

ORIGINAL

Evaluación energética de la labor de rotura con arados de discos para el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

Energy evaluation of the work of rupture with plows of discs for the cultivation of beans (*Phaseolus vulgaris* L.)

Annia Rodríguez Lobaina, estudiante del 5to año de la carrera de Ingeniería Agrícola, miembro del grupo científico de Laboreo del Suelo y Energía Agrícola, Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad de Granma, Cuba, arodriguezl@estudiantes.udg.co.cu

Dr. C. Yosvel Enrique Olivet Rodríguez, Profesor Titular, Ingeniero Mecanizador Agrícola, Universidad de Granma, yolivetr@udg.co.cu

Recibido: 11 de octubre de 2019 / Aceptado: 18 de mayo de 2020

Resumen

El presente trabajo se realizó en la UEB “Agrícola” perteneciente a la Empresa Agropecuaria “Paquito Rosales Benítez” del municipio Yara, de la provincia de Granma, Cuba. El mismo se llevó a cabo con objetivo de evaluar el consumo de energía del tractor Belarus – 800 formando agregado con los arados de discos ADI – 3 M (T1) y el arado de discos AFT – 4 (T2) en la roturación del suelo para el cultivo del frijol. Teniendo como resultado que T1 alcanzó el mayor consumo de energía *Input* (7 252 MJ·ha⁻¹) y mayor consumo de energía por uso del combustible (6 560,00 MJ·ha⁻¹) y mano de obra (19,60 MJ·ha⁻¹), para un consumo de energía de uso directa de 6 580 MJ·ha⁻¹ e indirecta de 672,14 MJ·ha⁻¹ con relación a T2 respectivamente.

Palabras claves: combustible; suelo; tractor

Abstract

The present work was carried out in the UEB “Agricole” belonging to the Agricultural Company “Paquito Rosebushes Benítez” of the municipality Yara, of the county of Granma, Cuba. The same one was carried out with objective of evaluating the consumption of energy of the tractor Belarus - 800 forming attaché with the plows of disks ADI - 3 M (T1) and the plow of disks AFT - 4 (T2) in the breaking new ground of the floor for the cultivation of the bean. As a result, T1 achieved the highest input energy consumption (7 252 MJ·ha⁻¹) and higher energy consumption due to fuel use (6 560.00

MJ·ha⁻¹) and labor (19.60 MJ·ha⁻¹), for a direct use energy consumption of 6 580 MJ·ha⁻¹ and indirectly of 672.14 MJ·ha⁻¹ in relation to T2 respectively.

Key words: fuel; soil; tractor

Introducción

La amplia mecanización de la producción constituye un camino fundamental para el desarrollo y la satisfacción de las necesidades crecientes de la población. Dentro de esa amplia mecanización tenemos las operaciones de labranza del suelo, con el fin de cambiar y mejorar la estructura del suelo de acuerdo a las necesidades agro-técnicas de un cultivo determinado y garantizar la circulación de agua, oxígeno y nutrientes a las plantas (Shkiliova *et al.*, 2014). Esta operación permite obtener un adecuado lecho de siembra, elimina determinados factores que limitan al suelo obtener una producción sostenible (Vargas *et al.*, 2014).

En la actualidad la demanda de energía se ha incrementado considerablemente, donde la mecanización de los cultivos juega un papel fundamental por la introducción de variedades altamente productivas (Canakci y Akinci, 2006). Donde la labranza constituye una de las actividades que más consumo de energía requiere. Actualmente, los sistemas de labranza tradicionales presentan un consumo de combustible de 60 a 80 L·ha⁻¹, mientras que otros sistemas de labranza como la reducida presentan un ahorro significativo de energía sin poner en riesgo la productividad de los cultivos (Lal *et al.*, 1990).

Las principales economías del mundo han basado su desarrollo en el consumo de energía. La demanda de energía y el estado de agotamiento de los combustibles fósiles, así como el daño indetenible al ambiente, se pretende la adopción de nuevas tácticas de consumo de energía, que permita satisfacer las necesidades energéticas de la sociedad (Peneque y Prado, 2005).

Hoy en día la producción agrícola se sustenta de un consumo energético sorprendente, donde interviene el uso de la maquinaria, los insumos y el uso de la electricidad. El flujo de esta, que se establece durante la producción agropecuaria (Montiel, 2003; Baracca, 2007), donde la labranza del suelo influye en el consumo de energía de forma directa e indirecta, vinculado a los cambios tecnológicos existentes en la agricultura (Canakci y Akinci, 2006).

El desarrollo tecnológico alcanzado por la agricultura está condicionado, por la cantidad de energía que se consume por unidad de superficie cultivada. Donde el combustible, la maquinaria, los fertilizantes y las semillas son los factores de producción que conllevan a la mayor parte del consumo total, asociado a un determinado sistema productivo (Kallivroussis *et al.*, 2002).

En el proceso de evaluación energética de un proceso determinado, se identifican las cantidades de energía captadas, asociada a los equipos e insumos que intervienen en los procesos de un cultivo determinado, donde (Arredondo *et al.*, 2003) la energía requerida y aportada (*Input-Output*) se calcula para obtener un producto final. Cada uno de ellos presenta una serie de requerimientos, siendo la energía total la suma de los parciales de cada proceso (Paneque *et al.*, 2002).

En la actualidad la producción de alimento, en este caso granos constituye un reto para el país, donde influye en el descontrol del consumo energético, ya que las normas de consumo son una de las principales causas que atentan en contra las condiciones actuales de explotación de la maquinaria (Socorro y Martín, 1989). El objetivo de este trabajo es evaluar el consumo energético de la labor de rotura del suelo con arados de discos para el cultivo del frijol en la UEB “Agrícola”.

Materiales y métodos

Localización del área experimental

El trabajo investigativo se desarrolló en UEB “Agrícola” perteneciente a la Empresa Agropecuaria “Paquito Rosales Benítez”, del municipio de Yara de la provincia de Granma, Cuba, sobre un *Fluvisol* (Hernández *et al.*, 2015). El objetivo de evaluar el consumo energético de la labor de rotura del suelo con arados de discos para el cultivo del frijol, teniendo en cuenta el consumo de energía de uso directo e indirecto, la energía de entrada del proceso (*Input*).

Climatología de la zona donde se desarrolló el trabajo

En Cuba, predomina una temperatura relativamente alta en casi todo el año. Durante el ensayo, en la provincia de Granma se registraron valores promedios de temperaturas mínimas y máximas de 19,80°C y 34,90°C respectivamente, oscilando entre 26,20°C y 27,40°C, con una media de 26,80°C. La humedad relativa del aire, osciló entre 68 y 75 %, promediando un 72 %. La velocidad de los vientos fluctuó entre 6,10 y 13 km·h⁻¹. Con

un promedio de precipitaciones totales de 1 207 mm, promediando en 23,20 mm (Naranjo y Gutiérrez, 2017).

Diseño experimental

Se montó un diseño experimental en bloques al azar, con dos tratamientos y tres repeticiones, para un total de 9 parcelas de 320×100 m. Donde se evaluaron los siguientes indicadores: consumo de energía de uso directo e indirecto. Una vez tomados los datos, se realizó un análisis de varianza con el paquete estadístico STATISTICA (Statsoft, 2003), efectuando la prueba de LSD de Fisher con una probabilidad $p < 0,95$.

Actividades de roturación evaluadas

En la investigación se compararon el consumo de energía de dos arados de discos en la labor de rotura del suelo con el tractor Belarus-800 para el cultivo del frijol (T1 y T2).

Tratamientos T1, consistió en la roturación del suelo con arado de discos ADI3M.

Tratamiento T2, consistió en la roturación del suelo con el arado de discos AFT4.

Metodología de cálculo para el balance energético

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

La Energía directa (E_d) incluye aquellas 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)

- 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 ($1,96 \text{ MJ}\cdot\text{h}^{-1}$), (Mandal *et al.*, 2002)

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 incluye, la utilización de la maquinaria y de los factores de producción:

- a) Energía de uso indirecto asociada a la utilización de la maquinaria (E_{imq}), ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$).

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

Donde:

E_f , es el factor energético, debido a la fabricación del equipo ($87 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$), (Bowers, 1992)

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

E_t , es el factor energético, debido al transporte del equipo desde la fábrica ($88 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$), (Bowers, 1992)

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, correspondiente a reparación y mantenimiento de los equipos mecánicos utilizados, junto con sus correspondientes vidas útiles y los factores de conversión en energía en el Anexo 4.

Factor energético correspondiente a mantenimiento, reparaciones y vida útil de los equipos

Equipos	Energía de reparación (%)	Fuente:	Vida útil (h)	Fuente:
Tractor	49	Bowers (1992)	12 000	ASAE (2006)
Arado de discos	97	Chamsing <i>et al.</i> (2006)	6 000	MINAG (2008)

Energía total del proceso:

- a) Energía total (*Input*) consumida en el proceso de labranza, ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$).

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

Resultados y discusión

Energía de uso directo

En la Figura 1 se muestra la energía total de uso directo relacionada con el uso del combustible, consumida en los dos tratamientos. Para lo cual se evidencia una diferencia

significativa entre los tratamientos, donde T1 mostró el mayor consumo de energía (6 560,00 MJ·ha⁻¹), superando en 10 % a la energía consumida por T2 con solo 5 904,00 MJ·ha⁻¹.

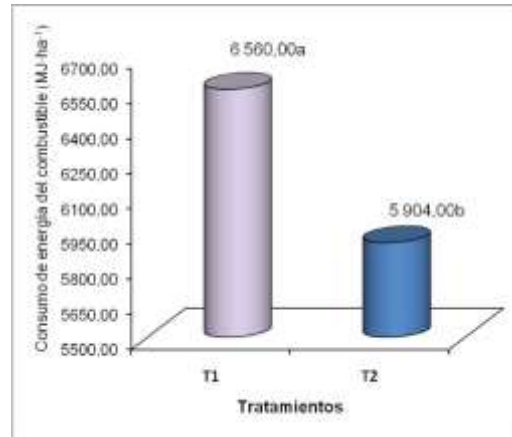


Figura 1. Consumo de energía asociado al uso del combustible.

Algo similar se muestra al analizar la energía asociada a la mano de obra (Figura 2), la cual mostró diferencia significativa entre los tratamientos, donde T1 alcanzó el mayor consumo de energía (19,60 MJ·ha⁻¹), 50 % superior a la energía alcanzada por T2 , con solo 9,80 MJ·ha⁻¹. La energía humana consumida por T1 es considerada de buena, ya que, según Olivet (2017), para la labranza del suelo se emplea un personal reducido.

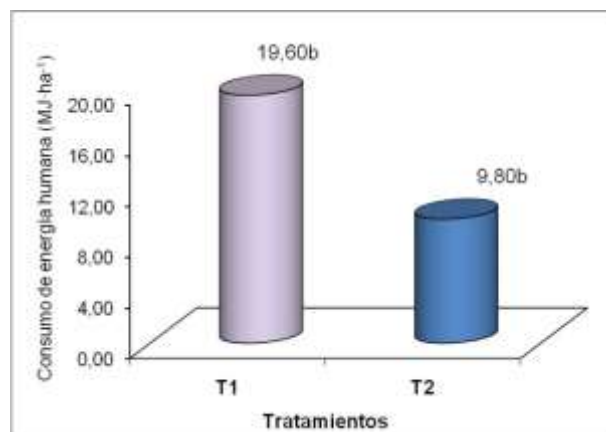


Figura 2. Consumo de energía asociado a la mano de obra.

La suma de la energía relacionada con el consumo de combustible más la humana como resultado la energía directa, por cada uno de los tratamientos (Figura 3), donde se observa una diferencia significativa, entre los tratamientos, donde T1 mostró el mayor

consumo ($6\,580\text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$), superando en 10 % a T2 con solo $5\,914\text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Este resultado se corresponde con los criterios de Fluck (1992) y Álvarez *et al.* (2006), los cuales coinciden en que el combustible y la maquinaria representan un alto porcentaje del coste energético total, de la producción agrícola.

Como se parecía en T1 y T2 que el combustible representa el 100 % del consumo de energía total respectivamente, con relación a la energía humana empleada, estando en correspondencia con los valores obtenidos por Márquez (2012); de las Cuevas *et al.*(2004), Rodríguez (2016); Olivet (2017) y Parra *et al.* (2017).

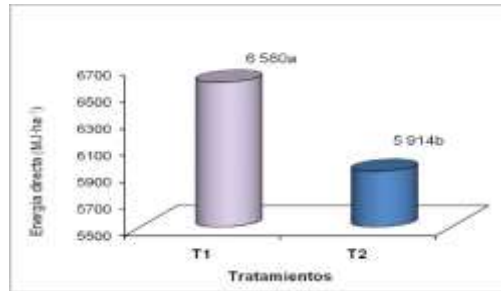


Figura 3. Consumo de energía directa.

Energía de uso indirecta

En la Figura 4 se aprecia la energía de uso indirecto del proceso, donde interviene el uso de la maquinaria agrícola, para lo cual se encontró diferencia significativa entre los tratamientos, según la prueba del LSD de Fisher para ($p < 0,95$). Al respecto, T1 mostró el mayor consumo de energía ($672,14\text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$), siendo 48 % superior a la energía de consumida por T2 con solo $347,08\text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Estos resultados están por debajo de lo alcanzado por Rodríguez (2016) y Olivet (2017) al evaluar el consumo energético para la labranza del suelo para el cultivo de frijol.

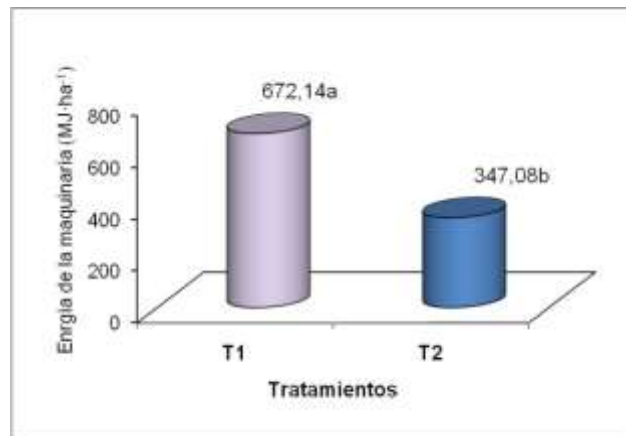


Figura 4. Consumo de energía indirecta.

Energía total *Input*

En la Figura 5 aparece el comportamiento de la energía *Input* total del proceso, mostrando diferencia significativa entre los tratamientos, donde T1 alcanzó el mayor consumo de energía ($7\,252\text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$), siendo 14 % superior a los valores registrados por T2 ($6\,261\text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$).

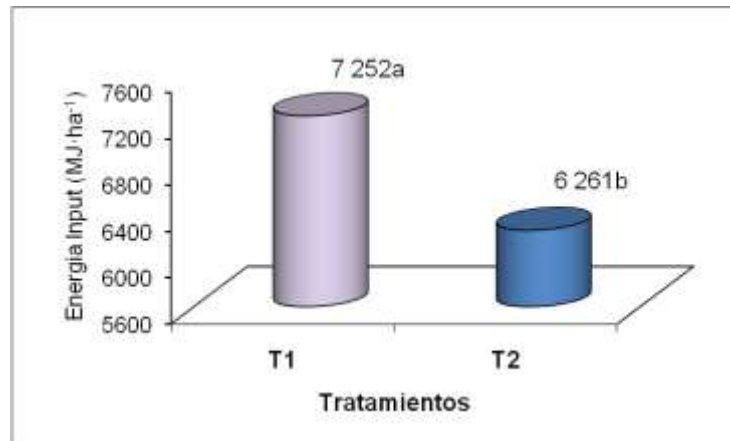


Figura 5. Energía de entrada *Input*.

Conclusiones

1. Con T1 se alcanzó el mayor consumo de energía *Input* ($7\,252\text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$), 14 % superior a los valores registrados por T2 ($6\,261\text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) respectivamente.
2. El mayor consumo de energía asociado al uso del combustible se reportó en T1 con $6\,560,00\text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, 10 % superior a T2 con $5\,904,00\text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$.
3. El consumo de energético asociado a la mano de obra fue mayor en T1 ($19,60\text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) con relación a T2 ($9,80\text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$).
4. Con T1 se alcanzó el mayor valor de consumo de energía de uso directa ($6\,580\text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) e indirecta ($672,14\text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) con relación a T2 respectivamente.

Referencias bibliográficas

- Álvarez, R. L., Paneque, R. P., Álvarez, O. y Brizuela, S. M. (2006). Costo energético de las operaciones de siembra más comunes en Cuba. IIMA. MINAG. Cuba.
- Arredondo, J. J., Ortiz, H., Pössel, D. y Morales, D. (2003). Evaluation of the performance of three types of draught animal plows. *Agrociencia*, 37, 187-194.
- ASAE, S. (2006). Estimating agricultural field machinery costs. By: Shuler, R.T.: Extension Agricultural Engineer.
- Baracca, Á. (2007). La Insostenibilidad del petróleo. *Revista Energía y Tú*, 37, 25-26.

- Bowers, W. (1992). Agricultural field equipment. In: Fluck, R.C. (Ed.), *Energy in World Agriculture. Energy in Farm Production*. Elsevier, Amsterdam, 6, 117-129.
- Márquez, E. (2012). Balance energético de dos tecnologías de labranza en un fluvisol para el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). (Trabajo de Diploma, curso 2011-2012), Universidad de Granma, Facultad de Ciencias Técnicas.
- Naranjo, J. E. y Gutiérrez, E. (2017). Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Centro Meteorológico Decadal, 28(30), 1-5.
- 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.
- Parra, L. R., Hernanz, J. L. y Sánchez-Girón, V. (2017). Influencia de cuatro sistemas de laboreo en las propiedades físicas de un Fluvisol y en el balance energético en cultivos de raíces y tubérculos. *Revista Universidad & Ciencia*, 6(1), 65-81.
- Rodríguez, L. (2016). Balance energético para el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la Unidad Básica de Producción Cooperativa "14 de Junio". (Trabajo de Diploma, curso 2015-2016), Universidad de Granma, Facultad de Ciencias Técnicas.
- SShkiliova, L., Fundora, R. y Jarre, C. (2014). La mecanización en la Intensificación Sostenible de la Producción Agrícola (ISPA). *La Técnica*(13), 32-43.
- Vargas, J., García, A. E. y Morejón, Y. (2014). Determinación de los costos energéticos y económicos para producir un buey apto para las labores agrícolas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(4), 51-58.