



Revista Ingeniería Agrícola

ISSN: 2306-1545

dptoambiente4@iagric.cu

Instituto de Investigaciones de Ingeniería
Agrícola
Cuba

Olivet Rodríguez, Yosvel Enrique; Sánchez-Girón Renedo, Víctor; Parra Serrano, Luis
Raúl

Balance energético de tres tecnologías de labranza en un Vertisol para el cultivo del
tabaco (*Nicotiana tabacum* L.)

Revista Ingeniería Agrícola, vol. 4, núm. 2, abril-junio, 2014, pp. 35-40

Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola
La Habana, Cuba

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=586262040006>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

MECANIZACIÓN AGROPECUARIA

ARTÍCULO ORIGINAL

Balance energético de tres tecnologías de labranza en un *Vertisol* para el cultivo del tabaco (*Nicotiana tabacum* L.)

Energy balance of three farming technology in a Vertisol for the cultivation of tobacco (Nicotiana tabacum L.)

Dr.C. Yosvel Enrique Olivet Rodríguez¹, Dr.C. Víctor Sánchez-Girón Renedo^{II}, Dr.C. Luis Raúl Parra Serrano^I

^I Universidad de Granma, Facultad de Ciencias Técnicas, Bayamo, Granma, Cuba.

^{II} Universidad Politécnica de Madrid, España.

RESUMEN. El proceso de preparación del suelo no solo altera las propiedades físicas del mismo sino que también conlleva a un elevado consumo energético. El objetivo de este trabajo ha sido comparar dos tecnologías de labranza mínima, T2 y T3, con relación al laboreo tradicional, T1, que permita reducir el consumo energético del proceso bajo las condiciones de un *Vertisol* y las emisiones de dióxido de carbono que llegan a la atmósfera. Presentado los sistemas de labranza mínima el menor consumo energético de uso directo e indirecto, en particular, T3, con un consumo de 4,44 y 5,95 GJ ha⁻¹ respectivamente, para una energía total de entrada (Input) de 10,38 GJ ha⁻¹ y un consumo por unidad de producto obtenido de 4,60 GJ t⁻¹ como promedio. Mientras que la energía total de salida (Output) asociada al cultivo ascendió a 20,78 GJ ha⁻¹ como promedio, superando en un 14% a la energía alcanzada por T1, y en un 5% por, T2; proporcionando, T3, la mayor relación energética y la mayor eficiencia energética, con valores de 2,01 y 1,01, respectivamente, superando en un 30% y en un 59% a los obtenidos con T1. El mayor consumo de energía entrante, y por tanto las mayores emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, se obtuvieron con T1, mientras que el menor consumo de combustible y las menores emisiones de dióxido de carbono fueron las de T3, que resultó ser el tratamiento de mejores resultados.

Palabras clave: suelo, laboreo, energía de uso directo, energía de uso indirecto, emisiones de dióxido de carbono.

ABSTRACT. Soil preparation process not only changes the physical properties of the soil, but also leads to high energy consumption. This research is aimed at comparing two reduced farming technology, T2 and T3, to the traditional farming technology T1, which allows reducing energy consumption of the process under *Vertisol* conditions as well as Carbon Dioxide emissions reaching the atmosphere. Reduced farming technology presented the lowest direct and indirect use energy consumption, especially T3, with consumption of 4,44 y 5,95 GJ ha⁻¹ respectively, for a total of input energy of 10,38 GJ ha⁻¹ and an average consumption per unit of the product obtained of 4,60 GJ t⁻¹. Meanwhile the total output energy associated to the cultivation reached 20,78 GJ ha⁻¹ as average, overcoming in a 14% the energy reached by T1 and in a 5% the energy reached by T2. The system T3 provided the highest energetic relationship and energy efficiency with values of 2,01 y 1,01, respectively, overcoming in a 30% and 59% the values obtained with T1. The highest input energy consumption and therefore the biggest Carbon Dioxide emissions to the atmosphere were obtained with T1, whereas the lowest fuel consumption and Carbon Dioxide emissions were those of T3, resulting the best treatment.

Keywords: soil, tillage, direct energy, indirect energy, carbon dioxide emissions.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, los sistemas de labranza tradicionales presentan un consumo de combustible de 60 a 80 L ha⁻¹, mientras que los sistemas de labranza reducida pueden llegar a suponer un ahorro significativo en términos de energía sin poner en riesgo la productividad de los cultivos (Canakci y Akinci, 2006). Por ejemplo, el combustible, la maquinaria, los fertilizantes y las

semillas son los factores de producción que conllevan la mayor parte del consumo total de energía asociado a un determinado sistema productivo (Hatirli *et al.*, 2006). El combustible que se consume al realizar una determinada labor de cultivo depende de una serie de variables entre las que podemos destacar el tipo de suelo y su estado o condición en el momento de ser labrado,

la potencia del tractor, el apuro utilizado y la profundidad a la que trabaja (LaI, 2004).

La labranza del suelo es una de las operaciones de mayor consumo de energía en la agricultura, y por ende un importante contribuyente a las emisiones de CO₂ (Filipovic *et al.*, 2006). Las emisiones masivas de dióxido de carbono producido por la quema de combustibles fósiles y su influencia en el clima se han convertido en una cuestión ecológica y política importante. La concentración de CO₂ en la atmósfera ha aumentado rápidamente durante las últimas décadas. Los combustibles fósiles siguen siendo los más utilizados, y las emisiones de CO₂ continúan creciendo a medida que hoy en día se está generalizando la adopción de una agricultura intensiva (Masjuki *et al.*, 2002, Jean-Baptiste y Ducroux, 2003). La utilización racional de la energía es vital para asegurar el aumento de la producción de alimentos de forma eficiente, y para mejorar la productividad y la competitividad de la agricultura al objeto de garantizar la sostenibilidad de la vida rural. El objetivo de este trabajo ha sido comparar dos tecnologías de labranza mínima, con relación al laboreo tradicional, que permita reducir el consumo energético del proceso bajo las condiciones de un *Vertisol* y las emisiones de dióxido de carbono que llegan a la atmósfera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del lugar de ensayo y tratamientos

El trabajo investigativo se llevó a cabo en la Cooperativa de Créditos y Servicios "General García" (latitud 20°23'N; longitud 76°38'O), dedicada al cultivo del tabaco, perteneciente a la Empresa de Acopio y Beneficio del Tabaco del municipio de Bayamo, provincia de Granma, sobre un *Vertisol*, según la Nueva Clasificación Genética de los suelos de Cuba (ONE, 2006 y FAO, 2006). El experimento se inició en la segunda quincena noviembre del 2005, repitiéndose de igual forma hasta el 2008. Se comparó tres tratamientos de labranza para evaluar el consumo energético y las emisiones de dióxido de carbono.

Tratamiento T1 (tecnología de labranza tradicional): rotura del suelo con arado de discos + pase de grada de discos + cruce con arado de discos + pase de grada de discos (con tractor de 14 kN) + pase arado de vertedera + mullido con una grada de púas (con tracción animal).

Tratamiento T2 (tecnología de labranza mínima): rotura del suelo del suelo con mullido + dos pases cruzados de grada de discos (con tractor de 14 kN).

Tratamiento T3 (tecnología de labranza mínima): dos pases cruzados de escarificador + pase de grada de discos (con tractor de 14 kN).

Diseño experimental

Se montó un diseño experimental en bloques al azar, con tres tratamientos y tres repeticiones, para un total de nueve parcelas de 80x20 m. Las variables de estudio fueron: consumo de energía de uso directo e indirecto, consumo energético total de proceso y emisiones dióxido de carbono. Los datos obtenidos se procesaron con el paquete estadístico STATISTICA

(Statsoft, 2003). Al detectar diferencias significativas entre las variables medidas en los tratamientos, la separación de medias se efectuó con la prueba de rangos múltiples de Duncan con una probabilidad $p < 0.01$.

Determinación del balance energético de los sistemas de laboreo

Energía directa (E_d)

a) 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 combustible diesel (41 MJ L⁻¹) (Saunders *et al.*, 2006).

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

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

donde:

E_h, es el equivalente energético del trabajo humano (1,96 para el hombre y 1,57 MJ h⁻¹ para la mujer) (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 (ha h⁻¹).

c) Energía asociada con los animales utilizados en labores de tiro (E_{da}) (MJ ha⁻¹)

$$E_{da} = \frac{E_a n_a}{C_{ta}} \quad (3)$$

donde:

E_a, es el equivalente energético del trabajo animal (5,05 MJ h⁻¹) (Ozkan *et al.*, 2004);

n_a, es la cantidad de animales que participan en una determinada labor;

C_{ta}, es la capacidad de trabajo de los animales (ha h⁻¹).

Energía indirecta (E_i)

a) Energía de uso indirecto asociada a la utilización de la maquinaria (E_{imq}) (MJ ha⁻¹)

$$E_{imq} = \frac{m_{eq} [E_f (1 + (E_r / 100)) + E_t]}{V_u} \times \frac{10}{a_t v_{tr}} \quad (4)$$

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 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_r , es la anchura de trabajo del equipo (m);
 v_r , es la velocidad real de trabajo (km h⁻¹).
 b) Energía indirecta de los insumos de producción (E_{iin}) (MJ kg⁻¹)

$$E_{iin} = D_s E_{ein} \quad (5)$$

donde:

D_s , es la dosis de insumo (kg ha⁻¹ o L ha⁻¹);
 E_{ein} , es el equivalente energético de los insumos (Tabla 2).

Energía contenida en el producto obtenido

a) Energía total consumida por el cultivo por unidad de superficie (I_{ecs}) (GJ ha⁻¹)

$$I_{ecs} = E_d + E_i \quad (6)$$

b) Energía total consumida por unidad de producto obtenido (I_{ecr}) (GJ kg⁻¹)

$$I_{ecr} = \frac{I_{ecs}}{R_{ac}} \quad (7)$$

donde:

R_{ac} , es el rendimiento del cultivo (kg ha⁻¹).
 c) Energía contenida en el producto obtenido por unidad de superficie (O_{ecs}) (GJ ha⁻¹)

$$O_{ecs} = R_{ac} E_{eq} \quad (8)$$

donde:

R_{ac} , es el rendimiento del cultivo (kg ha⁻¹);
 E_{eq} , es la energía equivalente del cultivo (9,20 MJ kg⁻¹) (B S - R E C , 2007).

d) Relación energética del cultivo (E_{ue})

$$E_{ue} = \frac{O_{ecs}}{I_{ecs}} \quad (9)$$

e) Coeficiente de eficiencia energética del cultivo (NER)

$$NER = \frac{O_{ecs} - I_{ecs}}{I_{ecs}} \quad (10)$$

Emisiones de dióxido de carbono

a) Relación entre el dióxido de carbono asociado al producto obtenido y los insumos (NER_{CO_2})

$$NER_{CO_2} = \frac{C_{O_{ecs}}}{C_{I_{ecs}}} \quad (11)$$

b) Coeficiente de eficiencia de reducción de las emisiones de

dióxido de carbono (NER_{CO_2})

$$NER_{CO_2} = \frac{C_{O_{ecs}} - C_{I_{ecs}}}{C_{I_{ecs}}} \quad (12)$$

c) Índice de sostenibilidad (I_{SCO_2}). Expresa la eficiencia en las emisiones de dióxido de carbono de un sistema de laboreo con relación al laboreo convencional.

$$C_{O_{ecs}} = O_{ecs} EqCO_2 \quad (13)$$

$$C_{I_{ecs}} = I_{ecs} EqCO_2 \quad (14)$$

donde:

$EqCO_2$, es el equivalente de las emisiones de CO₂ (73,95 kg CO₂ E G J⁻¹) (Lal, 2004);

$C_{O_{T1}}$, son las emisiones de CO₂ en función de energía del producto en el laboreo convencional (Output);

$C_{I_{T1}}$, son las emisiones de CO₂ en función de la energía entrante en el laboreo convencional (Input).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Energía de uso directo asociada al cultivo

Al analizar la energía de uso directo por tratamiento tal y como se observa en la Tabla 1, T1 fue la tecnología de labranza que más energía consumió (6,44 GJ ha⁻¹), superando en un 36% a T2 y en 43% a T3. El 58% de esta energía consumida en T1 se refiere al consumo de combustible (diesel), producto del elevado número de labores mecánicas realizadas haciendo uso del arado de discos y de la grada de discos, llegando el mismo a alcanzar cifras de 32 L ha⁻¹ y de 37 L ha⁻¹ por encima del obtenido en las tecnologías de labranza reducida T2 y T3 respectivamente. Estos valores coinciden con lo señalado por Fluck y Baird (1992); Álvarez *et al.* (2006), quienes con tecnologías de labranza reducida alcanzaron un menor consumo de combustible respecto al uso de las tecnologías de labranza tradicional. En este caso T3 presenta una reducción del 57% con relación a la tecnología de labranza tradicional (T1).

TABLA 1. Energía de uso directo (GJ ha⁻¹) asociada al cultivo

Período 2005/2008*	Tratamientos**		
	T1	T2	T3
Combustible (diesel)	3,74	2,40	2,14
Humana	1,89	1,83	1,83
Animal	0,81	0,47	0,47
Total	6,44	4,70	4,44

*Período evaluado. **T1, sistema de labranza tradicional; T2, sistema de labranza mínima con ultirado y grada de discos; T3, sistema de labranza mínima con escarificador y grada de discos.

El 29% de la energía directa estuvo asociada a la energía humana, debido a la cantidad de labores y actividades manuales que se realizaron en este cultivo para garantizar un buen desa-

rollo y calidad de sus hojas, y el 13% de la misma correspondió a la energía animal, la cual fue combinada con la energía mecánica en las labores de preparación del suelo, ocasionando una energía de uso directo total en T1 de 0,81 GJ ha⁻¹, superando en un 42% a T2 y T3, a quienes les correspondió un consumo de 0,47 GJ ha⁻¹.

La reducción del número de labores en T3 y T2 trajo consigo un menor consumo de combustible, y de trabajo humano y animal. En este caso, T3 alcanzó el más bajo consumo de energía de uso directo, 4,44 GJ ha⁻¹, un 48% del mismo correspondió al consumo de combustible, 2,14 GJ ha⁻¹, siendo este valor un 11% inferior a la energía asociada al combustible obtenida por De las Cuevas *et al.* (2004) con labranza reducida. Los porcentajes de energía que en T3 se atribuyeron al trabajo humano y animal fueron el 41 y 11% respectivamente.

Energía de uso indirecto asociada al cultivo

En la Tabla 2 se muestra los valores de la energía de uso indirecto. En todos los tratamientos, el 71% de esa energía está vinculada a los fertilizantes, fundamentalmente el nitrógeno, un 11% a los pesticidas, y un 9% por concepto de las posturas utilizadas para la plantación. Se aprecia, que se consume un alto porcentaje de energía de forma indirecta por concepto de fertilizantes y pesticidas. Esto se debió a la elevada dosis que de estos últimos se aplicó al cultivo para obtener una producción de buena calidad, coincidiendo así con el criterio de Cleveland (1995); Conforti y Giampetro (1997); Gezer *et al.* (2003).

TABLA 2. Energía de uso indirecto (GJ ha⁻¹) asociada al cultivo

Periodo 2005/2008*	Tratamientos**		
	T1	T2	T3
Maquinaria	0,53	0,29	0,22
Fertilizantes	4,32	4,32	4,32
Pesticidas	0,67	0,67	0,67
Herbicidas	0,22	0,22	0,22
Posturas	0,52	0,52	0,52
Total	6,26	6,02	5,95

*Período evaluado. **T1, sistema de labranza tradicional; T2, sistema de labranza mínima con multirado y grada de discos; T3, sistema de labranza mínima con escarificador y grada de discos.

Esta energía se puede disminuir reduciendo la entrada de fertilizantes y de pesticidas (Swanton *et al.*, 1996), pero

para las condiciones edafoclimáticas de la región Oriental de Cuba esta reducción es imposible, ya que la mayoría de los suelos dedicados a este cultivo se encuentran muy desgastados y con bajos rendimientos agrícolas. Por otro lado, la variabilidad de las temperaturas y la irregularidad de las precipitaciones de la región dan lugar a la aparición de enfermedades fungosas y plagas en el cultivo (Torrecilla *et al.*, 1986), por lo que su prevención es muy importante. Por tanto, para esta variedad de tabaco Habana-2000 y modalidad de plantación al sol y al palo se aplicaron las dosis de fertilizantes y de pesticidas recomendadas por González y Jiménez (2003), aun sabiendo que el empleo del nitrógeno en los fertilizantes aumenta el consumo de energía (Heller *et al.*, 2003). No obstante, las diferencias observadas entre los tratamientos con respecto a la energía de uso indirecto está condicionada por la maquinaria empleada, ya que las restantes actividades de cultivo son comunes para cada uno de los tratamientos (Tabla 2), donde se aprecia que T1 superó en un 45% la energía consumida por T2 y en un 58% la de T3. La energía asociada a la maquinaria en T3, 0,22 GJ ha⁻¹, representa el 4% de toda la energía indirecta.

Consumo energético total de la energía que entra al cultivo

La energía total de entrada asociada al cultivo (Input) por unidad de superficie es la suma de la energía directa e indirecta. En este caso, T2 y T3 alcanzaron el menor consumo energético, en particular T3, que con un consumo de 10,38 GJ ha⁻¹ redujo en un 18% la energía consumida en T1, con 12,7 GJ ha⁻¹. Asimismo, T2, con 10,72 GJ ha⁻¹ se alcanzó una reducción del 16% del consumo de energía asociada a T1. Estos valores superan a los obtenidos por Hetz y Barrios (1997), quienes hicieron uso del arado de vertedera, y a los de Bailey *et al.* (2003), y Paneque y Soto (2007), quienes utilizaron el arado y grada de discos, los primeros, y multirado, los segundos.

Al expresar la energía total (Input) como cociente de la misma y el rendimiento del cultivo (Tabla 3), se observa diferencias significativas entre los tratamientos, correspondiendo a T3 el valor más bajo de dicho cociente, 4,60 GJ t⁻¹. Este valor es un 29% inferior al de T1, y 23% inferior al de T2, todo ello debido al buen comportamiento del cultivo en cuanto al número de hojas por planta aptas para ser utilizadas como envoltura del tabaco, y que permitió obtener un rendimiento medio de 2,26 t ha⁻¹, el cual superó en un 14% al de T1 (1,95 t ha⁻¹), pero similar al alcanzado con T2.

TABLA 3. Consumo energético de cada tecnología de laboreo por unidad de producto obtenido en (GJ t⁻¹)

Campañas*	Tratamientos**						
	T1		T2		T3		Medias
2005/2006	6,43	aA	5,01	bA	4,61	cA	5,35
2006/2007	6,56	aA	5,01	bA	4,61	cA	5,39
2007/2008	6,57	aA	4,98	bA	4,58	cA	5,38
Medias	6,52	a	5,00	b	4,60	c	5,37

*Campañas. **T1, sistema de labranza tradicional; T2, sistema de labranza mínima con multirado y grada de discos; T3, sistema de labranza mínima con escarificador y grada de discos. En cada fila las cifras seguidas por la misma letra minúscula no son significativamente diferentes para ($p < 0.01$) según la prueba de Duncan. En una columna las cifras seguidas por la misma letra mayúscula no son significativamente diferentes para ($p < 0.01$) según la prueba de Duncan

Energía asociada con el cultivo

En la Tabla 4 se muestra la energía que sale del cultivo (Output), la cual se obtuvo multiplicando el rendimiento obtenido por la energía específica asociada al producto. Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. En efecto, T3, fue el que alcanzó la mayor energía saliente del cultivo, tomando un valor medio de 20,78 GJ ha⁻¹, superando en un 14% a la energía alcanzada por T1, y en un 5% a T2. Acercándose este valor de T3 a la energía de 24,7 GJ ha⁻¹ referida al cultivo del tabaco lograda por Karimi *et al.* (2008), en Irán.

TABLA 4. Energía asociada al producto obtenido en cada tecnología de laboreo (Output) en (GJ ha⁻¹)

Campaña*	Tratamientos**						Medias
	T1		T2		T3		
2005/2006	18,09	cA	19,66	bA	20,79	aA	19,52
2006/2007	17,88	cA	19,69	bA	20,76	aA	19,44
2007/2008	17,85	cA	19,78	bA	20,78	aA	19,47
Medias	17,94	c	19,71	b	20,78	a	19,48

*Campañas. **T1, sistema de labranza tradicional; T2, sistema de labranza mínima con multiarado y grada de discos; T3, sistema de labranza mínima con escarificador y grada de discos. En cada fila las cifras seguidas por la misma letra minúscula no son significativamente diferentes para ($p < 0.01$) según la prueba de Duncan. En una columna las cifras seguidas por la misma letra mayúscula no son significativamente diferentes para ($p < 0.01$) según la prueba de Duncan.

Relación energética y eficiencia energética del cultivo

En la Tabla 5 se muestra la relación entre la energía consumida en el proceso productivo y el equivalente energético del producto obtenido. Se puede observar que se encontró diferencia significativa entre los tratamientos, donde T3 alcanzó el valor más alto, 2,01, superando en un 30% a T1 y en un 8% a T2. Este mismo comportamiento se obtuvo al considerar el coeficiente de eficiencia energética del cultivo (NER) (Tabla 5), ya que a T3 le correspondió el valor más alto 1,01, superando en un 59% y en un 16% a los valores de T1 y T2, respectivamente.

TABLA 5. Relación energética del cultivo (ratio) y eficiencia energética del cultivo (NER)

Campañas*	Tratamientos**						Medias	Tratamientos**						Medias
	T1		T2		T3			T1		T2		T3		
2005/2006	1,43	cA	1,84	bA	2,00	aA	1,76	0,43	cA	0,84	bA	1,00	aA	0,76
2006/2007	1,40	cA	1,84	bA	2,01	aA	1,75	0,40	cA	0,84	bA	1,01	aA	0,75
2007/2008	1,40	cA	1,85	bA	2,01	aA	1,75	0,40	cA	0,85	bA	1,01	aA	0,75
Medias	1,41	c	1,84	b	2,01	a	1,75	0,41	c	0,84	b	1,01	a	0,75

*Campañas. **T1, sistema de labranza tradicional; T2, sistema de labranza mínima con multiarado y grada de discos; T3, sistema de labranza mínima con escarificador y grada de discos. En cada fila las cifras seguidas por la misma letra minúscula no son significativamente diferentes para ($p < 0.01$) según la prueba de Duncan. En una columna las cifras seguidas por la misma letra mayúscula no son significativamente diferentes para ($p < 0.01$) según la prueba de Duncan.

Emisiones de CO₂ del proceso

La sostenibilidad de un sistema de producción agrícola se puede evaluar de dos formas diferentes: a) en función de la relación entre el CO₂E asociado al producto obtenido y el CO₂E asociado a los insumos (Inputs); y b) en función del coeficiente de energía neta asociada con el producto obtenido, esto es, (CO₂E del producto-CO₂E de los insumos)/ (CO₂E de los insumos). En los dos casos no hubo diferencias significativas entre las tecnologías de laboreo comparadas (Figura 1. a y b), ya que los valores más altos se observaron en el tratamiento T3, seguidos los de los tratamientos T2 y T1, respectivamente.

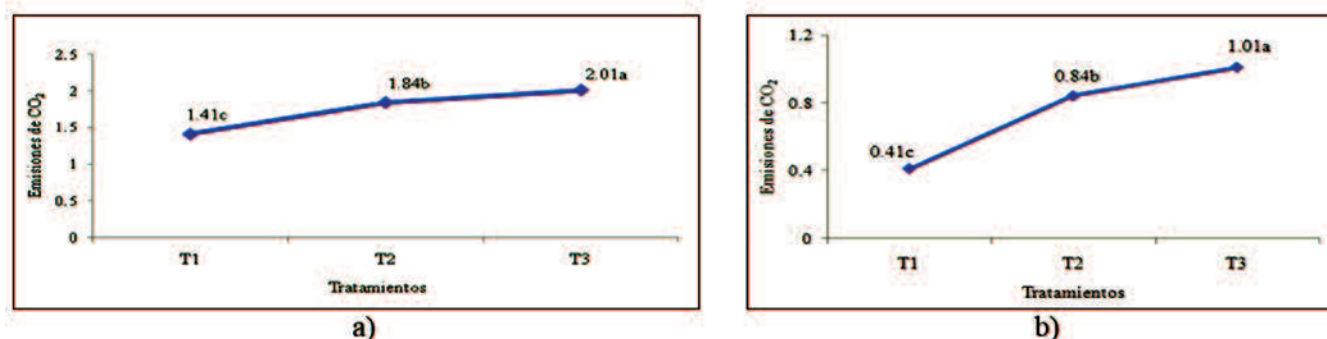


FIGURA 1. Relación salida/entrada de las emisiones y sostenibilidad de emisiones de CO₂ en los tres sistemas de laboreo comparados.

Estos resultados son análogos a los obtenidos en unidades de energía, ya que estas últimas se transforman en las anteriores multiplicándolas por una constante, $73,95 \text{ kg CO}_2 \text{ E GJ}^{-1}$. Como era de esperar, la tecnología de labranza tradicional estuvo asociada con una mayor cantidad de $\text{CO}_2 \text{ E}$ emitido a la atmósfera que las dos tecnologías de laboreo reducido consideradas, ya que consumió una mayor cantidad de combustible e hizo un uso más intenso de la maquinaria. Estos resultados corroboran los de Borin *et al.* (1997) cuando compararon tres sistemas de laboreo en tres cultivos en el norte de Italia. La relación output/input que obtuvieron fue 4,1 en laboreo convencional, 4,2 en laboreo en franjas y 4,6 en siembra directa.

El índice de sostenibilidad de un sistema de laboreo obtenido con la ecuación (13) expresa la eficiencia en las emisiones de CO_2 con respecto a las del sistema de laboreo convencional

que se toma referencia. Este índice alcanzó el valor de 4,5 en T2 y de 3,2 en T3. Un determinado sistema de laboreo es tanto más eficiente cuanto menor es este índice.

CONCLUSIONES

- Con el sistema de labranza T3 se logró el mejor consumo energético, ya que la relación entre la energía de salida (Output) y la de entrada (Input) fue de 2, superando en un 30% a la obtenida con T1 y en 11% a la de T2.
- Las menores emisiones de dióxido de carbono equivalente correspondieron al sistema de labranza T3, situándose a continuación los sistemas de labranza T2 y T1, respectivamente. Entre los dos sistemas de labranza reducida el mayor índice de sostenibilidad se alcanzó con T3.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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, (reseña), 2006.
- BAILEY, A.P., W.D. BASFORD, N. PENLINGTON, J.R. PARK, J.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.
- BLACK SEA REGIONAL ENERGY CENTRE (BSREC): *Renewable energy for heat supply in dwellings with individual and local heating systems*, pp. 5-45, TREN/05/FP6EN/S07.53976/020061 WP2-D 6, Reher, Germany, 2006.
- BORIN, M., C. MENINI & L. SARTORI: "Effects of tillage systems on energy and carbon balance in northeastern Italy", *Soil Tillage Research*, 40, 206-209, 1997.
- BOWERS, W.: "Agricultural field equipment", Vol. 6, pp. 117-129, In: *Energy in World Agriculture, Energy in Farm Production*, Edited by Fluck, R.C., Elsevier, Amsterdam, 1992.
- CANAKCI, M. & I. AKINCI: "Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production", *Energy*, 31, 1243-1256, 2006.
- CLEVELAND, C.J.: "Resource degradation, technical change, and the productivity of energy use in US agriculture", *Ecological Economics*, 13, 185-201, 1995.
- CONFORTI, P. & M. GIAMPETRO: "Fossil energy use in agriculture: an international comparison. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 65, 231-243, 1997.
- DE LAS CUEVAS, M.H., T. RODRÍGUEZ, P. PANEQUE y M. HERRERA: "La labranza conservacionista y sus gastos energéticos", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 13 (2): 37-42, 2004.
- FAO: *World reference base for soil resources [en línea]. A framework for international classification, correlation and communication, [en línea] 2006, Disponible en: <http://ftp.fao.org/agl/agll/docs/wsrr103e.pdf> [consulta: 5 de mayo, 2009].*
- FILIPOVIC, D., S. KOSUTIC, Z. GOSPODARIC, R. ZIMMER & D. BANAJ: "The possibilities of fuel savings and the reduction of CO_2 emissions in the soil tillage in Croatia", *Agriculture, Ecosystems and Environment* 115, 290-294, 2006.
- FLUCK, R. & D. BAIRD: "Energy for farm production", Vol. 6, 289 pp. In: *Energy for World Agriculture*, Edited by Elsevier, Amsterdam, 1992.
- GEZER, I., M. ACAROGLU & H. HACISEFEROGULLARI: "Use of energy and labour in apricot agriculture in Turkey", *Biomass and Bioenergy*, 24, 215-219, 2003.
- GONZÁLEZ, L.G y M.C. JIMÉNEZ: *El tabaco*, 76pp., Ed. Universidad de Granma, Facultad de Ciencias Agrícolas, Bayamo, Granma, Cuba, 2003.
- HATIRLI, A.S., B. OZKAN & C. FERT: "Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production", *Renewable Energy*, 31, 427-438, 2006.
- HELLER, M.C., G.A. KEOLEIAN & T.A. VOLK: "Life cycle assessment of a willow bioenergy cropping system", *Biomass and Bioenergy*, 25, 147-165, 2003.
- HETZ, E. y A. BARRIOS: "Costo energético de las operaciones agrícolas mecanizadas más comunes en Chile", *Agro sur*, 24 (2): 146-161, Chillán, Chile, 1997.
- JEAN-BAPTISTE, P. & R. DUCROUX: "Energy policy and climate change". *Energy Policy*, 31, 155-166, 2003.
- KARIMI, A., B. TABAR & G.M. KHUBBAKHT: "Energy Production in Iran's Agronomy", *American-Eurasian J. Agric. and Environ. Sci.*, 4 (2): 172-177, 2008.
- LAL, R.: *Carbon emission from fram operations [en línea]. SCIENCE DIRECT. Vol. 30: 981-990 (2004). Disponible en: www.elsevier.com [consulta: 3 de julio, 2010].*
- 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.

- MASJUKI, H.H., T.M.I. MAHLIA, I.A. CHOUDHURY & R. SAIDUR: "Potential CO₂ reduction by fuel substitution to generate electricity in Malaysia", *Energy Convers. Manage.*, 43, 763-770, 2002.
- OFICINA NACIONAL DE ESTADÍSTICA (ONE). *Principales factores limitantes edáficos [en línea]. Territorio y Medio Ambiente, 2006. Anuario estadístico de Cuba. ISSN: 1993-1530. Disponible en: http://www.one.cu/aec_web/tablas-excel.htm [consulta: 5 de mayo, 2009].*
- OZKAN, B., H. AKCAOZ & C. FERT: Energy input-output in Turkish agriculture, *Renewable Energy* No. 29, pp. 39-51, University of Akdeniz, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Economics, Antalya 07058, Turkey, 2004.
- PANEQUE P. y L.D. SOTO: "Costo energético de las labores de preparación de suelos en Cuba", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 6 (4): 17-21, 2007.
- PIMENTEL, D.: "Energy Inputs in Production Agriculture", Vol. 6, pp. 13-29, In: *Energy in World Agriculture*, Edited by Fluck, R.C. New York, 1992.
- SAUNDERS, C., A. BARBER & G. TAYLOR: "Food Miles - Comparative Energy/Emissions Performance of New Zealand's Agriculture Industry", The Agribusiness and Economics Research Unit (AERU), Lincoln University, Research Report No., 285, New Zealand, 2006.
- STATSOFT INC.: *Statistic for windows*, second ed. Tulsa, OK, USA, 2003.
- SWANTON, C.J., S.D. MURPHY, D.J. HUME and D.R. CLEMENTS: "Recent improvements in the energy efficiency of agriculture case studies from Ontario, Canada", *Agric. Syst.*, 52 (4): 399-418, 1996.
- TORRECILLA, G., A. PINO, P. ALFONSO y A. BARROSO: "Metodología para las mediciones de los caracteres cualitativos y cuantitativos de la planta de tabaco" *Cien. Téc. Agric. Tabaco*, 3 (1): 12-61, 1986.

Recibido: 10 de enero de 2013.

Aprobado: 20 de marzo de 2014.