 %. Esto puede lograrse a través del empleo de un sistema de máquinas que permita reducir este consumo como es el uso del multiarado, el cual tiene un corte vertical y horizontal del suelo, que permite reducir el consumo de combustible según Hiloidhari et al. (2021) en investigaciones realizadas sobre labranza del suelo.

Figura 1. Diagrama de Pareto para el consumo de combustible



Fuente: elaboración propia.

De igual forma, se observa en la Figura 2 que para el consumo de la energía humana en la actividad de rotura y cruce del suelo es donde se tiene el mayor consumo de energía en la actividad humana empleada, donde se centra el 20 % del 80 % del consumo de esta energía. En la actividad de rotura y cruce del suelo, los operadores realizan un mayor esfuerzo de trabajo; por lo tanto, tienen un mayor gasto de energía con relación a las demás actividades, las que se comportan por debajo.

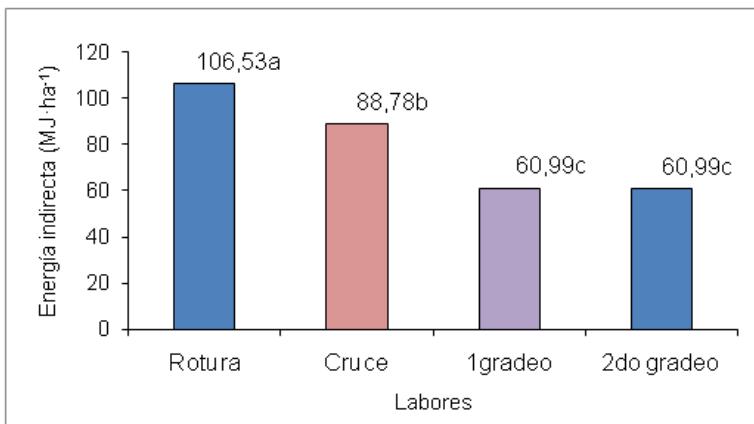
Figura 2. Diagrama de Pareto para el consumo de energía humana

Fuente: elaboración propia.

Energía de uso indirecto

En la Figura 3 se muestra la energía de consumo indirecto referido al uso de la maquinaria en las diferentes labores, donde se demostró que la labor de rotura presenta el mayor consumo de energía de uso indirecto con un valor de $106,53 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, superando en 17 y 43 % a los valores alcanzados en la actividad de cruce y gradeo, respectivamente. La actividad de rotura representa el 34 % del consumo total que se generó en la preparación de suelo con la maquinaria.

Cuando se rotura del suelo con el arado de discos como primera actividad, se tiene un mayor consumo de energía pues el suelo se encuentra compacto, lo que no ocurre en la actividad de cruce y de gradeo, donde el suelo se encuentra más suelto. Se coincide con González (2022) en cuanto al uso de la maquinaria agrícola en la preparación del suelo ya que este consumo de energía indirecta se vio afectado por la compactación del suelo y el tractor requirió de mayor fuerza de tracción para lograr romper la capa arable del suelo, lo que aumentó el patinaje de los neumáticos y produjo una reducción de la velocidad de desplazamiento y de su productividad de trabajo.

Figura 3. Energía de consumo indirecto

Fuente: elaboración propia.

Energía de entrada (input)

La suma de la energía directa y la indirecta permite conocer el consumo de entrada que se requiere para la preparación del suelo, que para el caso que se estudia fue de $3\ 467,09\text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, considerado de bueno con relación a los resultados alcanzados por Olivet (2017) en su estudio sobre la preparación del suelo para diferentes cultivos, en los cuales emplean sistemas de labranza que incluyen el arado y la grada de discos.

Costos energéticos del proceso

En la Tabla 2 se observa el costo energético del proceso, el cual alcanza un costo total de $319,84\text{ MJ}\cdot\text{h}^{-1}$ y muestra diferencias significativas entre los indicadores; la energía secuestrada en la reparación/mantenimiento ($ESmr$) alcanza un valor de $130,48\text{ MJ}\cdot\text{h}^{-1}$, superando en 22,5 % a la energía secuestrada en los materiales, la fabricación, el transporte y el uso de la maquinaria agrícola (ESm), esta con un valor de $101,15\text{ MJ}\cdot\text{h}^{-1}$. También supera en un 41,33 % a la energía secuestrada en el uso del combustible (ESc) más los lubricantes (ESl). Los valores del costo energético se muestran por debajo de los analizados por Valdés et al. (2022) y Rodríguez et al. (2023), al estudiar la preparación del suelo con diferentes aperos de labranza.

Tabla 2. Costo energético del proceso

Indicadores	U/D (MJ·h⁻¹)
<i>ESm</i> -energía secuestrada en los materiales, fabricación y transporte	101,15b
<i>ESc</i> - energía secuestrada en el combustible	76,54c
<i>ESl</i> - energía secuestrada en lubricante	3,827d
<i>ESmr</i> - energía secuestrada en reparación/mantenimiento	130,48a
<i>ESmo</i> - energía secuestrada en mano de obra	7,84d
Media	63,94

Leyenda: En una columna, las cifras seguidas por la misma letra mayúscula no son significativamente diferentes para ($p<0,95$) según la prueba de LSD de Fisher.

Fuente: elaboración propia.

Gastos directos de explotación

Al analizar los gastos de explotación de la preparación del suelo para el cultivo de la caña de azúcar en la UBPC 26 de Julio, estos ascendieron a $3\ 026,24\text{ CUP}\cdot\text{ha}^{-1}$. Este gasto estuvo influido fundamentalmente por el uso de los combustibles, consumo considerado en $77,46\text{ L}$ para la preparación del suelo. Este se valora como alto para las labores realizadas, según el consumo de combustibles planteado por Rodríguez et al. (2023) en el estudio de diferentes fuentes de energías y aperos de labranza.

Conclusiones

1. En la actividad de rotura del suelo, el tractor MTZ-80 con arado de discos ADI-3M presentó un mayor consumo de energía directa para un uso del combustible de $1\ 271\text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ y un consumo de energía indirecta de $106,53\text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$.
2. La preparación del suelo para el cultivo de la caña de azúcar generó un consumo de energía de entrada (*input*) de $3\ 467,09\text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, para un costo energético de $319,84\text{ MJ}\cdot\text{h}^{-1}$.

3. Los gastos directos de explotación en la preparación del suelo ascendieron a 3 026,24 CUP·ha⁻¹.

Referencias bibliográficas

- Bowers, K. T., Keller, J. C., Randolph, B. A., Wick, D. G. & Michaels, C. M. (1992). Optimization of surface micromorphology for enhanced osteoblast responses in vitro. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 7(3). <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1289255/>
- Damanauskas, V. & Janulevičius, A. (2022). Effect of tillage implement (spring tine cultivator, disc harrow), soil texture, forward speed, and tillage depth on fuel consumption and tillage quality. *Journal of Agricultural Engineering*, 53, 1371 <https://doi.org/10.4081/jae.2022.1371>
- Figueredo, J., Olivet, Y. E., Cobas, D. & Ortiz, A. E. (2023). Balance energético para el cultivo de la col (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.)(Original). *REDEL, Revista Granmense de Desarrollo Local*, 7(4), 314-329. <https://revistas.udg.co.cu/index.php/redel/article/view/4120>
- González, J. A. (2022). Propuesta de equipos para la mecanización sostenible del cultivo caña de azúcar bajo principios agroecológicos. *Opuntia Brava*, 14(3), 317-325. <https://opuntiabrava.ult.edu.cu/index.php/opuntiabrava/article/view/1636>
- Hernández, A., Pérez, J. M., Bosch, D. & Castro, N. (2019). La clasificación de suelos de Cuba: énfasis en la versión de 2015. *Cultivos Tropicales*, 40(1). <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v40n1/1819-4087-ctr-40-01-e15.pdf>

- Hiloidhari, M., Banerjee, R. & Rao, A. B. (2021). Life cycle assessment of sugar and electricity production under different sugarcane cultivation and cogeneration scenarios in India. *Journal of cleaner production*, 290, 125170. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125170>
- Martínez, F. B., Guevara, F., La O, M. A., Rodríguez, L. A., Pinto, R. & Aguilar, C. E. (2020). Caracterización de productores de maíz e indicadores de sustentabilidad en Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(5), 1031-1042. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v11n5/2007-0934-remexca-11-05-1031.pdf>
- Nejad, M. S., Almassi, M. & Ghahderijani, M. (2023). Life cycle energy and environmental impacts in sugarcane production: A case study of Amirkabir Sugarcane Agro-Industrial Company in Khuzestan province. *Results in Engineering*, 20, 1015-45. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101545>
- 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. <https://revistas.udg.co.cu/index.php/redel/article/view/420/687>
- Rodríguez, Y., Sosa, S. & García, A. J. (2023). Metodología para la determinación del costo energético en labores de preparación de suelos. *Revista Ingeniería Agrícola*, 13(3), 42-47. <https://www.redalyc.org/journal/5862/586275623007/586275623007.pdf>
- Saunders, C., Barber, A. & Taylor, G. (2006). *Food miles-comparative energy/emissions performance of New Zealand's Agriculture Industry*. https://fruitforum.wordpress.com/wp-content/uploads/2008/02/nz-foodmile-study20062328_rr285_s97601.pdf
- Statsoft. (2003). *Statistica for windows, second*. Versión 8 Statsoft Inc. Tulsa.

Trujillo, Y. M. & Pantoja, L. de la C. (2021). Costo energético de la labranza y siembra para el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris*). *Universidad & Ciencia*, 10(2), 54-69.
<https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/1730/pdf>

Valdés, P. A., Paneque, P., Crespo, P. D. & Gómez, M. V. (2022). Costos energéticos y de explotación del conjunto Tractor MF-275-Cosechadora KUHN MC 90S TWIN de maíz forrajero. *Revista Ingeniería Agrícola*, 12(3).

<https://www.redalyc.org/journal/5862/586272871001/586272871001.pdf>