



EXPLOTACIÓN Y PROCESOS MECANIZADOS OPERATION AND MECHANIZED PROCESSES

Costo energético del rodillo de cuchillas CEMA 1400 para cobertura vegetal

Energy cost of the knife roller CEMA 1400 for vegetable covering

Héctor Rafael de las Cuevas Milán¹, Tomasa Rodríguez Hernández², Pedro Paneque Rondón³
y Maximino Díaz Álvarez³

RESUMEN. Como parte de las investigaciones que se llevan a cabo en el Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA) la evaluación de un conjunto de máquinas para la labranza conservacionista, se realizó un estudio cuyo objetivo es determinar el costo energético del rodillo de cuchillas CEMA 1400 para cobertura vegetal. Se determinaron los costos energéticos horarios (MJ/h) y por unidad de área trabajada (MJ/ha), contemplando la energía secuestrada en materiales de construcción, fabricación, transporte; combustibles; lubricantes; reparación/mantenimientos y mano de obra. Los resultados mostraron que los mayores costos horarios del conjunto, están representados por la energía secuestrada en combustible con un 60,07% del total, siendo los costos energéticos por unidad de área trabajada de 628,19 MJ/ha.

Palabras clave: costos energéticos, labranza conservacionista.

ABSTRACT. As part of researches carried out in Agricultural Mechanization Center (CEMA) about the evaluation of a group of machines for conservation tillage, a study whose determine the energy cost of the knife roller CEMA 1400 for vegetable covering. The costs energy schedules they were determined (MJ/h) and for unit of worked area (MJ/ha), contemplating the energy kidnapped in construction materials, production, transport; fuels; lubricant; repair/maintenances, manpower and used product (seeds, fertilizers). The results showed that the bigger costs, they are represented by the energy kidnapped in fuel with 60,07% of the total, being the energy costs per worked area of 628,19 MJ/ha.

Keywords: energy cost, conservation tillage.

INTRODUCCIÓN

La agricultura de conservación incluye una serie de técnicas que reducen, cambian o eliminan el laboreo del suelo y evitan la quema de rastrojo con objeto de mantener suficiente cobertura de residuos vegetales en el suelo a lo largo de todo el año. De ésta forma, el suelo reduce su compactación, queda protegido de la erosión y de las aguas de escorrentía, a la vez que aumenta de forma natural la estabilidad de los agregados del suelo, el contenido de materia orgánica y su nivel de fertilidad. Todo ello contribuye a disminuir en gran medida la contaminación de las aguas superficiales y la emisión de CO₂ a la atmósfera, además de favorecer la biodiversidad.

Saturnino (2001), plantea que los beneficios de la Labranza Cero para la sociedad brasileña están en la conservación de los recursos naturales, disminuyendo significativamente la

erosión, el amontonamiento de arena, tierra y la contaminación de ríos y represas. Con eso se preserva la biodiversidad del suelo, de las aguas y de la superficie terrestre, se condiciona el ambiente para la manutención y muchas veces para el aumento de la productividad de la agricultura, además esos beneficios se constituyen en un catalizador para lograr el manejo racional de las cuencas hidrográficas considerándose el potencial de aplicación de los principios que dirigen el sistema de cero labranza, en toda la gama de actividades de la agricultura y en cualquier escala de producción.

En este sentido Crovetto (1992), ha demostrado, que en Chile usando los sistemas conservacionistas y en particular la Labranza Cero, es posible recuperar y aun más mejorar espectacularmente los suelos degradados, preservando el medio ambiente y al mismo tiempo, aumentando los beneficios económicos que lógicamente espera todo agricultor.

Recibido 13/11/10, aprobado 11/06/11, trabajo 42/11, investigación.

¹ M.Sc., Inv. Auxiliar, Universidad Agraria de La Habana (UNAH)-CEMA, Mayabeque, CP: 32700, E-✉: hector@isch.edu.cu

² M.Sc., Inv. Auxiliar, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, CP: 32700.

³ Dr., Inv. Titular, UNAH, Facultad de Ciencias Técnicas, CEMA, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, CP: 32700.

La agricultura conservacionista, mejora, conserva y hace más eficiente el uso de los recursos naturales por medio del manejo integrado del suelo, el agua y los recursos biológicos disponibles (Stout, B. 1990, FAO / INTA, 1992).

Teniendo en cuenta lo anterior el objetivo del presente trabajo, es la determinación del costo energético del rodillo de cuchillas CEMA 1400 para cobertura vegetal.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló entre marzo y junio del 2010 en el Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA) de la Universidad Agraria de La Habana (UNAH).

La máquina utilizada fue el rodillo de cuchillas CEMA 1400 para cobertura vegetal, utilizado para el desbroce de la cobertura vegetativa que se queda en el campo, después de la cosecha (Figura 1)



FIGURA 1. Rodillo de cuchillas CEMA 1400 para cobertura vegetal.

Sistema automatizado utilizado

Para la determinación de los costos energéticos se utilizó el programa Costos Energéticos y de Explotación (CEE) el cuál es un sistema automatizado desarrollado por investigadores del CEMA (De las Cuevas *et al.*, 2006). El mismo permite el análisis de los datos primarios, así como la determinación de los costos energéticos de la máquina objeto de estudio.

El sistema automatizado consta de un panel de control interactivo que permite el vínculo del usuario con cada una de las partes que lo conforman. La entrada de los datos iniciales al libro se encuentra diseñada en forma de bloques (hojas), agrupadas en las condiciones de trabajo e informaciones del conjunto máquina - tractor, lo cual facilita su identificación.

La etapa de cálculo está diseñada también en forma de bloques (hojas), donde se determinan primeramente los costos energéticos totales de la operación agrícola mecanizada (MJ/h), adicionando la energía secuestrada en los materiales de construcción incluyendo la fabricación y transporte, combustible, lubricantes/filtros, reparaciones / mantenimiento, y la mano de obra necesaria para operar los equipos, a continuación se calcula los costos horarios del conjunto y totales por unidad de área trabajada.

Metodología para la determinación del costo energético

La potencia consumida en la tracción de la maquina se determinó por la ecuación (1).

$$N_{BT} = R \cdot v \quad (1)$$

La que se transmite por el árbol toma - fuerza se calcula por la ecuación (2) documentadas por Paneque (1986).

$$N_{ATF} = [N_v + N_p \left(U \cdot \frac{v}{10^4} \right)] \cdot B \quad (2)$$

Como es conocida la potencia consumida durante el trabajo de un conjunto máquina - tractor está dado por la ecuación (3):

$$N_{CMT} = \frac{N_{BT}}{\eta} + \frac{N_{ATF}}{\eta_{ATF}} \quad (3)$$

donde:

N_{BT} -potencia consumida en la tracción de la máquina, kW;

R-resistencia traccional de la máquina, kN;

V-velocidad de trabajo, m/s;

N_{ATF} -potencia consumida en el árbol toma - fuerza (ATF), kW;

N_f -potencia específica en el movimiento en vacío, kW/m;

N_p -potencia específica en la realización del proceso tecnológico, kW·s/kg;

U-rendimiento del cultivo, kg/ha;

B-ancho de trabajo de la máquina, m;

N_{CMT} -potencia consumida por el conjunto máquina - tractor, kW;

η -eficiencia del tractor;

η_{ATF} -eficiencia del árbol toma - fuerza (ATF).

Los valores de N_{BT} en la ecuación (1) se determinaron por Paneque (1986) por medios tensométricos.

Los valores de N_{ATF} y N_{CMT} en las ecuaciones (2) y (3) fueron obtenidos por Paneque (1986 y 1998).

Se utilizó la metodología para establecer los costos energéticos de ejecución de la operación presentada por Hetz y Barrios (1997) y apoyada por los antecedentes presentados por ASAE (1993), Fluck (1992) y Stout (1990). Esta metodología determina los costos energéticos totales de la operación agrícola mecanizada (MJ/h), adicionando la energía secuestrada en los materiales de construcción incluyendo la fabricación y transporte, combustible, lubricantes/filtros, reparaciones / mantenimiento, y la mano de obra necesaria para operar los equipos.

Los costos energéticos totales de la operación agrícola mecanizada se calculan según la ecuación (4):

$$EST = ESm + ESc + ESl + ESmr + ESmo + ESsp \quad (4)$$

donde:

EST-costos energéticos totales de la operación agrícola mecanizada, MJ/h;

ESm-energía secuestrada en los materiales, fabricación, y

transporte, MJ/h;
 ESc-energía secuestrada en combustible, MJ/h;
 ESl-energía secuestrada en lubricantes/filtros, MJ/h;
 ESmr-energía secuestrada en reparaciones/mantenimiento, MJ/h;
 ESmo-energía secuestrada en mano de obra, MJ/h;
 ESp-energía secuestrada en producto utilizado (semillas, fertilizantes, etc), MJ/h.

La energía secuestrada en los materiales, fabricación, y transporte (ESm) se calculó usando la ecuación (5):

$$ESm = \frac{Gt \cdot EUt}{VUt} + \frac{Gm \cdot EUm}{VUm} \quad (5)$$

donde:

Gt, Gm-masa del tractor y la máquina agrícola respectivamente, kg;
 EUt, EUm-energía por unidad de masa del tractor y la máquina agrícola respectivamente, MJ/kg;
 VUt, VUm-vida útil del tractor y la máquina agrícola respectivamente, h.

Los valores para G en la ecuación (5) fueron obtenidos de la literatura que entregan los fabricantes, los valores de EU se obtuvieron de Fluck (1981, 1985, y 1992), Stout (1990) así como de Hetz y Barrios (1997) y Hetz (1998), presentados resumidos en la Tabla 1, y los valores de VU se obtuvieron de Ibáñez y Rojas (1994) y Paneque (1986, 2000a, 2000b).

TABLA 1. Equivalencias energéticas de los insumos

Insumos	Equivalencias MJ/unid.	Fuente
Jornada hombre (8h)	18,2	Fluck, 1981
1 L petróleo	47,8	Fluck, 1992
1 kg de: *		
Tractor	109,0	Fluck, 1992
Arado	66,8	Fluck, 1992
Grada	64,0	Fluck, 1992
Cultivador	64,0	Fluck, 1992
Sembradora	70,9	Fluck, 1992

La energía correspondiente al combustible utilizado (ESc) se calculó con el estándar propuesto por ASAE (1993), apoyados por Hetz y Barrios (1997) y Paneque (1986), según la ecuación (6):

$$ESc = g_e \cdot N_{CMT} \cdot c_M \cdot E_e \quad (6)$$

Donde:

g_e -consumo específico de combustible, L/kW·h;
 c_M -nivel de carga del motor;
 E_e -energía específica del combustible, MJ/L (Tabla 1).

La energía correspondiente a lubricantes/filtros (ESl) y reparaciones/mantenimiento (ESmr) se calculó según lo propuesto por Fluck (1985) y calculados por Hetz y Barrios (1997) como 5% de la energía del combustible y 129% la energía correspondiente a materiales/fabricación, respectivamente. El gasto energético de la mano de obra (ESmo) se estableció según lo propuesto por Fluck (1981), según Tabla 1.

Estos costos energéticos expresados en MJ/h fueron transformados a MJ/ha utilizando la productividad de los conjuntos máquina-tractor, utilizando la ecuación (7):

$$ESha = \frac{EST}{W} \quad (7)$$

donde:

ESha-costos energéticos totales de la operación agrícola mecanizada por unidad de área trabajada, MJ/ha o MJ/t.km;
 W-productividad del conjunto máquina-tractor, ha/h o t.km/h.

Para conjuntos agrícolas:

$$W = 0,36 \cdot v \cdot B \cdot Ko4 \quad (8)$$

donde:

W-productividad del conjunto agrícola, ha/h;
 Ko4-coeficiente de utilización del tiempo del conjunto agrícola.

Los valores de Ko4 en la ecuación (8) fueron obtenidos de Paneque (1986), Ibáñez y Villar (1994).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se muestra la salida del sistema automatizado, referida a los costos energéticos del conjunto formados por el tractor MTZ-80 y el rodillo de cuchillas CEMA 1400 para cobertura vegetal.

TABLA 2. Costos energéticos del conjunto formado por el tractor MTZ – 80 y el rodillo de cuchillas CEMA 1400 para cobertura vegetal

Parámetros	U/M	Valor
Energía secuestrada en materiales, fabricación y transporte del conjunto (ESm).	MJ/h	56,74
Energía secuestrada en combustible del conjunto (ESc)	MJ/h	215,10
Energía secuestrada en lubricantes del conjunto (ESl)	MJ/h	10,76
Energía secuestrada en reparaciones/mantenimientos del conjunto (ESrm)	MJ/h	73,20
Energía secuestrada en mano de obra del conjunto (ESmo)	MJ/h	2,28
Costos energéticos totales del conjunto (ESt)	MJ/h	358,07
Costos energéticos totales por área trabajada del conjunto (ESha)	MJ/ha	628,19

En la Figura 2 se muestran los valores y porcentajes de los costos energéticos del tractor MTZ – 80 y el rodillo de cuchillas CEMA 1400 para cobertura vegetal, donde la energía secuestrada en combustible (ESc) representó el mayor porcentaje con un 60,07%; mantenimiento/reparación (ESrm) un 20,44%, la secuestrada en materiales, fabricación y transporte (ESm) representó un 15,85%, lubricantes (ESl) un 3,0% y en mano de obra (ESmo) el 0,64%. Los costos energéticos totales del conjunto ascendieron a 358,07 MJ/ha y por área trabajada de 628,191 MJ/ha.

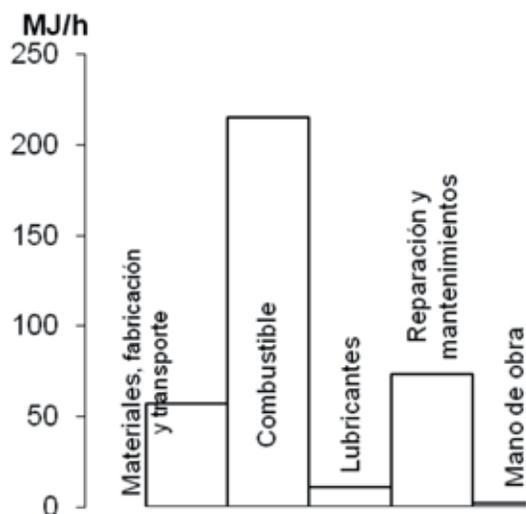


FIGURA 2. Costos energéticos del tractor MTZ-80 y el rodillo de cuchillas CEMA 1400 para cobertura vegetal.

CONCLUSIONES

- Para el conjunto formado por el tractor MTZ-80 y el rodillo de cuchillas CEMA 1400 para cobertura vegetal, los costos energéticos horarios totales dependen en mayor medida de la energía secuestrada en combustible (ESc); con un 60,07 %.
- Los costos energéticos horarios totales (EST) para el conjunto formado por el tractor MTZ-80 y el rodillo de cuchillas CEMA 1400 para cobertura vegetal, asciende a 358,07 MJ/h.
- Los costos energéticos horarios totales por unidad de área trabajada (ESha) para el conjunto formado por el tractor MTZ-80 y el rodillo de cuchillas CEMA 1400 para cobertura vegetal, asciende a 628,19 MJ/ha.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASAE: Agricultural Engineers Yearbook. Arg. Mach. Mgt. Data: EP391 and D230.3. St. Joseph, Michigan, USA, 1993.
- DE LAS CUEVAS, H.; T. RODRÍGUEZ; M. HERRERA YP. PANEQUE: Costos energéticos y de explotación. Software. CENDA, registro 2070-2006, La Habana, 2009.
- CROVETTO, C.: *Rastrojos sobre el suelo; una introducción a la cero labranza*. Ed. Universitaria, Santiago de Chile, Chile. 1992.
- FAO / INTA: *Manual de sistemas de labranza para América Latina*, 193pp., Boletín de Suelos de la FAO N° 66, Roma. Italia, 1992.
- FLUCK, R.: "Net energy sequestered in agricultural labor", *Transaction of the ASAE*, 24(6): 1449-1455, 1981.
- FLUCK, R.: "Energy sequestered in repairs and maintenance of agricultural machinery", *Transaction of the ASAE*, 28(3): 738-744, 1985.
- FLUCK, R.: (Ed). *Energy for farm production*, 287pp., Vol. 6 of Energy for World Agriculture, Elsevier, Amsterdam, 1992.
- FRYE, W.: *Energy requirements in no-tillage*. In: *NO-tillage agriculture*, pp. 127-151, Van Nostrand Reinhold, N. York, USA, 1984.
- HETZ, E.: "Energy utilization in fruit production in Chile", Tokio, Japan, *AMA*, 29(2): 17-20, 1998.
- HETZ, E. y A. BARRIOS: "Reducción del costo energético de labranza/siembra utilizando sistemas conservacionista en Chile", Chillán, Chile, *Agro-Ciencia*, 13(1): 41-47, 1997.
- IBAÑEZ, M. y E. ROJAS: *Costos de operación y producción por concepto de maquinaria agrícola*, 58pp., Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería Agrícola, Bol. de Ext. No 26, 1994.
- IBAÑEZ, M Y S. VILLAR: *Justificación económica del uso de la maquinaria agrícola*, Universidad de Concepción, Departamento de Mecanización y Energía, Chile, 1994.
- PANEQUE, R. P.: *Investigación para la determinación de los parámetros y regímenes óptimos de los tractores para la mecanización de las labores en plantaciones en desarrollo y producción de cítricos en Cuba*, 135pp., **Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas)**, Universidad Agraria de La Habana, La Habana, Cuba, 1986.
- PANEQUE, P.; E. MARRERO H. DE LAS CUEVAS: "Determinación de la fuente energética para las labores mecanizadas de los cítricos", La Habana, Cuba, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 7(3): 25-32, 1998.
- PANEQUE, R. P.: "Gastos energéticos de la poda mecanizada en plantaciones cítricas de Cuba", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 9(2): 23-28, 2000a.
- PANEQUE, R. P.: "Gastos energéticos de las operaciones agrícolas mecanizadas en plantaciones cítricas de Cuba", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 9(3,4): 17-22. 2000b.
- SATURNINO, H. M.: "Plantio Direto-agricultura sustentável" Belo Horizonte, MG, Brasil, *Informe Agropecuario*, 22(208):1-2, jan./fev., 2001.
- STOUT, B.: *Handbook of energy for world agriculture*, 504pp., Elsevier, Amsterdam, 1990.