



EXPLORACIÓN Y PROCESOS MECANIZADOS OPERATION AND MECHANIZED PROCESSES

ARTÍCULO ORIGINAL

Balance energético de dos aperos de labranza en un *Fluvisol* para el cultivo del boniato (*Ipomoea batatas* Lam)

Energetic balance of two farming tools in a Fluvisol for the cultivation of sweet potato (Ipomoea batatas Lam)

Yosvel Enrique Olivet Rodríguez¹ y Daimara Cobas Hernández²

RESUMEN. El trabajo de investigación se llevó a cabo en la Granja Agropecuaria “Ranulfo Leyva Pacheco” perteneciente a la Empresa de Cultivos Varios “Paquito Rosales Benítez”. El proceso de preparación de suelo para el cultivo del boniato no solo altera las propiedades físicas del suelo sino que también conlleva a un elevado consumo energético, especialmente la labor de rotura con arado de discos, donde se consume un gran porcentaje de combustible. El objetivo de este trabajo ha sido evaluar un apero de labranza alternativo de corte vertical y horizontal al tradicional con arado de discos en la labor de rotura, que permita reducir el consumo energético del proceso bajo las condiciones de un *Fluvisol* y las emisiones de dióxido de carbono que llegan a la atmósfera. Los tratamientos considerados han sido rotura tradicional del suelo, T1, que consistió en romper el suelo con arado de discos (ADI-3M) y rotura del suelo, T2, que consistió en romper el suelo con multiarado. Presentando este último el menor consumo energético de uso directo (0,83 GJ ha⁻¹) e indirecto (0,08 GJ ha⁻¹), con un consumo total de 0,91 GJ ha⁻¹, ocasionando la reducción del 66% de las emisiones de CO₂, motivado por una reducción del 69% del consumo de combustible (20,2 L ha⁻¹) con relación a la rotura con el arado de discos con 29,2 L ha⁻¹, bajo las mismas condiciones de suelo y clima.

Palabras clave: suelo, clima, atmósfera, consumo energético, emisiones de CO₂.

ABSTRACT. This research work was carried out at the agricultural and livestock farm “Ranulfo Leyva Pacheco” which belongs to the enterprise of multiple cultivations “Paquito Rosales Benítez”. The soil preparation process for the cultivation of sweet potato not only changes soil physical properties but also leads to high energy consumption, especially in the labor of soil tillage with disk plow, where a great percentage of fuel is consumed. The objective of this work has been to evaluate an alternative farming implement of vertical and horizontal cut to the traditional with disk plow in soil ploughing, which allows reducing energy consumption of the process under the conditions of a *Fluvisol* and also Carbon Dioxide emissions that reach the atmosphere. The treatments considered have been traditional soil ploughing, T1, which consisted in ploughing the soil with the ADI-3M disk plow, and soil ploughing, T2, which consisted in ploughing the soil with a multi-plowing machine. Treatment T2 presented less direct use energy consumption (0,83 GJ ha⁻¹) and indirect use energy consumption (0,08 GJ ha⁻¹), with a total consumption of 0,91 GJ ha⁻¹, causing the 66% reduction of CO₂ emissions, motivated by a 69% reduction of fuel consumption (20,2 L ha⁻¹) regarding the ploughing with disk plow with 29,2 L ha⁻¹ under the same soil and climatic conditions.

Keywords: soil, climate, atmosphere, energy consumption, CO₂ emissions.

INTRODUCCIÓN

El empleo de las máquinas agrícolas depende de las condiciones de la agricultura. Los trabajos mecanizados crean

las condiciones para el desarrollo de la producción agrícola, además facilitan el trabajo y lo hacen más rentable. La amplia mecanización de la producción constituye un camino funda-

Recibido 18/10/11, aprobado 28/01/13, trabajo 18/13, artículo original.

¹ Dr.C., Prof. e Inv., Universidad de Granma, Facultad de Ciencias Técnicas, Carretera Bayamo-Manzanillo km 17 ½, Peralejo. Tel.: 481015 ext. 176. Bayamo, Granma, Cuba, CP 85 100, E-✉: yolivetr@udg.co.cu,

² Lic., Prof., Universidad de Granma, Facultad de Ciencias Sociales y Humanísticas.

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.

mental 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. Esta operación permite obtener un adecuado lecho de siembra, elimina determinados factores que limitan al suelo obtener una producción sostenible de un cultivo, tal como la compactación, encostramiento e infiltración deficiente de agua. La labranza del suelo no sólo altera las propiedades físicas del suelo sino que también contribuye en gran medida al deterioro de la Capa de Ozono, ya que el uso intensivo de la maquinaria agrícola durante la labranza emite grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera, considerándose como contaminante del medio ambiente por su alto porcentaje de consumo energético durante el proceso de laboreo (Olivet, 2010).

La energía absorbida por una máquina agrícola, es una combinación de la fuerza requerida y de la velocidad que se le ofrece, por lo que se convierte en un proceso de análisis (Paneque y Prado 2005), ya que permite comparar los impactos medioambientales de las prácticas agrícolas utilizadas y su eficacia (Haciseferogullari *et al.*, 2003). Donde el consumo de combustible y la maquinaria representan un alto porcentaje del costo energético total de producción (Álvarez *et al.*, 2006), trayendo consigo un incremento del costo total entre un 30–35% (Hetz y Barrios 1997). El objetivo de este trabajo es evaluar un apero de labranza alternativo de corte vertical y horizontal al tradicional con arado de discos en la labor de rotura, que permita reducir el consumo energético del proceso bajo las condiciones de un *Fluvisol* y las emisiones de dióxido de carbono que llegan a la atmósfera y los gastos directos de explotación.

MÉTODOS

Descripción del lugar de ensayo y tratamientos

El trabajo investigativo se desarrolló en la Granja Agropecuaria “Ranulfo Leyva Pacheco” (latitud 20°19'N; longitud 76°47'O), perteneciente a la Empresa de Cultivos Varios “Paquito Rosales Benítez”, del municipio de Yara, Granma, sobre un suelo *Fluvisol* según la nueva clasificación de los suelos de Cuba, de consistencia media, medianamente profundo, relativamente llano, sin presencia de obstáculos, con un pH de 7 y con un buen tempero de humedad, con altitud de 20 m sobre el nivel del mar, temperatura media anual de 26 °C y precipitación media de 1 200 mm. El experimento se inició en diciembre del 2010. Se compararon dos tratamientos de labranza en la labor de rotura para el cultivo del boniato.

Tratamiento T1: rotura del suelo con arado de discos, ADI-3M y tractor MTZ-80, a una profundidad de 20 a 25 cm. Esta operación es la actividad habitual que se realiza en la Granja Agropecuaria para roturar el suelo como labor primaria.

Tratamiento T2: rotura del suelo con multiarado y tractor MTZ-80, a una profundidad de 25 a 30 cm. Esta labor parte de estudios realizados por Parra (2009) y Olivet (2010).

Diseño experimental

Se montó un diseño experimental en bloques al azar, con dos tratamientos y tres repeticiones, para un total de 6 parcelas de 80×20 m. Las variables de estudio fueron: consumo de energía de uso directo e indirecto, consumo energético total, emisiones de dióxido de carbono y gastos directos de explotación. 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 $p < 0,95$.

Metodología de cálculo

Para el cálculo del 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.

Energía directa (E_d) incluye aquella que está asociada al consumo de combustible y a la mano de obra empleada en las diferentes labores:

Energía asociada al consumo de combustible (E_{dc}) (MJ ha⁻¹)

$$E_{dc} = C_c E_{eg} \quad (1)$$

donde:

C_c , es el consumo de combustible (L ha⁻¹);

E_{eg} , es el equivalente energético del gasóleo (41 MJ L⁻¹).

Energía asociada con la mano de obra empleada (E_{dh}) (MJ ha⁻¹)

$$E_{dh} = \frac{E_h n_{ob}}{C_{iob}} \quad (2)$$

donde:

E_h , es el equivalente energético del trabajo humano (1,96 MJ h⁻¹ para el hombre) (Mandal *et al.*, 2002);

n_{ob} , es la cantidad de obreros que participan en una determinada labor;

C_{iob} , es la capacidad de trabajo de los obreros agrícolas (ha h⁻¹).

Energía de uso indirecto asociada a la utilización de la maquinaria (E_{imq}) (MJ 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 MJ 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 MJ kg⁻¹), (Bowers, 1992);

m_{eq} , es la masa del equipo (kg);

V_u , es la vida útil del equipo (h);

a_t , es la anchura de trabajo del equipo (m);

v_{tr} , es la velocidad real de trabajo (km h⁻¹).

Los valores del factor energético correspondiente a reparación y mantenimiento de los diferentes equipos mecánicos utilizados, junto con sus correspondientes vidas útiles, están recogidos en la Tabla 1.

TABLA 1. Factor energético correspondiente a reparaciones y mantenimiento, y vida útil de cada equipo

| Equipos | Energía de reparación (%) | | 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 |
| Multiarado | 58 | Bowers, 1992 | 6 000 | MINAG, 2008 |

Energía contenida en la preparación del suelo

Energía total asociada a la preparación del suelo (I_{ecs}) (GJ ha⁻¹)

$$I_{ecs} = E_d + E_i(4)$$

Emisiones de dióxido de carbono

$$CO_2 = I_{ecs} EqCO_2 \quad (5)$$

donde:

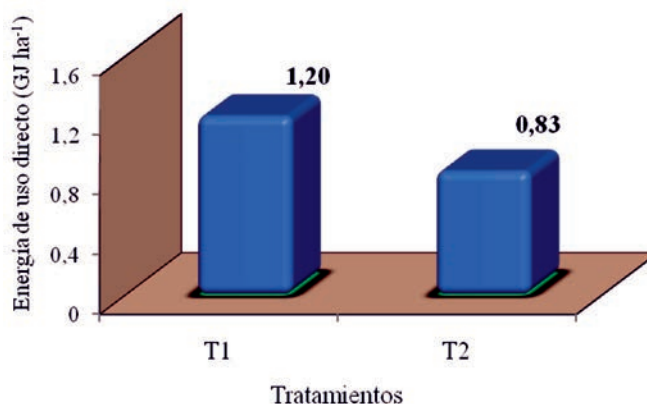
$EqCO_2$, es el equivalente de las emisiones de CO₂ (73,95 kg CO₂E GJ⁻¹).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

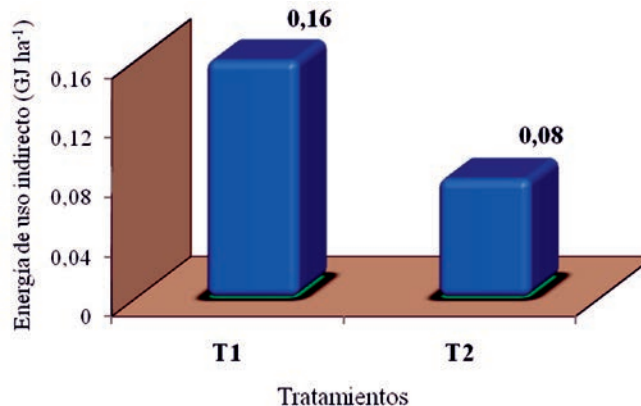
Balance energético

Energía directa e indirecta

En todo proceso productivo el análisis de la utilización de la energía es un instrumento a tener en cuenta para evaluar las labores mecanizadas, en este caso la labor de rotura con arado de discos y con multiarado, ya que permite hacer un uso más eficiente de los recursos y medios. La energía se desglosa en dos, en energía de uso directo asociada al consumo de combustible y el trabajo humano, y la energía de uso indirecto asociada la maquinaria que interviene en el proceso. En la Figura 1 se observa los valores de energía de ambas labores de rotura, para lo cual con el uso del arado de discos ADI-3M se consume una energía de 1,20 GJ ha⁻¹, superando en un 69% al consumo energético alcanzado con el uso del multiarado, con 0,83 GJ ha⁻¹. El 99% de este consumo de energía, por el uso del arado de disco, estuvo referido al consumo de combustible (gasóleo) con 29,20 L ha⁻¹, correspondiéndose con lo señalado por Álvarez *et al.* (2006) y Parra (2009), quienes con sistemas de labranza reducida alcanzaron un menor consumo de combustible con respecto al de los sistemas de labranza tradicional. Algo similar ocurre cuando se analizó la energía de uso indirecto, donde sólo se tuvo en cuenta la maquinaria agrícola, con valores de energía de 0,16 GJ ha⁻¹ haciendo uso del arado de discos, y 0,08 GJ ha⁻¹ para el multiarado, reduciéndose este último en un 50% con relación a la rotura con arado de discos, tal y como se muestra en la Figura 2.



T1, rotura con arado de discos; T2, rotura con multiarado
FIGURA 1. Comportamiento de la energía de uso directo.

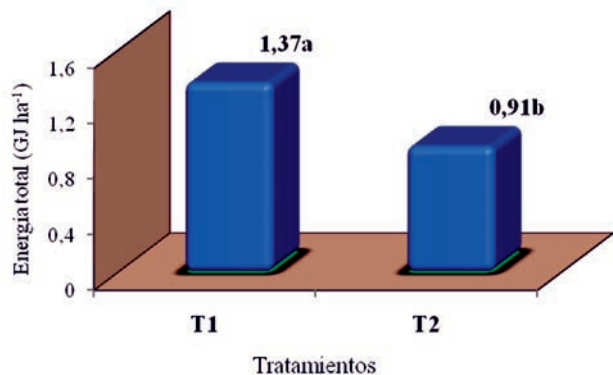


T1, rotura con arado de discos; T2, rotura con multiarado
FIGURA 2. Comportamiento de la energía de uso indirecto.

Energía total

La energía total, producto de la suma de la energía directa e indirecta, permitió hacer un mejor análisis del consumo energético del proceso. En la Figura 3 se muestra la diferencia significativa entre ambos tratamientos, para lo cual con el uso del multiarado se alcanzó un consumo energético de 0,91 GJ ha⁻¹, inferior este resultado al consumido por el arado de discos en la labor de rotura, con un consumo medio de 1,37 GJ ha⁻¹. El consumo energético en la labor de rotura con el multiarado estuvo por debajo en 1,29 y 0,29 GJ ha⁻¹ de la energía consumida

por Hetz y Barrios (1997), con un arado de vertedera y Bailey *et al.* (2003), Paneque y Soto (2007) con un arado de discos.

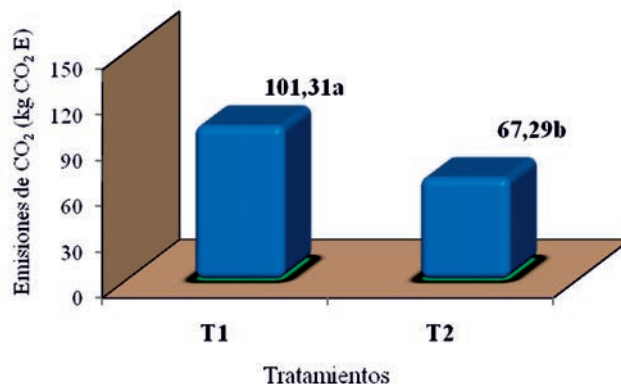


T1, rotura con arado de discos; T2, rotura con multiarado
 Diferencia significativa para (p<0.95) según la prueba de LSD
 FIGURA 3. Comportamiento de la energía de uso indirecto asociada a la maquinaria agrícola.

Emisiones de dióxido de carbono

Hoy día expresar la energía consumida en términos de unidades de dióxido de carbono equivalente (kg CO₂E) es de gran importancia para el uso de la maquinaria dentro de la agricultura mecanizada que presentamos. Las labores de preparación del suelo, especialmente la labor de rotura tanto con el arado de discos como con multiarado durante esa operación son capaces de emitir gran cantidad de dióxido de carbono a la atmósfera. En este sentido con el empleo del multiarado formando agregado con el tractor MTZ-80, se logró reducir en un 66% las emisiones de CO₂ de 101,31 kg CO₂E con relación al uso del arado de discos en el tratamiento, T1, tal y como se observa en la Figura 4. Producto a que en este último se consume mayor cantidad de combustible (29,2 L ha⁻¹), representado el 99% de la energía consumida durante la labor de rotura con arado de discos ADI-3M.

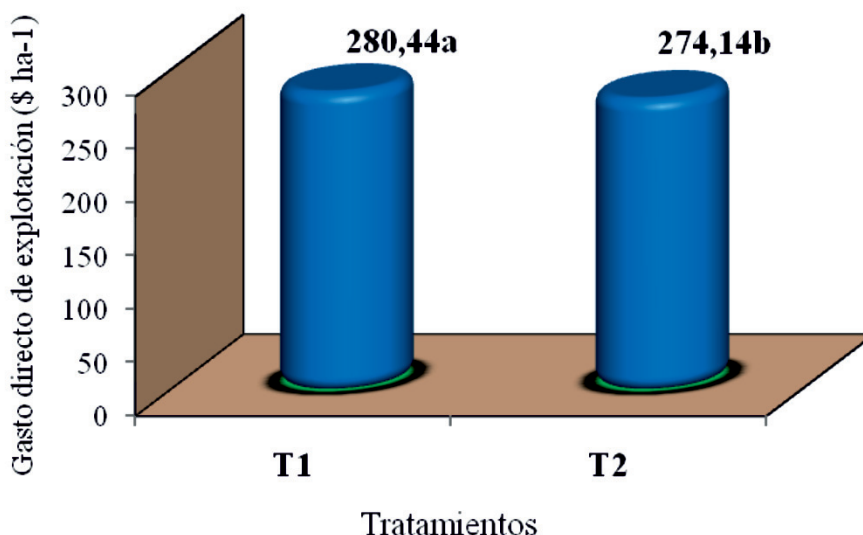
Este resultado, referido a las emisiones de dióxido de carbono, alcanzado por el conjunto multiarado y tractor MTZ-80 durante la labor de rotura es considerado de bueno, ya que una disminución del consumo de combustible facilita una reducción sustancial de las emisiones de CO₂ que es capaz de llegar a la atmósfera (Parra, 2009 y Olivet, 2010).



T1, rotura con arado de discos; T2, rotura con multiarado
 Diferencia significativa para (p<0.95) según la prueba de LSD
 FIGURA 4. Comportamiento de las emisiones de CO₂

Valoración económica

En todo trabajo investigativo los gastos directos de explotación juegan un papel muy importante, ya que determinan el mejor uso y empleo de los recursos humanos, materiales y energéticos en la producción de cualquier cultivo. En nuestro caso (Figura 5), los mejores resultados se alcanzaron en la labor de rotura con el multiarado formando agregado con el tractor MTZ-80, con un gasto de 274,14 pesos por hectárea, inferior en un 2% al gasto directo proporcionado en la labor de rotura con el arado de discos ADI-3M formando agregado con el mismo tractor.



T1, rotura con arado de discos; T2, rotura con multiarado
 Diferencia significativa para (p<0.95) según la prueba de LSD
 FIGURA 5. Gastos directos de explotación.

CONCLUSIONES

- Aplicando la metodología del consumo energético para dos aperos de labranza (arado de discos y multiarado) en la labor de rotura en un *Fluvisol* para el cultivo del boniato se determinó que el menor consumo energético asociado al uso del combustible y trabajo humano se alcanzó con el multiarado (0,83 GJ ha⁻¹), 69% inferior a la energía de uso directo consumida por el arado de discos, reportando este último el mayor consumo energético (1,20 GJ ha⁻¹).
- Se comprobó que con el uso del arado de discos y tractor

MTZ-80 se alcanza el mayor consumo energético de uso indirecto (0,16 GJ ha⁻¹) y con el uso del multiarado con mismo tractor el menor consumo (0,08 GJ ha⁻¹), este último con un consumo total de 0,91 GJ ha⁻¹, con relación al uso del arado de discos.

- Con el uso del arado de discos para la labor de rotura se alcanzó las mayores emisiones de dióxido de carbono (101,31 kg CO₂E), con relación al uso del multiarado con emisiones de 67,29 kg CO₂E. Reportando también, T1, los mayores gastos directos de explotación (280,44 peso ha⁻¹) con relación al uso del multiarado en la labor de rotura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ÁLVAREZ, R.L., P. PANEQUE, O. ÁLVAREZ Y M. BRIZUELA: *Costo energético de las operaciones de siembra más comunes en Cuba*, Ed. IIMA, MINAG, La Habana, Cuba, 2006.
2. ASAE STANDARD: *Estimating agricultural field machinery costs*, By: Shuler, R.T., Extension Agricultural Engineer, USA, 2006.
3. BAILEY, A.P., W.D. BASFORD, N. PENLINGTON, J.R. PARK, D.H. KEATINGE, T. REHMAN, R.B. TRANTER, & C.M. YATES: "A comparison of energy use in conventional and integrated arable farming systems in the UK", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 97: 241-253, 2003.
4. BOWERS, W.: *Agricultural field equipment*, 6: 117-129, In: Fluck, R.C. (Ed.), *Energy in World Agriculture, Energy in Farm Production*, Elsevier, Amsterdam, 1992.
5. CHAMSING, A., V. SALOKHE, & G. SINGH: *Energy Consumption for Selected Crops in Different Regions of Thailand*, Agricultural Systems and Engineering, School of Environment, Resources and Development Asian Institute of Technology, Doon University, India, 2006.
6. HACISEFEROGULLARI, H., M. ACAROGLU & I. GEZER: "Determination of the energy balance of the sugar beet plant", *Energy Sources* 25(1), 15-22, 2003.
7. HETZ, E. y A. BARRIOS: "Costo energético de las operaciones agrícolas mecanizadas más comunes en Chile", *Agro sur*, 25(2): 1997.
8. MANDAL, K.G., K.P. SAHA, P.K. GHOSH, K.M. HATI & K.K. BANDYOPADHYAY: "Bioenergy and economic analysis of soybean-based crop production systems in central India", *Biomass and Bioenergy*, 23: 337-345, 2002.
9. OLIVET, Y.E.: *Efecto de tres sistemas de labranza en las propiedades físicas y en el consumo energético para el cultivo del tabaco (Nicotiana tabacum L.) en un Vertisol*, Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ingeniería Rural), Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Madrid, España, 2010.
10. PANEQUE, P. y D. SOTO: "Costo energético de las labores de preparación de suelos en Cuba", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(4): 17-21, 2007.
11. PANEQUE, R. P. y Y. PRADO: "Comparación de tres sistemas agrícolas en el cultivo del fríjol", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 14(3): 42-48, 2005.
12. PARRA, S. L.R.: *Influencia de cuatro sistemas de laboreo en las propiedades físicas de un Fluvisol y en el balance energético en cultivos de raíces y tubérculos*, 178pp Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ingeniería Rural), Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Madrid, España, 2009.