



MECANIZACIÓN PECUARIA CATLE MECHANIZATION

NOTA TÉCNICA

Determinación del costo energético de la cosecha de forrajes para el ganado vacuno en Cuba

Determination of the energy cost of forage harvesting for bovine livestock in Cuba

Roberto Ramos González¹, Maritza Cruz Sotomayor² e Idaibel Navarro Rodríguez²

RESUMEN. La producción de pastos y forrajes en las empresas y entidades pecuarias constituye la base fundamental en la alimentación del ganado vacuno, tanto de producción de leche como de carne. Las cosechadoras de forrajes son el eslabón fundamental para garantizar el forraje fresco o conservado al ganado. Se realizó una investigación con las cosechadoras de forraje Fraga modelo P-150 y la SPKZ-160 con el objetivo de determinar los indicadores energéticos de cada una de ellas de forma comparativa. Para la formación de los conjuntos se utilizó como fuente energética el tractor YUMZ-6, determinándose la productividad de ambos conjuntos, y obteniéndose un valor de 0,48 ha/h y 0,33 ha/h para la cosechadoras Fraga P-150 y SPKZ-160, respectivamente. Se utilizó las metodologías propuestas por varios autores, para establecer el costo energético en MJ/h y por unidad de área trabajada (MJ/ha). Esta metodología determina el costo en MJ/h y costos por unidad de área trabajada (MJ/ha), adicionando la energía secuestrada en los materiales de construcción incluyendo la fabricación y transporte, combustible, lubricantes, reparaciones, mantenimientos, y la mano de obra necesaria para operar los equipos.

Palabras clave: pasto, máquinas agrícolas, silocosechadora.

ABSTRACT. The production of pasture and forage in the livestock entities constitute the fundamental basis in the feeding of the bovines for meat and milk. Forage harvesters are the fundamental mean to guarantee the fresh or conserved forage. The investigation was carried out with the harvesters Fraga P-150 and SPKZ-160 with the objective to carry out a comparative energetic evaluation using the tractor YUMZ-6. Was determined the productivity of both groups being obtained a value of 0.63 ha/h and 0.33 ha/h for the aggregates YUMZ-6 + Fraga P-150 and YUMZ-6 + SPKZ-160 respectively. Was used the methodologies proposed by several authors, to establish the energy cost in MJ/h and for unit of worked area (MJ/ha). This methodology determines the cost in MJ/h and costs for unit of worked area (MJ/ha), adding the energy kidnapped in the construction materials, and including the production and transport, fuel, lubricants, repair, maintenance, and the necessary manpower to operate the equipments.

Keywords: pasture, agricultural machines, silage harvester.

INTRODUCCIÓN

El aumento y concentración de áreas dedicadas a la producción de pastos para su empleo en la alimentación animal, con el propósito de mejorar los niveles de producción sobre bases sostenibles ecológica y económicamente es un esfuerzo para lograr la transformación de los ecosistemas ganaderos hacia modelos productivos que potencien los recursos humanos, materiales y naturales locales, con el empleo de bajos niveles de insumos y que conserven el medio físico-social.

La mecanización del proceso de cosecha de forraje en el momento actual es deficiente, debido al deterioro de la maquinaria por falta de piezas y renovación. Por ello es muy importante introducir nuevas máquinas cosechadoras de forraje para la ganadería sobre la base de la determinación de los parámetros tecnológicos y de explotación, gastos energéticos y económicos.

La nueva maquinaria a introducir debe ajustarse a las condiciones de bajos insumos, basadas en una disminución de los gastos energéticos y buena calidad de la labor realizada con

Recibido 23/10/10, aprobado 10/12/11, trabajo 14/12, nota técnica.

¹ Ing., Investigador Agregado, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Carretera de Fontanar, km. 2½, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. Teléf.: (53) (7) 645-1731 y 645-1353, E-✉: manuel@iagric.cu

² Ing., Especialista, Investigador Agregado, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric).

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.

respecto a la tecnología existente conformada por el conjunto tractor YUMZ con la cosechadora de forraje SPKZ-160.

Los tractores y máquinas agrícolas, tienen un alto costo de adquisición y operación en términos monetarios (peso/h, peso/ha) y energético (MJ/h, MJ/ha). Varias investigaciones han establecido que el costo energético por concepto de combustible y máquinas representa un alto porcentaje del costo energético total de producción en la agricultura empresarial (FAO, 1990; Fluck, 1992; Hetz y Barrios, 1997).

El objetivo de esta investigación consistió en determinar los indicadores de calidad de trabajo y energéticos de la cosechadora de forraje FRAGA modelo P-150 (Figura 1) en las condiciones de la empresa pecuaria Genética del Este, de for-

ma comparativa con la cosechadora de forraje SPKZ-160 utilizando las metodologías de pruebas establecidas.

MÉTODOS

La evaluación de las máquinas se desarrolló en las áreas forrajeras de la Empresa Pecuaria Genética del Este, situada en el municipio de Aguacate, Provincia Mayabeque, en la cosecha de King Grass. Se utilizó el tractor YUMZ-6 (Figura 2) como fuente energética para la formación de los conjuntos y se determinó la productividad promedio, quedando la tecnología como se muestra en la Tabla 1.



FIGURA 1. Cosechadora de forrajes FRAGA P-150. FIGURA 2. Tractor YUMZ.

TABLA 1. Tecnología a evaluar para proceso cosecha de forraje verde

| Labor | Conjunto | Productividad (ha/h) |
|--------------------|---|----------------------|
| Cosecha de forraje | tractor YUMZ + cosechadora SPKZ-160 | 0,34 |
| Cosecha de forraje | tractor YUMZ + cosechadora FRAGA modelo P-150 | 0,48 |

Metodología para la determinación de los costos energéticos de los sistemas

Se utilizó la metodología para establecer el costo energético de ejecución de la operación utilizada por Paneque *et al.* (2002), apoyada por los antecedentes presentados por ASAE (1993); FAO, (1990); Fluck, (1992), Stout (1990) y actualizada por Paneque *et al.* (2009). Esta metodología automatizada por De las Cuevas *et al.* (2009), determina el costo en MJ/h adicionando la energía secuestrada en los materiales de construcción incluyendo la fabricación y transporte, combustible, lubricantes por litros, reparaciones por mantenimientos, y la mano de obra necesaria para operar los equipos.

$$Es_{total} = Es_{mat} + Es_c + Es_{fl} + Es_{mr} + Es_{sfw}, \text{ MJ/h} \quad (1)$$

donde:

Es_{total} -costos energéticos totales horarios de la operación agrícola mecanizada, MJ/h;

Es_{mat} -energía secuestrada en los materiales, fabricación, y transporte, MJ/h;

Es_c -energía correspondiente al combustible utilizado, MJ/h;

Es_{fl} -energía correspondiente a los lubricantes/filtros, MJ/h;

Es_{mr} -energía correspondiente a mantenimiento/reparación, MJ/h;

Es_{sfw} -energía correspondiente a mano de obra, MJ/h;

La **energía secuestrada en los materiales** para la construcción del tractor y su apero Es_{mat} , y depende de la masa del agregado, la equivalencia energética de su peso y la vida útil de cada uno de ellos, como se muestra en (2).

$$Es_{mat} = Gt_t \cdot Eequiv_{tractor} / Vu_{tractor} + Gt_a \cdot Eequiv_{apero} / Vu_{apero}, \text{ MJ/h} \quad (2)$$

donde:

Gt_t, Gt_a -masa del tractor y el apero (masa del agregado), kg;
 $E_{equiv_{tractor}}$ -equivalencia energética del peso del tractor, MJ/kg;
 $E_{equiv_{apero}}$ -equivalencia energética del peso del apero, MJ/kg;
 $Vu_{tractor}, Vu_{apero}$ -vida útil del tractor y el apero (vida útil del agregado), h.

Para expresar Es_{mat} en MJ/ha, se divide la energía secuestrada de los materiales por la productividad horaria según la ecuación (3)

$$Es_{mat} = Es_{mat} / W_h, \text{ MJ/ha} \quad (3)$$

La **energía secuestrada por el combustible** Es_c se determina como se muestra en (4), sobre la base del consumo de combustible por maquinaria, la energía específica del combustible, así como por el nivel de carga del motor.

$$Es_c = gt_c \cdot E_c \cdot C_{motor}, \text{ MJ/ha} \quad (4)$$

donde:

gt_c -consumo total de combustible para una hectárea de tierra en la labor, L/ha;
 E_c -energía específica del combustible, MJ/L;
 C_{motor} -nivel de carga del motor (se encuentra en un rango entre 0,85-0,90; un nivel de carga equivalente a 0,85).

La **energía secuestrada correspondiente a los filtros y lubricantes de la maquinaria** Es_{fl} se determina una fracción de la energía secuestrada en el combustible Es_c :

$$Es_{fl} = 0,05 \cdot Es_c, \text{ MJ/ha} \quad (5)$$

La **energía secuestrada en los mantenimientos y reparaciones**. Para la determinación de la energía secuestrada en mantenimientos y reparaciones de la maquinaria Es_{mr} , se emplea básicamente la energía secuestrada en la masa de la maquinaria:

$$Es_{mr} = 1,29 \cdot Es_{mat}, \text{ MJ/ha} \quad (6)$$

La **energía secuestrada por la fuerza de trabajo del operador** Es_{jh} se calcula (ver (7)), sobre la base de la energía secuestrada del hombre por hora de trabajo, el número de hombres y la productividad horaria:

$$Es_{jh} = Es_h \cdot nh / W_h, \text{ MJ/ha} \quad (7)$$

donde:

Es_h -energía secuestrada del hombre por hora de trabajo, MJ/h;
 nh -número de hombres que laboran en el agregado;
 W_h -productividad horaria del agregado, ha/h.

La **energía correspondiente al combustible utilizado** se calculó con el estándar propuesto por ASAE (1993), apoyados por Hetz y Barrios (1997), según la expresión (8):

$$E_c = C_e \cdot P_{a.t.f} \cdot C_{motor} \cdot E_e, \text{ MJ/h} \quad (8)$$

donde:

E_c -energía correspondiente al combustible, MJ/h;
 C_e -consumo específico de combustible, L/kWh;
 $P_{a.t.f}$ -potencia al eje toma de fuerza, kW;

C_{motor} -nivel de carga del motor (0,1-0,4 faenas livianas; 0,4-0,7 faenas moderadas; 0,7-1 faenas pesadas)
 E_e -energía específica del combustible, MJ/L (Tabla 2).

La energía correspondiente a lubricantes por filtros y reparaciones por mantenimientos se calculó según lo propuesto por Fluck (1992), como 5% de la energía del combustible y la energía correspondiente a materiales por fabricación es el 129% de la energía secuestrada, respectivamente. El costo energético de la mano de obra se estableció según lo propuesto por Fluck (1992). Estos costos energéticos expresados en MJ/h se fueron transformados en MJ/ha utilizando la capacidad efectiva de trabajo de las máquinas (Ibáñez y Villar, 1994) usando la ecuación (9):

$$W_h = C_w \cdot B \cdot V \cdot \tau; \text{ ha/h} \quad (9)$$

donde:

W_h -productividad de la máquina, ha/h;
 C_w -coeficiente de conversión. Si V está dado en km/h, $C_w=0,1$; si V está dado en m/s, $C_w=0,36$;
 B -ancho de trabajo, m;
 V -velocidad de trabajo, km/h;
 τ -coeficiente de aprovechamiento del tiempo de turno.

En la Tabla 2 se dan las equivalencias energéticas de los insumos en la labor.

TABLA 2. Equivalencias energéticas de los insumos

| Insumos | Equivalencias MJ/unidad | Fuente |
|--------------------------------|-------------------------|-------------|
| Jornada hombre (8h) | 18,2 | FLUCK, 1992 |
| 1 L de petróleo | 47,8 | FLUCK, 1992 |
| 1 kg de tractor | 109,0 | FLUCK, 1992 |
| 1 kg de cosechadora de forraje | 87,6 | FLUCK, 1992 |

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción técnica de la máquina

La cosechadora de forrajes FRAGA modelo P-150 (Figura 1) está destinada para cosechar forrajes en corte directo de pradera, sorgo y otras plantas sembradas en hileras para alimentos del ganado vacuno. El sistema de corte de esta cosechadora es por impacto con eje de rotación vertical con dos cuchillas tipo chapeadora CH-60. El sistema de repique que posee esta máquina es un tambor con 8 cuchillas rectas dispuestas en forma de V.

En las Tablas 3 y 4 se puede apreciar las características técnicas de la cosechadora y de la fuente energética respectivamente.

Analizando los resultados de la calidad de trabajo de las cosechadoras se puede plantear que la longitud de corte lograda por ambas máquinas es similar. La masa cosechada se recomienda para su uso como forraje fresco porque las hojas de las hierbas cosechadas resultan muy golpeadas presentando una pérdida de proteína muy alta si no se consumen con rapidez. Aunque no se cuantificaron las pérdidas por las hierbas dejadas sin cortar en el campo, estas son significativas, al no levantar y cortar la hierba ligeramente encamada

TABLA 3. Características técnicas de la cosechadora de forrajes FRAGA modelo P-150

| Nº | Indicadores | Unidad de medida | Resultados |
|----|---|-------------------|-------------------------|
| 1 | Tipo de máquina. | - | cosechadora de arrastre |
| 2 | Marca | - | Fraga |
| 3 | Modelo | - | P-150 |
| 5 | Anchura de corte | mm | 1450 |
| 6 | Velocidad de trabajo | km/h | 4,10 |
| 7 | Potencia requerida | kW | 55 |
| 8 | Frecuencia de giro en el árbol toma de fuerza | min ⁻¹ | 540 |
| 9 | Altura de corte | | |
| | ▪ mínima | mm | 50 |
| | ▪ máxima | mm | 300 |
| 10 | Dimensiones máximas. | | |
| | ▪ longitud | mm | 3 030 |
| | ▪ anchura | mm | 2 078 |
| | ▪ altura | mm | 3 440 |
| 11 | Neumáticos de locomoción | | |
| | ▪ cantidad | U | 2 |
| | ▪ dimensiones | mm/plg. | 600 x 16 |
| 12 | Trocha | mm | 2550 |

TABLA 4. Características técnicas del tractor YUMZ-6

| Nº | Indicadores | Unidad de medida | Valor de los índices. |
|----|--|-------------------|-----------------------|
| 1 | País | | Rusia. |
| 2 | Motor | | D65 M, Rusia. |
| 3 | Potencia nominal. | kW | 45 |
| 4 | Revoluciones nominales. | min ⁻¹ | 1 785 |
| 5 | Consumo específico combustible nominal | g/kW-h | 182 |
| 6 | Rodaje, tipo. | | Neumáticos |
| 7 | Dimensiones neumáticos delanteros/ traseros. | | 7.5-20/15.5 R38 |
| 8 | Cantidad de ruedas motrices. | u | 2 |
| 9 | Clases traccional. | kN | 14 |
| 10 | Voltaje sistema eléctrico | V | 12 |

En las Tablas 5 y 6 aparecen las características de las parcelas y el cultivo respectivamente. Se pueden apreciar las condiciones de la parcela con relieve adecuado para el cultivo y sin obstrucción por piedras u otros obstáculos.

En la Tabla 7 se muestran los resultados obtenidos de la evaluación de la calidad de trabajo con ambas cosechadoras. Los resultados de la evaluación energética aparecen en la Tabla 8.

TABLA 5. Características de la parcela experimental

| Nº | Indicadores | Unidad de medida | Valor de los Índices |
|----|----------------------|------------------|--|
| 1 | Lugar | | Empresa Pecuaria Genética del Este de La Habana, Aguacate, Provincia Mayabeque |
| 2 | tipo de suelo | - | ferralítico rojo típico |
| 3 | relieve | - | llano |
| 4 | micro relieve | - | Ligeramente ondulado |
| 5 | pendiente del campo | % | 2 |
| 6 | contenido de piedras | % | no hay |
| 7 | dureza del suelo | - | Suelo compactado superficialmente |
| 8 | Humedad del suelo | % | Suelo seco |

TABLA 6. Características del cultivo

| Nº | Indicadores | Unidad de medida | Valor de los índices |
|----|---------------------------------|------------------|--|
| 1 | Cultivo | - | King grass |
| 2 | Edad del cultivo | día | Mas de 120 días |
| 3 | Fase de desarrollo del cultivo | - | Estado vegetativo amarillo y lignificado |
| 4 | Altura de las plantas | mm | 2 380 |
| 5 | Cantidad de plantas por plantón | U | 14 |

TABLA 7. Resultados de la evaluación de la calidad de trabajo

| Nº | Indicadores | Unidad de medida | Valor de los índices | |
|----|--|------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | Máquina | - | Fraga P-150 | SPKZ-160 |
| 2 | Labor | - | Cosecha de forraje verde | Cosecha de forraje verde |
| 3 | Anchura de trabajo | cm. | 145 | 160 |
| 4 | Velocidad de trabajo | km/h | 3,30 | 2,8 |
| 5 | Altura de corte | mm | 100 | 100 |
| 6 | Calidad de repique de las partículas. | | | |
| | • menos de 50 mm | % | 11,64 | 5,8 |
| | • 51-100 mm | % | 7,03 | 15,17 |
| | • 100-200 mm | % | 12,82 | 21,4 |
| | • Más de 200 mm | % | 68,51 | 57,63 |
| 7 | Productividad | ha/h | 0,48 | 0,33 |
| 8 | Coefficiente de utilización del ancho de trabajo | - | 0,98 | 0,98 |

Evaluación energética

TABLA 8. Costo energético de los elementos que intervienen en la labor de cosecha, MJ/h y MJ/ha

| Energía secuestrada(MJ/ha) | Fraga P-150 | | SPKZ-160 | |
|---|-------------|--------|----------|--------|
| | MJ/h | MJ/ha | MJ/h | MJ/ha |
| Energía secuestrada fuerza de trabajo (E_{sfw}) | 2,27 | 4,73 | 2,27 | 6,89 |
| Energía secuestrada en combustibles (E_{sc}) | 242,69 | 505,62 | 175,18 | 530,86 |
| Energía secuestrada materiales (E_{smat}) | 29,9 | 62,29 | 27,51 | 83,36 |
| Energía secuestrada en mantenimiento-reparaciones (E_{smr}) | 38,56 | 80,35 | 35,48 | 107,53 |
| Energía secuestrada en filtros-lubricantes (E_{sfl}) | 12,13 | 25,28 | 8,75 | 26,54 |
| Energía secuestrada total (E_{stotal}) | 325,55 | 678,27 | 249,19 | 755,18 |

En la Tabla 8 se expresa el costo energético obtenido de los elementos que intervienen en la labor de cosecha de forraje. Los costos de la energía secuestrada de la fuerza de trabajo E_{sfw} con el empleo del conjunto formado por la Fraga P-150 muestran una disminución en un 31,35 % con respecto al conjunto formado con la SPKZ, debido a la productividad obtenida de 0,48 ha/h para la cosechadora Fraga P-150 y de 0,33 ha/h para la SPKZ, el tiempo total para cosechar una hectárea es de 2 horas y 3 horas respectivamente.

El costo energético en combustible con el empleo de la cosechadora FRAGA representa un 74,54% de los costos totales. El consumo de combustible del nuevo agregado fue de 1,3 kg/t lo que se considera no satisfactorio al ser muy alto. Para que este indicador se considere satisfactorio debe oscilar entre 0,63-0,90 kg/t.

Como se puede apreciar en la tabla, el costo energético en materiales, mantenimientos y reparaciones, filtros y lubricantes en MJ/ha con el empleo de la nueva cosechadora son menores que con la utilización de la SPKZ respectivamente.

La energía secuestrada total con el empleo de la nueva co-

sechadora es menor al empleo de la SPKZ, la primera es de 678 MJ/ha, representando un 89,7% de la segunda.

CONCLUSIONES

- La energía secuestrada total con el empleo de la cosechadora de forraje Fraga P-150 en la labor de cosecha tiene un valor de 678,27 MJ/ha, mientras que con el empleo de la SPKZ tiene un valor de 755,18 MJ/ha.
- Los costos de la energía secuestrada de la fuerza de trabajo E_{sfw} con el empleo del conjunto formado por la Fraga P-150 muestran una disminución en un 31,35% con respecto al conjunto formado con la SPKZ.
- La productividad obtenida fue de 0,48 ha/h para la cosechadora Fraga P-150 y de 0,33 ha/h para la SPKZ.
- El costo energético en combustible con el empleo de la nueva cosechadora representa un 74,54% de del costo total.
- El costo energético en materiales, mantenimientos y reparaciones, filtros y lubricantes en MJ/ha con el empleo de la nueva cosechadora es menor con el empleo de la nueva cosechadora que con la utilización de la SPKZ.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS-(ASAE): *Agricultural Engineers Yearbook*, Arg. Mach. Mgt. Data: EP391and D230.3. USA, St. Joseph, 1993.
- DE LAS CUEVAS, H.R.; T. RODRÍGUEZ; P. PANEQUE y M.I. HERRERA: "Software para la determinación de los costos energéticos y de explotación de las máquinas agrícolas", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(2): 78-84, 2009.
- IBAÑEZ, C.M. y G. S. VILLAR: *Justificación económica del uso de la maquinaria agrícola*, pp. 27-43, Universidad de Concepción, Chillan, Chile, 1994.

PANEQUE, R. P.; A. MIRANDA; M. SUÁREZ y N. ABRAHAM: "Costos energéticos y de explotación del cultivo del arroz en fanguero directo", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(2): 7-11, 2009.

PANEQUE, P; H. C. FERNÁNDEZ y A. D. DE OLIVEIRA: "Comparación de cuatro sistemas de labranza/siembra con relación a su costo energético," *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 11(2): 1-6, 2002.

FAO. *Energy consumption and input output relation in field operation*, CNRE study No. 3, Rome, Italy, 1990.

FLUCK, R.: *Energy for farm production*, 287pp, Vol. 6 of Energy for World Agriculture, (Ed): Elsevier, Amsterdam, 1992.

HETZ, E.; A. BARRIOS: "Reducción del costo energético de labranza/siembra utilizando sistemas conservacionistas en Chile", Chillan, Chile, *Agro-Ciencia*, 13(1): 41-47, 1997.

STOUT, B.: *Handbook of energy for world agriculture*, 504pp., Elsevier, Amsterdam, 1990.



A NUESTROS COLABORADORES
Las instrucciones para la presentación de los trabajos y otros detalles relacionados con la recepción de artículos, aparecen en el reverso de la contracubierta de la revista con el título: NORMAS DE PRESENTACIÓN. Pueden publicar en la revista investigadores, profesores y especialistas cubanos y extranjeros.



TEMAS QUE SE PUBLICAN

- **Agricultura de Conservación.**
- **Construcción de operación de máquinas e implementos agrícolas y pecuarios.**
- **Explotación y administración de la maquinaria agrícola.**
- **Pruebas de tractores y máquinas agrícolas.**
- **Fiabilidad, reparación y mantenimiento de las máquinas agrícolas y tractores.**
- **Portadores energéticos y uso de los desechos en la producción de energía renovable.**
- **Computación y matemáticas aplicadas a la Ingeniería Agrícola.**
- **Construcciones e instalaciones pecuarias.**
- **Protección del medio ambiente rural.**
- **Suelo y agua.**
- **Docencia y capacitación en la Ingeniería Agrícola.**
- **Tracción animal.**
- **Otros temas de Ingeniería Agrícola.**

Informaciones

Para cualquier otra información sobre la revista dirija su correspondencia a:



Solicitudes de ofertas a:
M.Sc. Héctor de las Cuevas Milán
Centro de Mecanización Agropecuaria
Autopista Nacional y Carretera de Tapaste, km 23, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. Apdo. 18-19
Tel.: (53)(47) 864346
E_mail: hector@isch.edu.cu