



Determinación del costo energético de la picadora de forraje MF IIMA modelo EM-01 perfeccionada

Determination of energy cost of the forage chopper machine MF IIMA model EM-01 modified

Dr.C. Pedro A. Valdés Hernández^I, M.Sc. Héctor de las Cuevas Milán^I, M.Sc. María Victoria Gómez Águila^{II},
Dr.C. Duniesky Rodríguez Acosta^{III}, Ing. José Luis Vázquez Quintana^I, Ing. Roberto Suárez López^{IV}

^IUniversidad Agraria de La Habana (UNAH), Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

^{II}Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Instituto de Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, Chapingo, Texcoco, México.

^{III}Instituto de Ciencia Animal (ICA), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

^{IV}Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAGRIC), Boyeros, La Habana, Cuba.

RESUMEN. Como parte de los estudios realizados por la Facultad de Ciencias Técnicas, el Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA) de la Universidad Agraria de la Habana (UNAH) y el Instituto de Ciencia Animal (ICA), sobre la evaluación de conjuntos agrícolas para la producción de alimento animal, se desarrolló esta investigación, cuyo objetivo consiste en determinar los costos energéticos de la picadora de forraje MF IIMA modelo EM-01 perfeccionada, de fabricación nacional, con accionamiento eléctrico. Se determina que los costos energéticos totales dependen en mayor medida de la energía secuestrada en electricidad (*ESe*) con un valor de 17,23 MJ/h, para el mayor porcentaje de 64% y la energía secuestrada en materiales, fabricación y transporte (*ESm*) representó la menor dependencia con un valor de 2,25 MJ/h para un porcentaje de 8,35%; los costos energéticos horarios totales (*EST*) de la picadora MF IIMA modelo EM-01 perfeccionada ascienden a 26,93 MJ/h y los costos energéticos totales por unidad de masa procesada (*ES_t*) a 84,15 MJ/t.

Palabras clave: accionamiento eléctrico, energía secuestrada en electricidad.

ABSTRACT. As part of the studies carried out by the Technical Sciences Faculty, the Agricultural Mechanization Center (CEMA) of the Havana Agricultural University (UNAH) and the Animal Science Institute (ICA), on the agricultural groups evaluation for the production of animal food, with the objective the energy cost to determine of the forage chopper machine MF IIMA model EM - 01 modified of national production, with electric working, an researching was developed. It is determined that the totals energy costs depend in bigger measure of the kidnapped energy in electricity (*ESe*) with a value of 17, 23 MJ/h, for the percentage biggest of 64% and the kidnapped energy in materials, production and transport (*ESm*) presented the small dependence with a value of 2,25 MJ/h for a percentage of 8,35%; the costs energy totals schedules (*EST*) of the forage chopper MF IIMA model EM-01 modified ascends at 26,93 MJ/h and the total energy costs for unit of processed mass (*ES_t*) at 84,15 MJ/t.

Keywords: Electric working, energy kidnapped in electricity.

INTRODUCCIÓN

En la producción ganadera en Cuba, durante la aplicación de las nuevas tecnologías para alimentación de los animales se orienta crear áreas forrajeras básicamente de caña de azúcar y de kingrass, lo cual generó una alta demanda de tecnologías mecanizadas para el procesamiento de estas nuevas fuentes de alimentos en las vaquerías (Valdés *et al.*, 2010).

Para ser procesados estos cultivos en las unidades ganaderas, las mismas deben contar con equipos picadores de forrajes que se adecuen a las condiciones explotativas específicas de cada unidad de producción. Estos equipos asumen un importante papel dentro de las unidades, ya que durante el desmenuzamiento de dichos cultivos, realizan su ruptura física, debido al

alto contenido de fibra, que facilita una digestión más rápida y contribuye a un mayor aporte de nutrientes al rumiante y a su vez favorece a mayores consumos (Elias *et al.*, 1990; Delgado, 2006 citado por Valdés *et al.*, 2012; Martin, 2005), aspecto a tener en cuenta para la adquisición de dichas máquinas.

Un elemento importante a considerar durante este proceso de adecuación son las investigaciones relacionadas con la evaluación del uso de la energía y los costos energéticos, que se debe tener en cuenta a la hora de evaluar o caracterizar un proceso ya que este identifica y mide las cantidades de energía secuestrada, asociada a los productos y equipos que intervienen en la producción de un determinado bien, lo que permite realizar un incremento en la eficiencia energética del proceso tecnológico de las actividades agrícolas. En Cuba varios autores han realizado estudios en esta dirección como Ramos *et al.*, (2012), determinaron los costos energéticos de la cosecha de forrajes para el ganado vacuno en Cuba, evaluando las máquinas Fraga modelo P-150 y la SPKZ-160; De las Cuevas *et al.*, (2009) y (2011), de un conjunto tractor-máquina de siembra directa y de un rodillo de cuchillas CEMA-1400 para cobertura vegetal respectivamente.

Por otro lado Hetz y Barrios (1997a) y (1997b) realizan la reducción del costo energético para la labranza/siembra utilizando sistemas conservacionistas y para las operaciones agrícolas mecanizadas más comunes en Chile. Asimismo Olivet *et al.*, (2014), realizan el balance energético de tres tecnologías de labranza en un Vertisol para el cultivo del tabaco, Cadena *et al.*, (2013) determinaron el uso de energía para tres sistemas de labranza (convencional, vertical y cero) y García *et al.*, (2012) evalúan 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.

Los estudios mencionados han estado dirigidos a otros tipos de máquinas y procesos dentro de las cuales no se encuentra la picadora de forraje objeto de estudio, utilizada en el procesamiento de forraje para la producción de alimento animal.

Partiendo de estos antecedentes se desarrolla la presente investigación, que presenta como objetivo determinar los costos energéticos de la picadora de forraje MF IIMA modelo EM-01 perfeccionada, como parte del proyecto de investigación titulado: *Evaluación de los parámetros de trabajo de dos máquinas picadoras de forraje y su influencia sobre la producción de leche y carne bajo las condiciones establecidas en el ICA*, que se ejecuta de conjunto con dicha institución.

MÉTODOS

Las investigaciones empíricas se realizaron en la unidad lechera B del Instituto de Ciencia Animal (ICA), San José de las Lajas, provincia Mayabeque, Cuba. Se evaluó la máquina picadora de forraje MF IIMA modelo EM-01 perfeccionada con órgano de trabajo del tipo tambor con 4 cuchillas, posición de trabajo estacionaria, de alimentación manual y accionamiento

con motor eléctrico de 7,5 kW (Figura 1), durante el suministro del forraje fresco desmenuzado a partir de la caña de azúcar, a un grupo de 15 vacas lecheras. La toma de los datos experimentales se realizó diariamente durante 35 días entre los meses de febrero y marzo de 2013, bajo las siguientes condiciones climatológicas: humedad relativa 72,83%, temperatura 25,7°C, índice de precipitaciones 16,76 mm, presión atmosférica 1 015 hPa y velocidad del viento 5,4 m/s.



FIGURA 1. Picadora de forraje MF IIMA modelo EM-01 perfeccionada.

Métodos para la determinación de los costos energéticos

Se utilizó la metodología para establecer los costos energéticos de ejecución de la operación propuesta por Bridges y Smith (1979), presentada por Hetz y Barrios (1997) y apoyada por los antecedentes presentados por ASAE (1993)¹, Fluck (1992) y Stout (1990)². 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/mantenimientos, y la mano de obra necesaria para operar los equipos.

Los costos energéticos totales de la operación agrícola mecanizada (*EST*) de la máquina estacionaria picadora de forraje MF IIMA modelo EM-01 perfeccionada, se calculan por la siguiente ecuación:

$$EST = ESm + ESe + ESmo + ESmr, \text{ MJ/h}, \quad (1)$$

¹ AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS- ASAE: Agricultural Engineers Yearbook. Arg. Mach. Mgt. Data: EP391 and D230.3. USA, St. Joseph, 1993.

² STOUT, B: Handbook of energy for world agriculture. Elsevier, Amsterdam, 504p, 1990.

donde:

ESm- energía secuestrada en los materiales, fabricación y transporte, MJ/h;
ESe - energía eléctrica secuestrada, MJ/h;
ESmo- energía secuestrada en mano de obra, MJ/h;
ESmr- energía secuestrada en reparaciones/mantenimiento, MJ/h.

La energía secuestrada en los materiales, fabricación y transporte *ESm* se calculó usando la ecuación (2):

$$ESm = \frac{Gm \cdot EUm}{VUm}, \text{ MJ/h}, \quad (2)$$

donde:

Gm - masa de la máquina agrícola, kg;
EUm - energía por unidad de masa de la máquina agrícola, MJ/kg;
VUm - vida útil de la máquina agrícola, h.

Los valores para *Gm* en la ecuación (2) fueron obtenidos de mediciones experimentales y de catálogos de los fabricantes, los valores de (*EUm*) se obtuvieron de Fluck, (1981), así como de Hetz y Barrios, (1997) y los valores de *VUm* se obtienen de Frank, (1998)³, presentados en la Tabla 1.

TABLA 1. Datos para el cálculo de los costos energéticos de la picadora

Parámetro	U/M	MF IIMA modelo EM-01 perfeccionada
Masa de la máquina agrícola	kg	200
Energía equivalente por unidad de masa de la máquina.	MJ/kg	62,3
Vida útil de la máquina agrícola	h	5 525,00
Número de obreros en la operación	-	2
Energía equivalente horaria por cada obrero	MJ/h	2,275

La energía eléctrica secuestrada (*ESe*) se calculó a partir del consumo de potencia de la picadora obtenido por Valdés *et al.*, (2015), según Kuznetsov, (1988). La energía correspondiente a reparaciones/mantenimiento (*ESmr*) se calculó según lo propuesto por Fluck, (1985) y calculados por Hetz y Barrios, (1997), como el 129% de la energía correspondiente a materiales, fabricación y transporte respectivamente, lo cual se expresa de la siguiente forma:

$$ESmr = 1,29 \cdot ESm, \text{ MJ/h} \quad (3)$$

El gasto energético de la mano de obra (*ESmo*) se estableció según lo propuesto por Fluck, (1981).

$$ESmo = Eh \cdot Nop, \text{ MJ/h} \quad (4)$$

donde:

Eh – energía equivalente horaria de un obrero, MJ/h, según Tabla 1;

Nop- número de obreros en la operación, según Tabla 1.

Estos costos energéticos expresados en MJ/h, fueron transformados a MJ/t, utilizando la productividad por hora del tiempo de explotación de la picadora, como se plantea a continuación:

$$ESt = \frac{EST}{W_{07}}, \text{ MJ/t} \quad (5)$$

donde:

ESt - costos energéticos totales de la operación agrícola mecanizada por unidad de masa procesada, MJ/t;

W₀₇- productividad por hora del tiempo de explotación de la picadora, t/h, según Valdés *et al.*, (2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de los resultados de los costos energéticos de la

picadora de forraje en estudio

En la Tabla 2 se muestran los valores y el porcentaje de los costos energéticos de la máquina picadora de forraje MF IIMA modelo EM-01 perfeccionada. En la cual se aprecia que la energía secuestrada en electricidad (*ESe*) representó el mayor valor con 17,23 MJ/h, para el mayor porcentaje de 64% con respecto a los costos energéticos totales, lo que significa que la fuente de energía ocupa la principal dependencia en dichos costos, resultados similares obtienen los autores de las Cuevas *et al.*, (2009) y (2011), Ramos *et al.*, (2012), para el caso de otras máquinas. Asimismo la energía secuestrada en mano de obra (*ESmo*) representó un valor de 4,55 MJ/h, para un porcentaje de 16,85%; la secuestrada en mantenimiento y reparación (*ESmr*) un valor de 2,9 MJ/h para un porcentaje de 10,8% y finalmente la energía secuestrada en materiales, fabricación y transporte (*ESm*) representó el menor costo energético con un valor de 2,25 MJ/h para un porcentaje de 8,35%.

También se aprecia que los costos energéticos horarios totales (*EST*) de la picadora MF IIMA modelo EM-01 perfeccionada ascienden a 26,93 MJ/h y los costos energéticos por unidad de masa procesada (*ESt*) a 84,15 MJ/t.

TABLA 2. Resultados de los costos energéticos

Parámetros	U/M	MF IIMA modelo EM-01 perfeccionada	porcentaje del total
<i>ESm</i>	MJ/h	2,25	8,35
<i>ESe</i>	MJ/h	17,23	64
<i>ESmr</i>	MJ/h	2,9	10,8
<i>ESmo</i>	MJ/h	4,55	16,85
<i>EST</i>	MJ/h	26,93	-
<i>ESt</i>	MJ/t	84,15	-

³ FRANK, R: Costos de la Maquinaria Agrícola, Cátedra de Administración Rural, FAUBA, 2da Edición. 1998.

En la Figura 2 se muestran los resultados en porcentaje de los costos energéticos horarios de la picadora MF IIMA modelo EM-01 perfeccionada, para cada una de las energías vinculadas a dicha máquina.

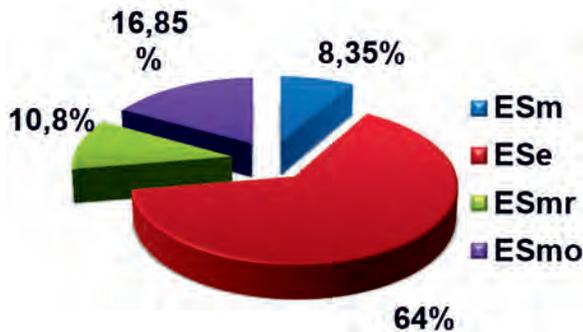


FIGURA 2. Porcentaje de los componentes de los costos energéticos de la picadora de forraje MF IIMA modelo EM-01 perfeccionada.

CONCLUSIONES

- Para la máquina picadora de forraje MF IIMA modelo EM-01 perfeccionada, con accionamiento eléctrico, los costos

energéticos totales dependen en mayor medida de la energía secuestrada en electricidad (*ESe*) con un valor de 17,23 MJ/h, para el mayor porcentaje de 64% y la energía secuestrada en materiales, fabricación y transporte (*ESm*) representó la menor dependencia con un valor de 2,25 MJ/h para un 8,35%;

- Los costos energéticos horarios totales (*EST*) de la picadora MF IIMA modelo EM-01 perfeccionada ascienden a 26,93 MJ/h;
- Los costos energéticos totales por unidad de masa procesada (*ES_t*) de la picadora MF IIMA modelo EM-01 perfeccionada ascienden a 84,15 MJ/t.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto de Ciencia Animal (ICA) por permitir el desarrollo de esta investigación en sus unidades de producción, así como a todo el personal obrero y técnico que apoyó la misma. Asimismo al Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA) y la Facultad de Ciencias Técnicas de la Universidad Agraria de La Habana por el apoyo brindado, así como a los estudiantes que colaboraron con la realización de su trabajo de diploma.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BRIDGES, T.; E. SMITH: "A method for determining the total energy input for agricultural practices", *Transactions of the ASAE*, ISSN: 0001-2351, 22(4): 781-784, 1979.
- CADENA, M; S. G. CAMPOS; G. DEMUNER; A. ZERMEÑO; A. LÓPEZ; T. GAYTÁN: "Uso de energía integrando Sistemas de Labranza y Mejoradores de suelo en zonas semiáridas de México", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 22(Especial): 54-57, 2013.
- DE LAS CUEVAS, H; T. RODRÍGUEZ; P. PANEQUE; M. HERRERA: "Costos energéticos de un conjunto tractor-máquina de siembra directa", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 18(4): 8-12, 2009.
- DE LAS CUEVAS, H; T. RODRÍGUEZ; P. PANEQUE; M. DÍAZ: "Costo energético del rodillo de cuchillas CEMA 1400 para cobertura vegetal", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 20(3): 5-8, 2011.
- ELÍAS, A; O. LEZCANO; P. LEZCANO; J. CORDERO Y L. QUINTANA: "Reseña descriptiva sobre el desarrollo de una tecnología de enriquecimiento proteico en la caña de azúcar mediante fermentación en estado sólido (Sacharina)", *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*, (ISSN-pe: 0034-7485, ISSN-pi: 0864-0408, ISSN-de: 2079-3472, ISSN-di: 2079-3480), 24(1): 1-12, 1990.
- FLUCK, R.: Net energy sequestered in agricultural labor. *Transactions of the ASAE*, ISSN: 0001-2351, Vol. 24(6): 1449-1455, 1981.
- FLUCK, R.: Energy sequestered in repairs and maintenance of agricultural machinery. *Transactions of the ASAE*, ISSN: 0001-2351, Vol. 28(30): 738-744. 1985.
- FLUCK, R.: "Energy for farm production", *Energy for World Agriculture*, ISBN: 978-0-444-88681-1 6, 1992.
- GARCÍA, A. E.; Y. VALDÉS Y J. VARGAS: "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*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 21(3): 62-68, 2012.
- HETZ, E. y A. BARRIOS: "Reducción del costo energético de labranza/siembra utilizando sistemas conservacionistas en Chile", *AgroCiencia*, ISSN: 0719-3882, E-ISSN: 0719-3890, 13(1): 41-47, 1997.
- KUZNETSOV, M.: *Fundamentos de Electrotecnia.*, Ed. Mir Moscú, ISBN-5-03-000159-X, Moscú, URSS, 1988.
- MARTÍN, P. C.: "El uso de la caña de azúcar para la producción de carne y leche", *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*, (ISSN-pe: 0034-7485, ISSN-pi: 0864-0408, ISSN-de: 2079-3472, ISSN-di: 2079-3480), 39(Especial): 427-437, 2005.
- OLIVET, Y.; V. GIRON; L. PARRA: "Balance energético de tres tecnologías de labranza en un Vertisol para el cultivo del tabaco (*Nicotiana tabacum* L.)", *Revista Ingeniería Agrícola*, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: 2227-8761, 4(2): 35-41, 2014.
- RAMOS, R.; M. CRUZ; I. NAVARRO: "Determinación del costo energético de la cosecha de forrajes para el ganado vacuno en Cuba", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 21(1): 73-78, 2012.
- VALDÉS, P. A; A. MARTÍNEZ; Y. VALENCIA; E. BRITO: "Influencia del momento de inercia y de diferentes ángulos de alimentación constante sobre el calibre de las partículas de las picadoras de forraje del tipo de tambor con alimentación manual. Parte I", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 19(3): 69-77, 2010.
- VALDÉS, P. A.; A. MARTÍNEZ Y J. PÉREZ: "Análisis de la caña de azúcar como alimento para el ganado", *Revista Pre-Till de la Universidad Piloto de Colombia*, ISSN-p: 1692-6900, Vol. 10 (26): 59-74, 2012.

VALDÉS, P. A.; H. DE LAS CUEVAS, D. RODRÍGUEZ, R. SUÁREZ, M. V. GÓMEZ, R. DELGADO: "Indicadores tecnológicos explotativos de la picadora de forraje MF IIMA modelo EM- 01 perfeccionada", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 24(3), 28-34, 2015.

Recibido: 22/07/2015.

Aprobado: 14/03/2016

Publicado: 19/04/2016

Pedro A. Valdés Hernández, Profesor Titular, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Facultad de Ciencias Técnicas, Autopista Nacional km 23½, Carretera de Tapaste, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, Teléfono: (53-47) 860306, Correo electrónico: pvaldes@unah.edu.cu

Héctor de las Cuevas Milán, Correo electrónico: hector@unah.edu.cu

María Victoria Gómez Águila, Correo electrónico: mvaguila@hotmail.com

Duniesky Rodríguez Acosta, Correo electrónico: pvaldes@unah.edu.cu

José Luis Vázquez Quintana, Correo electrónico: pvaldes@unah.edu.cu

Roberto Suárez López, Correo electrónico: prueba3@boyeros.iagric.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.

