



Determinación del costo energético de la cosecha mecanizada del arroz

Determination of the energy cost of mechanized harvesting rice

Dr.C. Alexander Miranda-Caballero^I, Dr.C. Pedro Paneque-Rondón^{II}, Ing. Natahali Abram-Ferro^{III},
M.Sc. Yoel Ribet-Molleda^{IV}, Ing. Felipe Santos-González^{IV}

^I Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Unidad Científico Tecnológica de Base “Los Palacios”, municipio Los Palacios, Pinar del Río, Cuba.

^{II} Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

^{III} Instituto de investigaciones de Granos, Artemisa, Cuba.

^{IV} Agroindustrial de Granos “Los Palacios”. Municipio Los Palacios, Pinar del Río. Cuba.

RESUMEN. El previsible agotamiento de los combustibles fósiles y el daño irreversible que se ocasiona al medio ambiente, exige la adopción de nuevas estrategias en materia de energía. El objetivo del presente trabajo fue determinar el costo energético de la cosecha mecanizada de arroz y comparar el costo energético de los distintos anchos de trabajo de las máquinas cosechadoras más utilizadas (CLAAS DOMINATOR y NEW HOLLAND TC 57), en las condiciones de la Empresa Agroindustrial de Granos “Los Palacios”. Los resultados obtenidos posibilitaron conocer la estructura del costo energético total horario para las cosechadoras estudiadas, siendo la energía correspondiente al combustible, la que representa el mayor consumidor de todas las energías parciales con 70% (3 353 MJ/h), seguido de la energía en reparación/mantenimiento con un 15% (719 MJ/h), siendo despreciable lo secuestrado en lubricantes y mano de obra con un 3,4 % (168 MJ/h) y 0,1% (6 MJ/h) respectivamente. Las cosechadoras CLAAS DOMINATOR presentaron el mayor costo energético total por área trabajada (2 596 MJ/ha), pero a la vez alcanzaron el mejor costo energético total por masa cosechada (562 MJ/t), reafirmando que son las más productivas. El costo energético más elevado por combustible consumido lo presentó la cosechadora NEW HOLLAND TC 57 con un 70% del total. Con la aplicación de estos resultados se logra en la Empresa Agroindustrial de Granos “Los Palacios” un ahorro considerable de combustible por campaña y se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero.

Palabras clave: cosechadora, energía, combustible, masa cosechada, productividad.

ABSTRACT. The foreseeable depletion of fossil fuels and the irreversible damage to the environment requires the adoption of new strategies on energy. The aim of this study was to determine the energy cost of mechanized harvesting of rice and compare the energy cost of the most commonly used harvesting machines with different working widths (CLAAS DOMINATOR and NEW HOLLAND TC 57), under the conditions of the Grain Agribusiness Enterprise “Los Palacios”. The results made it possible to know the structure of the total hourly energy cost for the harvester machines studied, being the corresponding fuel energy the one which represents the largest consumer of all partial energies with 70% (3 353 MJ/h), followed by repairing / maintenance energy with 15% (719 MJ/h), being inconsiderable the sequestered in lubricants and workforce with 3.4% (168 MJ/h) and 0.1% (6 MJ / h), respectively. CLAAS DOMINATOR harvester machines had the greatest total energy cost per worked area (2 596 MJ/ha), but they also achieved the best overall energy cost per harvested mass (562 MJ/t), confirming they are the most productive ones. The higher energy cost per fuel consumed corresponded to NEW HOLLAND TC 57 harvester machine with 70% of the total. With the application of these results the Grain Agribusiness Enterprise “Los Palacios” achieve a considerable fuel saving per campaign and greenhouse gases emissions are reduced.

Keywords: harvester machine, energy, fuel, harvested mass productivity.

INTRODUCCION

En nuestro planeta la protección de los recursos naturales tiene por objetivo a corto plazo la disminución del consumo de combustibles fósiles y reemplazarlos por energías alternativas. Los altos costos de los derivados del petróleo en países cuya economía depende de la actividad agrícola han acelerado las investigaciones en el área energética y de explotación de todo tipo de maquinaria.

La evaluación energética es un proceso de análisis que consiste en la identificación y medida de las cantidades de energía secuestrada, asociada a los productos y equipos que intervienen en la producción de un determinado bien. Fluck (1992); Paneque *et al.* (2002); HaciseferoğUllari *et al.* (2003); Ozkan *et al.* (2004), describen una serie de análisis, como son: energía requerida y aportada (Input-Output) y otros procedimientos estadísticos, los primeros consisten en determinar la energía requerida por unidad de un bien, o servicio producido y los otros a partir de datos estadísticos.

Dentro de las investigaciones más actualizadas podemos resaltar: de las Cuevas *et al.* (2009, 2011), todas del tipo teórico-práctico, cuyo objetivo principal están orientadas a evaluar el costo energético de la maquinaria. Los tractores y máquinas agrícolas tienen un alto costo de adquisición y operación en términos monetarios (\$/h, \$/ha) y energéticos (MJ/h, MJ/ha). Por otro lado varias investigaciones han estudiado la eficiencia energética de los distintos sistemas de cultivo, la sostenibilidad en la agricultura, el mantenimiento agrícola al cosechar en suelos intensivamente cultivados, el costo energético por concepto de combustible, que representan un alto porcentaje del costo energético total de la producción en los sistemas de labranza a utilizar en la agricultura empresarial (Rawson y Gómez, 2001; Paneque y Prado, 2005; Meul *et al.*, 2007; Fumagalli *et al.*, 2011; Mohammadhossein *et al.*, 2012).

En Cuba la cosecha del arroz es una operación que se realiza con ayuda de la maquinaria agrícola, lo que representa fuerte inversiones y gastos de combustibles; por tal razón la utilización racional de la energía es vital para asegurar el aumento de la producción de alimentos de forma eficiente y para mejorar la productividad.

Teniendo en cuenta la necesidad de aumentar la eficiencia de uso de la energía en la cosecha mecanizada del arroz el objetivo de este trabajo fue determinar el comportamiento del costo energético de la cosecha mecanizada de arroz y comparar el mismo en los distintos anchos de trabajo de las cosechadoras.

MÉTODOS

Todos los estudios de campo fueron llevados a cabo en la Empresa Agroindustrial de Granos "Los Palacios", la cual está situada en la llanura sur de la provincia de Pinar del Río, específicamente a los 22° 44' de latitud norte y a los 83° 15' de longitud oeste, a 60 m sobre el nivel del mar con pendiente del 1%, en un suelo Hidromórfico Gley Nodular Ferruginoso (Hernández *et al.*, 1999). La investigación se desarrolló durante la campaña de cosecha de arroz 2013...2014.

Se utilizó la metodología para establecer el costo energético de ejecución de las operaciones ejecutadas anteriormente por Paneque *et al.* (2002); Paneque y Prado (2005); Paneque y Soto (2007); Paneque y Sánchez (2006), apoyada por los antecedentes presentados por Stout (1990); Fluck (1992); Hetz y Barrios (1997). Esta metodología determina los costos energéticos totales de la operación agrícola

INTRODUCTION

On the planet the protection of natural resources is aimed at short-term declining in fossil fuels consumption and their replacing with alternative energies. The high cost of petroleum products in countries whose economy depends on agriculture, has accelerated research in the energy and exploitation of all kinds of machinery area. The energy assessment is a process of analysis that implies the identification and measurement of the amounts of sequestered energy associated with the products and equipment involved in the production of a particular good. Fluck (1992); Paneque *et al.* (2002); HaciseferoğUllari *et al.* (2003); Ozkan *et al.* (2004) describe a series of analyzes, such as: energy required and provided (Input-Output) and other statistical procedures, the first are to determine the energy required per unit of a good or service produced, and the other from statistical data.

The researches by De las Cuevas *et al.* (2009, 2011) are among the most recent ones, both theoretical and practical researches, whose main objective is aimed at evaluating the energy cost of the machinery. Tractors and agricultural machines have a high cost of acquisition and operation in monetary terms (\$/h, \$/ha) and energy (MJ/h, MJ/ha). On the other hand, several investigations have studied the energy efficiency of different cropping systems, sustainability in agriculture, agricultural maintenance to harvesting in intensively cultivated soils, the energy cost for fuel, which represents a high percentage of the total energy cost production of tillage systems used in commercial agriculture (Rawson & Gómez, 2001; Paneque & Prado, 2005; Meul *et al.*, 2007; Fumagalli *et al.*, 2011; Mohammadhossein *et al.*, 2012).

In Cuba the rice harvest is operation performed using farm machinery, representing strong investment and fuel costs; for that reason the rational use of energy is vital to ensure an efficient increased food production and to improve productivity. Given the need to increase the efficiency of energy use in mechanized rice harvest, the aim of this study was to determine the behavior of the energy cost of rice mechanized harvesting and to compare it in harvester machines with different working widths.

METHODS

All field studies were conducted in the Grain Agribusiness Enterprise "Los Palacios". which is located in the southern plain of Pinar del Rio province, specifically at 22° 44' north latitude and 83° 15' west longitude, 60 meters above sea level with a slope of 1% in a Hydromorphic Ferruginous Nodular Clay soil (Hernández *et al.*, 1999). The research was conducted during the campaign of rice harvest 2013... 2014.

The methodology used to establish the energy cost of execution of operations previously carried out by Paneque *et al.* (2002); Paneque & Prado (2005); Paneque & Soto (2007); Paneque & Sánchez (2006), supported by the facts presented by Stout (1990); Fluck (1992); Hetz & Barrios (1997). This methodology determines the total energy costs of mechanized

mecanizada (MJ/h), adicionando la energía secuestrada en los materiales de construcción incluyendo la fabricación y transporte, combustible, lubricantes/filtros, reparaciones / mantenimientos, y la mano de obra necesaria para operar los equipos.

El costo energético total de la operación agrícola mecanizada CE_t (MJ/h), se calcula según la ecuación (1):

$$CE_t = ES_m + ES_c + ES_l + ES_{mr} + ES_{mo} \quad (1)$$

donde:

ES_m - energía secuestrada en los materiales, fabricación, y transporte, (MJ/h);

ES_c - energía secuestrada en combustible, (MJ/h);

ES_l - energía secuestrada en lubricantes/filtros, (MJ/h);

ES_{mr} - energía secuestrada en reparaciones/mantenimiento, (MJ/h);

ES_{mo} - energía secuestrada en mano de obra, (MJ/h).

La energía secuestrada en los materiales, fabricación, y transporte (ES_m , MJ/h), se calcula utilizando la ecuación (2):

$$ES_m = \frac{G_m \cdot EU_m}{VU_m} \quad (2)$$

donde:

G_m - masa de la cosechadora, (kg);

EU_m - energía por unidad de masa de la cosechadora, (MJ/kg);

VU_m - vida útil de la cosechadora, (h).

Los valores para G_m y VU_m de la ecuación (2) son obtenidos de mediciones experimentales y de catálogos de los fabricantes, los valores de EU se toman de Stout (1990); Fluck (1992); Hetz y Barrios (1997); Paneque y Sánchez (2006).

farming operation (MJ/h), by adding energy sequestered in building materials including manufacturing and transport, fuel, lubricants/filters, repair/maintenance, and labor required for operating the equipment. The total energy cost of mechanized agricultural operation CE_t (MJ/h) is calculated according to equation (1):

$$CE_t = ES_m + ES_c + ES_l + ES_{mr} + ES_{mo}$$

where:

ES_m - energy sequestered in materials, manufacturing, and transportation (MJ/h);

ES_c - energy sequestered in fuel (MJ/h);

ES_l - energy sequestered in lubricants/filters (MJ/h);

ES_{mr} - energy sequestered in repairs/maintenance (MJ/h);

ES_{mo} - energy sequestered in labor (MJ/h)

Energy sequestered in materials, manufacturing, and transportation (ES_m , MJ/h) is calculated using equation (2):

$$ES_m = \frac{G_m \cdot EU_m}{VU_m} \quad (2)$$

where:

G_m harvester machine mass (kg);

EU_m - energy per unit mass of the harvester machine (MJ/kg);

VU_m - useful life of the harvester machine, (h).

The values for G_m and VU_m of equation (2) are obtained from experimental measurements and manufacturers' catalogs, the values of EU are taken from Stout (1990); Fluck (1992); Hetz & Barrios (1997); Paneque & Sánchez (2006).

TABLA 1. Equivalencias energéticas de los insumos
TABLE 1. Energy Equivalents of inputs

Inputs	Equivalents MJ-unid ⁻¹ .	Source
Man labor day (8h)	20,2	Fluck, 1992
1 L of gasoil	47,8	Fluck, 1992
1kg de:*		
Grain harvester	87,6	Fluck, 1992

* Includes energy sequestered in building materials, manufacturing and transportation to Cuba.

La energía correspondiente al combustible utilizado (ES_c) se calcula con el estándar propuesto por ASAE (1993), citados por Paneque y Sánchez (2006), según la expresión (3):

$$ES_c = g_e \cdot P \cdot c_M \cdot E_C ; MJ/h \quad (3)$$

donde:

g_e - consumo específico de combustible, L/(kW·h);

c_M - nivel de carga del motor;

0,1- 0,4 faenas livianas;

0,4 - 0,7 faenas moderadas;

0,7 - 1,0 faenas pesadas. Se consideró este tipo de carga, cuyo valor de $c_M = 1,0$;

E_c - energía específica del combustible (47,8 MJ/L, según lo propuesto por Fluck (1992).

La energía correspondiente a lubricantes / filtros y reparaciones/mantenimiento se calcula según lo propuesto por Fluck (1992), como 5% de la energía del combustible y 129% de la energía correspondiente a materiales / fabricación, respectivamente. El costo

The fuel used for the energy (ES_c) is calculated with the method proposed by ASAE (1993) standard, cited by Paneque & Sánchez (2006), according to the expression (3):

$$ES_c = g_e \cdot P \cdot c_M \cdot E_C ; MJ/h \quad (3)$$

where:

g_e - specific fuel consumption, L / (kW·h);

c_M - level engine load;

0.1- 0.4 light tasks;

0.4 to 0.7 moderate tasks;

0.7 to 1.0 drudgery. This type of load is considered, the value of $c_M = 1,0$;

E_c - specific fuel energy (47.8 MJ/L, as proposed by Fluck (1992).

The energy corresponding to lubricants/filters and repairs/maintenance is calculated as proposed by Fluck (1992) like 5% of the fuel energy and 129% of the amount of materials/manufacturing, energy, respectively. The

energético de la mano de obra se establece según lo propuesto por Fluck (1992).

Este costo energético total expresado en MJ/h fue transformado a MJ/ha y MJ/t utilizando la capacidad efectiva de trabajo de las máquinas y el rendimiento agrícola, usando las expresiones (4) y (5) respectivamente:

$$CE_t = CE_{ha} \cdot CeT = MJ/ha \tag{4}$$

$$CE_t = \frac{CE_{ha}}{Ra}; MJ/t \tag{5}$$

donde:

CE_{ha} – costo energético total de la operación agrícola mecanizada por unidad de área trabajada, MJ/ha;

CeT – capacidad efectiva de trabajo de las máquinas, h/ha. Se calcula por la expresión (6):

$$CeT = \frac{10}{A \cdot v \cdot \tau}; h/ha \tag{6}$$

donde:

A – ancho de la máquina, m

v – velocidad de trabajo de la máquina, km/h

τ – coeficiente de aprovechamiento del tiempo de la jornada laboral.

Los valores de τ se obtienen según la propuesta Paneque (1986); Ibañez (1994), citados por Paneque y Sánchez, (2006), donde $\tau = 0,63$.

CE_t – costo energético total por unidad de masa procesada o toneladas procesadas, MJ/t;

Ra – rendimiento agrícola o del campo, t/ha. (Ra = 4,62 t/ha bajo condición de trabajo típico en la cosecha mecanizada).

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los resultados de los costos energéticos de las máquinas cosechadoras de arroz se pueden apreciar en la Tabla 2.

Analizando los valores obtenidos mediante la metodología utilizada se desprende el siguiente análisis de forma global: el costo energético horario (CE_t) (MJ/h) aumenta de forma ascendente al aumentar el ancho de trabajo de la máquina. Sin embargo con respecto al costo energético por superficie (MJ/ha) y por masa procesada (MJ/t) se comportan de manera inversa, debido a que el costo por superficie disminuye por la mayor productividad de la máquina, y esto demuestra que el costo por área es independiente del tamaño de la máquina, ya que para un mismo rendimiento agrícola y para un aumento y disminución determinada del ancho de trabajo original de la máquina, la variación entre los costos por unidad de área se mantuvo constante en el rango de 90 % aproximadamente.

energy cost of labor is established as proposed by Fluck (1992).

This total energy cost expressed in MJ/h was transformed to MJ/ha and MJ/t using the effective working capacity of machines and agricultural output, using the expressions (4) and (5), respectively:

$$CE_t = CE_{ha} \cdot CeT = MJ/ha \tag{4}$$

$$CE_t = \frac{CE_{ha}}{Ra}; MJ/t \tag{5}$$

where:

CE_{ha} - total energy cost of mechanized farming operation per unit of worked area, MJ/ha;

CeT - effective working capacity of the machines, h/ha. It is calculated by the expression (6):

$$CeT = \frac{10}{A \cdot v \cdot \tau}; h/ha \tag{6}$$

where:

A- width of the machine, m;

v– work speed of the machine, km/h;

τ - coefficient of utilization of the workday time. τ values are obtained according to the Paneque (1986) and Ibañez (1994) proposal cited by Paneque & Sánchez, (2006), where $\tau = 0.63$;

CE_t - total energy cost per unit of mass processed or processed tons, MJ / t;

Ra - agricultural yield or field yield, t/ha. (Ra = 4.62 t/ha under typical working condition in mechanized harvesting).

RESULTS AND DISCUSSION

The results of the energy cost of rice harvester machines can be seen in Table 2. By analyzing the values obtained as a result of the methodology used, the following global analysis is made: hourly energy cost (CE_t) (MJ/h) increases as the working width of the machine increases. However, the energy cost per area (MJ/ha) and per processed mass (MJ/t) behave inversely, because the cost per surface decreases due to the increased productivity of the machine, and it shows that the cost per area is independent of the machine size, since for the same crop yield and an increase and certain decrease of the original working width of the machine, the variation between the costs per area unit remained constant in the range of approximately 90%.

TABLA 2. Costos energéticos de las máquinas cosechadoras de arroz
TABLE 2. Energy cost of rice harvesting machines

Parameters	CLAAS DOMINATOR	NEW HOLLAND TC-57	Total
Energy sequestered in materials, manufacturing and transportation (ES_m), (MJ/h).	350	207	557
Energy sequestered in fuel (ES_c), (MJ/h);	2011	1342	3353
Energy sequestered in lubricants/filters (ES_f), (MJ/h).	101	67	168

Parameters	CLAAS DOMINATOR	NEW HOLLAND TC-57	Total
Energy sequestered in repairs/maintenance (ES_{mr}), (MJ/h).	452	267	719
Energy sequestered in labor (ES_{mo}), (MJ/h).	3	3	6
Total Energy cost of mechanized agricultural operation (ES), MJ/h.	2917	1886	4803
Theoretical operational productivity of the machines (W), ha/h.	1,13	0,9	-
Total Energy cost of mechanized farming operation per worked area (ES_{ha}), MJ/ha.	2581	1849	4430
Total Energy cost per processed mass (ES_m), MJ/t	562	400	962

Los resultados obtenidos determinaron un amplio rango de variación para el costo horario, pero para el costo por área trabajada y por masa procesada se mantuvo constante, esto indica que el costo por unidad de área no depende del tamaño de la máquina porque aumentando o disminuyendo su tamaño el gasto de trabajo por superficie es relativamente el mismo. Y en la última columna se representa el porcentaje correspondiente al combustible consumido, siendo éste la energía más consumidora del total en la operación agrícola mecanizada.

En la Figura 1, se muestran los porcentajes por partida de los costos energéticos horarios (MJ/h) de las máquinas cosechadoras. Analizando la figura de forma global, se puede decir que la energía correspondiente al combustible (ES_c), es la que mayor porcentaje presenta con un 70%, lo que indica que representa el mayor consumidor de todas las energías parciales, seguido de la energía correspondiente a mantenimiento/repación (ES_{mr}) que alcanzó un 15%, siendo despreciable lo secuestrado en lubricantes/ filtros (ES_l) y mano de obra (ES_{mo}) sus valores están representados en la propia figura.

The results identified a wide range of variation for the hourly cost, but the cost per worked area and processed mass remained constant, that indicates that the cost per area unit does not depend on the size of the machine, because increasing or decreasing its size, the work expenditure per area is relatively the same. And in the last column the percentage corresponding to the fuel consumed is represented, being that the most energy consumer of the total in the mechanized farming operation.

In Figure 1, the percentages of hourly energy cost per item (MJ/h) of the harvester machines are presented. Analyzing the figure as a whole, it can be said that the corresponding fuel energy (ES_c) is the highest percentage presented with 70%, indicating that it represents the largest consumer of all partial energies, followed by the corresponding energy for maintenance/repair (ES_{mr}) which reached 15%, being negligible what is sequestered in lubricants/filters (ES_l) and labor (ES_{mo}). Their values are represented in Figure 1.

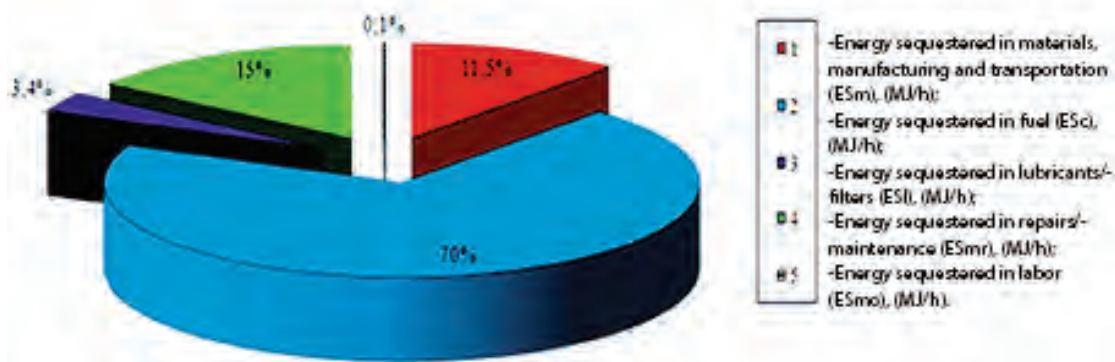


FIGURA 1. Porcentajes del costo energético horario (MJ/h) de las máquinas cosechadoras.
 FIGURE 1. Percentages of the hourly energy cost (MJ/h) of harvesting machines

En la Tabla 3, se presentan los costos energéticos de las máquinas cosechadoras. Haciendo un análisis de los valores, la cosechadora más consumidora de energía fue la CLAAS DOMINATOR con un valor medio de 2 596 MJ/ha, pero es la que mejor costo energético total (CE_t) por masa procesada presenta, con un valor de 562 MJ/t, logrando un productividad aproximada de 1,13 ha/h (6 t/h), y la menos consumidora fue la New Holland TC-57 con 1 867 MJ/ha, pero presenta los valores más bajos del costo por masa procesada con 404 MJ/t, debido a su ineficiencia energética, representando el 70% del costo total medio por el consumo de combustible, para los tres ancho de trabajo estudiados.

In Table 3 the energy costs of harvesting machines are presented. Making an analysis of the values, the most consuming energy harvester was the CLAAS DOMINATOR with a mean value of 2 596 MJ/ha, but it is the one with the best overall energy cost (CE_t) by mass processed, with a value of 562 MJ/t, achieving productivity of approximately 1.13 ha/h (6 t/h), and New Holland TC-57 was the least consuming with 1,867 MJ/ha, but it has the lowest cost value per mass processed 404 MJ/t, due to its energy inefficiency, representing 70% of the total average cost per fuel consumption for the three studied working widths.

TABLA 3. Costo energético de las máquinas para la cosecha de arroz
TABLE 3. Energy cost of machines for rice harvesting

Harvester machine	Wide of work (m)	Energy cost					Fuel cost, percentage average of total
		(MJ/h)	(MJ/ha)	(x MJ/ha)	(MJ/t)	(x MJ/t)	
NEW HOLLAND	4,20	1576	1995		432		
TC 57	4,40	1886	1849	1867	400	404	70%
	5,00	2197	1758		381		
CLAAS	5,00	2569	2733		592		
DOMINATOR	5,40	2917	2581	2596	559	562	68%
	6,00	3265	2473		535		

*Different working widths for an average agricultural yield of 4.62 t / ha.

CONCLUSIONES

- En la estructura del costo energético total horario para las dos cosechadoras la energía correspondiente al combustible (ES_c) representa el mayor consumidor de todas las energías parciales, seguido de la energía correspondiente a mantenimiento/repación (ES_{mr}), siendo despreciable lo secuestrado en lubricantes/filtros (ES_l) y la mano de obra (ES_{mo}).
- La cosechadora más consumidora de energía fue la CLAAS DOMINATOR con un valor medio de 596 MJ/ha, pero es la que mejor costo energético total (CE_c) por masa procesada presenta, con un valor de 562 MJ/t, logrando un productividad aproximada de 1,13 ha/h (6 t/h), y la menos consumidora fue la New Holland TC-57 con 1 867 MJ/ha, pero presenta los valores más bajos del costo por masa procesada con 404 MJ/t, debido a su ineficiencia energética, representando el 70% del costo total medio por el consumo de combustible, para los tres ancho de trabajo

estudiados.

CONCLUSIONS

- In the structure of total hourly energy cost for the two combines, the energy corresponding to fuel (ES_c) represents the largest consumer of all partial energies, followed by the energy corresponding to maintenance / repair (ES_{mr}), being negligible what is sequestered in lubricants/filters (ES_l) and labor (ES_{mo}).
- The most energy consuming harvester was CLAAS DOMINATOR with an average value of 596 MJ/ha, but it is the one with the best overall energy cost (CE_c) per processed mass, with a value of 562 MJ/t, achieving an approximate productivity of 1.13 ha / h (6 t/h), and the least consumer was New Holland TC-57 with 1 867 MJ/ha, but it has the lowest cost values per processed mass with 404 MJ/t, due to its energy inefficiency, representing 70% of the total average cost per fuel consumption, for the three working widths studied.

REFERENCIAS / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASAE: *Agricultural engineers yearbook of standards*, [en línea], Ed. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, USA, 1993, Disponible en: <https://catalog.hathitrust.org/Record/009533406>, [Consulta: 29 de septiembre de 2016].
- DE LAS CUEVAS, M.H.R.; RODRÍGUEZ, H.T.; PANEQUE, R.P.; DÍAZ, Á.M.: “Costo energético del rodillo de cuchillas CEMA 1400 para cobertura vegetal”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(3): 53-56, septiembre de 2011, ISSN: 2071-0054.
- DE LAS CUEVAS, M.H.R.; RODRÍGUEZ, H.T.; PANEQUE, R.P.; HERRERA, P.M.I.: “Software para la determinación de los costos energéticos y de explotación de las máquinas agrícolas”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(2): 78-84, 2009, ISSN: 1010-2760.
- FLUCK, R.C.: “Energy in World Agriculture”, [en línea], En: *Energy in Farm Production*, Ed. Elsevier, vol. 6, Amsterdam, 1992, ISBN: 978-0-444-88681-1, Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/book/9780444886811>, [Consulta: 22 de septiembre de 2016].
- FUMAGALLI, M.; ACUTIS, M.; MAZZETTO, F.; VIDOTTO, F.; SALI, G.; BECHINI, L.: “An analysis of agricultural sustainability of cropping systems in arable and dairy farms in an intensively cultivated plain”, *European Journal of Agronomy*, 34(2): 71-82, febrero de 2011, ISSN: 1161-0301, DOI: 10.1016/j.eja.2010.11.001.
- HACISEFEROĞULLARI, H.; ACAROĞLU, M.; GEZER, I.: “Determination of the Energy Balance of the Sugar Beet Plant”, *Energy Sources*, 25(1): 15-22, enero de 2003, ISSN: 0090-8312, 1521-0510, DOI: 10.1080/00908310290142073.
- HERNÁNDEZ, J.A.; PÉREZ, J.M.; BOSCH, D.; RIVERO, L.; CAMACHO, E.; RUÍZ, J.; SALGADO, E.J.; MARSÁN, R.; OBREGÓN, A.; TORRES, J.M.; GONZÁLES, J.E.; ORELLANA, R.; PANEQUE, J.; RUIZ, J.M.; MESA, A.; FUENTES, E.; DURÁN, J.L.; PENA, J.; CID, G.; PONCE DE LEÓN, D.; HERNÁNDEZ, M.; FRÓMETA, E.; FERNÁNDEZ, L.; GARCÉS, N.; MORALES, M.; SUÁREZ, E.; MARTÍNEZ, E.: *Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba*, Ed. AGROINFOR, La Habana, Cuba, 64 p., 1999, ISBN: 959-246-022-1.
- HETZ, E.; BARRIOS, A.: “Reducción del costo energético de labranza/siembra utilizando sistemas conservacionista en Chile”, *Agro-Ciencia*, 13(1): 41-47, 1997, ISSN: 0716-1689.
- MEUL, M.; NEVENS, F.; REHEUL, D.; HOFMAN, G.: “Energy use efficiency of specialised dairy, arable and pig farms in Flanders”, *Agri-*

- culture, Ecosystems & Environment*, 119(1-2): 135-144, febrero de 2007, ISSN: 0167-8809, DOI: 10.1016/j.agee.2006.07.002.
- MOHAMMADHOSSEIN, R.; AMIN, W.; HOSHANG, R.: "Energy Efficiency of Different Tillage Systems in Forage Corn Production", *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4(22): 1644-1652, 2012, ISSN: 2227-670X.
- OZKAN, B.; KURKLU, A.; AKCAOZ, H.: "An input-output energy analysis in greenhouse vegetable production: a case study for Antalya region of Turkey", *Biomass and Bioenergy*, 26(1): 89-95, enero de 2004, ISSN: 0961-9534, DOI: 10.1016/S0961-9534(03)00080-1.
- PANEQUE, R.P.; FERNANDES, H.C.; DONIZETTE, O.A.: "Comparación de cuatro sistemas de labranza/siembra en relación con su costo energético", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 11(2): 1-6, 2002, ISSN: 1010-2760.
- PANEQUE, R.P.; PRADO, P.Y.: "Comparación de tres sistemas agrícolas en el cultivo del frijol", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 14(3): 42-49, 2005, ISSN: 1010-2760.
- PANEQUE, R.P.; SÁNCHEZ, R.Y.: "Costo energético de la cosecha mecanizada del arroz en Cuba", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 15(1): 19-23, 2006, ISSN: 1010-2760.
- PANEQUE, R.P.; SOTO, L.D.: "Costo energético de las labores de preparación de suelo en Cuba", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(4): 17-21, 2007, ISSN: 1010-2760.
- RAWSON, H.M.; GÓMEZ, M.H.: "Notas sobre dos sistemas de labranza", [en línea], En: *Trigo regado*, Ed. FAO, Roma, Italia, 2001, ISBN: 92-5-304488-8, Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/006/x8234s/x8234s0c.htm>, [Consulta: 22 de septiembre de 2016].
- STOUT, B.A.: *Handbook of energy for world agriculture*, [en línea], Ed. Elsevier, 1.ª ed., London - New York, 504 p., OCLC: 19589954, 1990, ISBN: 978-1-85166-349-1, Disponible en: <https://www.elsevier.com/books/handbook-of-energy-for-world-agriculture/stout/978-1-85166-349-1>, [Consulta: 22 de septiembre de 2016].

Received: 27/12/2015.

Approved: 08/07/2016

Alexander Miranda-Caballero, Investigador Titular, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Unidad Científico Tecnológica de Base "Los Palacios", Carretera a Sierra Maestra, municipio Los Palacios, Pinar del Río, Cuba. Telf: 48547230. E-mail: alex@inca.edu.cu

Pedro Paneque-Rondón, E-mail: paneque@unah.edu.cu

Natahali Abram-Ferro, E-mail: alex@inca.edu.cu

Yoel Ribet-Molleda, E-mail: alex@inca.edu.cu

Nota: La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.

Note: the mention of commercial equipment marks; instruments or specific materials obey identification purposes, not existing any promotional commitment with relationship to them, neither for the authors nor for the editor.

