

Original

EVALUACIÓN ENERGÉTICA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CULTIVOS DE RAÍCES Y TUBÉRCULOS

Energy evaluation of the process of production of cultivations of roots and tubers

Dr. C. Luis Raúl Parra-Serrano, Profesor Titular, Universidad de Granma, lparras@udg.co.cu,

Cuba

Dr. C. Hugo Berto Vázquez-Milanes, Profesor Auxiliar, Universidad de Granma,

hvazquezm@udg.co.cu, Cuba

Dr. C. Alfonso Enrique Ortiz-Rodríguez, Profesor Titular, Universidad de Granma,

aortizr@udg.co.cu, Cuba

Recibido 12/07/2017 Aceptado 05/09/2017

RESUMEN

En los últimos años ha crecido rápidamente la potencia de los tractores y la cantidad de energía que se invierte en los cultivos por el uso de fertilizantes, combustible y maquinaria. Sin embargo las tecnologías de labranza no han evolucionado con igual rapidez, con tendencia a la aplicación de las nuevas técnicas agrícolas con los tradicionales métodos de labranza.

El objetivo del presente trabajo ha sido evaluar el consumo energético a través de la producción de cultivos de raíces y tubérculos (papa, boniato y yuca) utilizando cuatro sistemas de laboreo (laboreo tradicional, laboreo con multiarado y grada de discos, laboreo con fresadora y subsolador, y laboreo con grada de discos y subsolador) en un *Fluvisol* con textura franco arcilloso de la provincia cubana de Granma.

Las tecnologías de labranza mínima presentaron mejor comportamiento, en particular la tecnología de multiarado y grada de discos T2, la cual mejora significativamente las propiedades físico mecánicas del suelo y con ello las condiciones para el desarrollo de los cultivos, obteniendo la mayor producción (33; 13 y 13,9 t ha⁻¹) en los tres cultivos respectivamente; el menor consumo de combustible, el mayor rendimiento de los conjuntos máquina tractor y el mejor balance energético con una eficiencia energética de (3,9; 4,9 y 12) en los tres cultivos respectivamente. La granulometría del suelo después del laboreo y la calidad de la labranza lograda mediante esta tecnología, así como el menor consumo de energía contribuyen a la conservación del suelo y a la reducción de los costos energéticos.

Palabras clave: Input, output, ratio, NER

ABSTRACT

The conservation of the natural resource soil is of vital importance for the current and future generations. In the last years the power of the tractors and the quantity of energy that it is invested in the cultivations by concept of fertilizers, fuel and machinery has grown quickly; however the farm technologies have not evolved with same speed, with tendency to the application of the new agricultural technique with the traditional farm methods. The objective of the present work has been to evaluate its energy consumption through tubers and roots cultivations production (potato, sweet potato and cassava) across four tillage systems (conventional tillage, multiplough and disk harrow tillage, rotovator and subsoil tillage, disk harrow and subsoil tillage) in a *Fluvisol* with clay loam texture of the Cuban county of Granma. The minimum tillage technologies presented better behaviour, in the highest multiplough and disk harrow tillage T2, which improves the physique mechanics soil properties significantly and the conditions for the cultivations development, obtaining the biggest production (33; 13 y 13,9 t ha⁻¹); the smallest fuel consumption, bigger yield of the machinery groups and the best energy ratio (3,9; 4,9 y 12). The soil aggregate measurements after the tillage and the quality of the farm in general achieved by means of this technology, as well as the smallest energy consumption contributes to the soil conservation and the reduction of the energy costs.

Key words: Input, output, ratio, NER

INTRODUCCIÓN

El buen éxito de la mecanización introducida en Cuba con el triunfo de la revolución indujo a creer que adoptando procedimientos análogos a los utilizados en la Unión Soviética se resolvería el problema de la producción alimenticia y de la baja eficiencia del nivel de mecanización del campo cubano. Pero las duras experiencias recogidas con el devenir de los años ha permitido reflexionar en todas las consecuencias que acarrea la mecanización de los cultivos y nos da una visión clara de que la solución no es el retorno a continuar con los primitivos métodos tradicionales de labranza, sino aprovechar las lecciones de los desaciertos pasados y establecer la mecanización sobre fundamentos más científicos (García, 1999).

Desde este punto de vista, el empleo de las máquinas agrícolas depende de las condiciones de la agricultura. Los trabajos mecanizados crean las condiciones para el desarrollo incesante de la producción agrícola; además facilitan el trabajo y lo hacen más rentable. La amplia mecanización e intensificación de la producción constituye un camino fundamental para el

desarrollo ulterior de la agricultura y la satisfacción de las necesidades crecientes de la población en productos agrícolas (Gutiérrez, 1990). En este sentido los lineamientos para el desarrollo económico y social de Cuba plantean atender la efectividad en el uso de la maquinaria en todos los cultivos, buscando la reducción de los plazos de ejecución de los trabajos y continuar la elevación del índice de mecanización para los cultivos fundamentales; entre otros aspectos también señala: Establecer métodos de organización de la maquinaria que aseguren el correcto empleo de los medios mecanizados así como su eficiencia productiva (Lage, 1997).

La yuca, la papa y el boniato tienen un papel importante en la alimentación de más de dos mil millones de personas (Pimentel, 2009). Para estos cultivos de raíces y tubérculos el suelo debe quedar bien mullido en la zona de tuberización que generalmente se encuentra comprendida entre 0,04 y 0,25 m. Nunca se insistirá lo suficiente sobre la influencia de la textura y estructura del suelo en el rendimiento de estos cultivos, y para lograrlo debe recurrirse a cuantos medios permitan conseguirlo, como el laboreo y la adición de materia orgánica (AbcAgro, 2006). La fertilidad debe considerarse como un papel importante al seleccionar un terreno para éstos cultivos, que tenga buenas vías de comunicación que permitan un fácil acceso a los campos y que presente las condiciones topográficas requeridas para la mecanización del mismo (Cesar, 2006).

Para González (1993), el proceso tecnológico de preparación de suelos tiene una importancia capital en cualquier cultivo; solamente en la labor de aradura se invierte del 30 al 35 % de los gastos totales de energía.

La labranza es la actividad agrícola que se realiza con el fin de cambiar, por medios mecánicos, las condiciones físicas originales del suelo para mejorarlas de acuerdo con los fines perseguidos. Ella contribuye a lograr un adecuado lecho para la siembra, además de eliminar determinados factores limitantes del suelo que afectan la producción sostenida de los cultivos, tales como compactación, encostramiento e infiltración deficiente. (INICA, 2005).

Según Leyva *et al.* (1997) el laboreo es un factor importante por su marcada influencia en la siembra, en el rendimiento de la cosecha, costo de producción, incidencia en la conservación del medio, consumo energético; así como, por su dependencia de las condiciones edafoclimáticas.

El laboreo convencional requiere una serie de labores con las que progresivamente se va a obtener el estado deseado. El agricultor que en muchas zonas se identifica como labrador, es

feliz cuando contempla sus campos con una superficie formada por suelo fino y mullido, libre de malezas y con todos los restos de vegetación convenientemente enterrados (Urbano, 1992). El bajo rendimiento energético que suponen junto con la erosión y la degradación de la estructura del suelo (compactación) que provoca el paso reiterado de las máquinas, hace que en los últimos años se esté produciendo un progresivo abandono del laboreo convencional a favor de técnicas en las que éste se reduzca o incluso se anule (Blanco, 2007).

Dada la importancia, complejidad y coste, la preparación de suelos requiere de la aplicación de tecnologías de laboreo mínimo, las cuales permiten reducir dicho coste y los plazos de ejecución, así como mejorar la conservación de los suelos. Actualmente, se desarrollan en el mundo diferentes tecnologías basadas en estos principios empleando diferentes combinaciones de órganos de trabajo, máquinas y aperos. No obstante, en Cuba predomina aún la tecnología tradicional, aplicando varias pasadas de arados y gradas de discos, por lo que se encarece el proceso de laboreo y se afecta el suelo. En los últimos años se está generalizando la utilización de tecnologías de laboreo mínimo basadas en el empleo del escarificador con saetas, conocido como “Multiarado”, el cual ha dado buenos resultados en suelos ligeros y medios en algunos cultivos.

En Cuba las tecnologías de laboreo mínimo no han alcanzado gran difusión a pesar de sus bondades. Los actuales sistemas de labranza en los cultivos de raíces y tubérculos producen un sobrelaboreo que incide directamente en los bajos rendimientos del cultivo y en el elevado consumo energético registrado lo cual constituye el problema científico de esta investigación en la cual se consideró que los sistemas de labranza mínima con aperos de corte vertical y horizontal permiten mejorar los resultados agroproductivos de los cultivos y disminuir el consumo de energía por lo cual se procedió a evaluar diferentes sistemas de laboreo y su influencia en la evolución de las propiedades del suelo y en la producción de los cultivos de raíces y tubérculos (papa, boniato y yuca) así como comparar el consumo energético que los mismos conllevan.

Población y Muestra

El trabajo se desarrolló en la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) “El Palmar” perteneciente a la Empresa Agropecuaria “Paquito Rosales Benítez” de Veguitas, municipio de Yara, provincia de Granma.

La investigación se desarrolló en un *Fluvisol* según la Nueva Clasificación Genética de los suelos de Cuba (ONE, 2006b y FAO, 2006b); medianamente profundo, relativamente llano, con

grado de residuos ligero, sin pedregosidad y sin obstáculos, con una textura Loam arcilloso, un contenido de materia orgánica de 4,0 %, un pH de 7 y buen tempero. Este suelo fue escogido por presentar la provincia de Granma el 32 % del total de los *Fluvisoles* del país y la Empresa Agropecuaria donde se realizó el trabajo experimental el 70 % de su superficie ocupada por éstos, además presentar los mismos buenas características para el desarrollo de los cultivos de raíces y tubérculos.

Tecnologías evaluadas (Tratamientos). En los tres cultivos se realizaron las mismas labores de preparación del suelo; posterior al laboreo, en el caso de la papa se realizó el surcado y fertilización de fondo con un surcador fertilizador y para el boniato y la yuca con un surcador.

Tecnología convencional (T1). Se realizó una roturación con arado de discos a una profundidad de 23 cm, posteriormente una pasada de grada mediana a una profundidad de 15 cm, después la labor de subsolado a una profundidad de 30 a 38 cm realizando dos pasadas de forma perpendicular una respecto a la otra y culminó con el segundo gradeo con grada mediana a una profundidad de 18 cm (cinco labores).

Tecnología multiarado y grada de discos (T2). Se realizó la roturación utilizando un multiarado a una profundidad de 30 cm y posteriormente una labor de gradeo con una grada de discos mediana a una profundidad de 16 cm (dos labores).

Tecnología fresadora y subsolador (T3). Se efectuó la labor de subsolado a una profundidad de 30 a 38 cm realizando dos pasadas de forma perpendicular una respecto a la otra y culminó con el fresado a una profundidad de 12 cm (tres labores).

Tecnología subsolador y grada de discos (T4). Se realizó un primer pase de grada mediana a una profundidad de 13 cm, un segundo gradeo con el mismo apero a una profundidad de 15 cm, el subsolado a una profundidad 30 a 38 cm realizando dos pasadas de forma perpendicular una respecto a la otra y culminó con el tercer gradeo con grada mediana a una profundidad de 17 cm (cinco labores).

Se plantaron tres cultivos de raíces y tubérculos en la misma superficie experimental con igual ubicación de los bloques y tratamientos y en la misma fecha para cada cultivo.

Evaluación energética del proceso de producción de los cultivos. Se utilizó el procedimiento propuesto por (Bowers, 1992), en el cual se calcula la energía total consumida (GJ ha^{-1}) para cada cultivo, teniendo en cuenta las energías de uso directo e indirecto; así como el rendimiento energético del cultivo (GJ t^{-1}), la eficiencia energética del cultivo (ratio) y la energía neta del cultivo (NER), teniendo en cuenta las energías secuestradas en la maquinaria por concepto

tales como, materiales de construcción, fabricación, transporte, combustible, lubricantes, mantenimiento y reparación, mano de obra necesaria para operarlas y capacidad de trabajo; la energía utilizada en el riego, la energía humana y animal así como la energía secuestrada en los insumos utilizados en los cultivos (fertilizantes y pesticidas).

Análisis de los resultados

Energía de uso directo en los cultivos. En la Tabla 1 se encuentran los resultados obtenidos en la energía de uso directo. En los cultivos de la papa y el boniato el mayor valor se obtiene en el combustible, diesel con un 60 y 65 % respectivamente, lo cual coincide con lo planteado por Fluck (1981; 1992); FAO (1990); Hetz (1990; 1996); Ibáñez y Rojas (1994); de las Cuevas *et al.* (2004); Álvarez *et al.* (2006); Paneque y Soto (2007), seguido de la energía humana (24 y 28 %) ya que se realizan varias actividades donde interviene la misma, como la siembra semimecanizada y manual, una limpieza manual y la cosecha también semimecanizada donde interviene la mayor cantidad de personas en las labores de recogida y ensacado de los tubérculos.

Cultivo	Tipo Energía	T1	T2	T3	T4
Patata	Combustible (diesel)	5,71	1,54	3,11	6,01
	Electricidad	1,10	1,10	1,10	1,10
	Energía humana	1,62	1,61	1,62	1,62
	Energía animal	0,04	0,04	0,04	0,04
	Energía Total	8,46	4,28	5,86	8,76
Boniato	Combustible (diesel)	7,38	3,87	5,34	7,05
	Electricidad	0,57	0,57	0,57	0,57
	Energía humana	2,56	2,55	2,56	2,56
	Energía animal	0,04	0,04	0,04	0,04
	Energía Total	10,60	7,00	8,50	10,20
Yuca	Combustible (diesel)	5,04	1,59	3,09	4,8
	Electricidad	0,50	0,50	0,50	0,50
	Energía humana	3,43	3,42	3,43	3,43
	Energía animal	0,07	0,07	0,07	0,07
	Energía Total	9,00	5,54	7,05	8,76

Tabla 1. Energía de uso directo (GJ ha⁻¹) en los cultivos y tratamientos

El mayor valor del consumo de energía por concepto de combustible correspondió a la tecnología tradicional T1 en la cual se realizan cinco labores y el menor a T2 donde se realizan solo dos labores.

En el cultivo de la yuca, el consumo de energía del combustible es mayor en las tecnologías T1 y T4 (56 y 55 %) pero en las tecnologías de labranza mínima T2 y T3 resultó menor que la energía humana con un (29 y 44 %) en las cuales a la energía humana correspondió el (62 y 49 %) ya que a partir de la labranza, con excepción de la aplicación de pesticidas que es en menor magnitud que en los cultivos anteriores, el resto de las labores se realizan de forma manual, incluida la cosecha. El mayor consumo de energía por concepto de gasóleo se registró en T1 y el menor en T2 con diferencias significativas, seguido de T3 y T4 lo cual confirma que las tecnologías de labranza mínima presentan menor consumo energético que las convencionales señalado por Paneque y Soto (2007).

Energía de uso indirecto en los cultivos. En la Tabla 2 se encuentran los resultados obtenidos en la energía de uso indirecto. En los cultivos de la patata y el boniato el mayor valor corresponde a la energía por concepto de los fertilizantes, fundamentalmente del nitrógeno (Boerjesson, 1996; Kaltschmitt y Reinhardt, 1997; Lewandowski *et al.*, 2000; Heller *et al.*, 2003; Hülsbergen *et al.*, 2001; 2002; Rathke *et al.*, 2002; Rathke y Diepenbrock, 2006); correspondiendo al (55 y 67%). Siendo muy superior en valor (12,5 GJ ha⁻¹) en la papa el cual supera en un 32% al boniato al utilizar elevadas dosis de fertilizante de fórmula completa y luego dos aplicaciones de urea como fertirriego. En el cultivo de la yuca por la rusticidad de este cultivo no se aplicó fertilizante. En la papa el gasto de energía en semilla y pesticidas también fue elevado (Cleveland, 1995; Conforti & Giampetro, 1997; Coxworth, 1997).

Cultivo	Tipo Energía	T1	T2	T3	T4
Papa	Maquinaria	1,66	0,93	1,28	1,57
	Semillas	4,80	4,80	4,80	4,80
	Fertilizantes	12,47	12,47	12,47	12,47
	Pesticidas	3,95	3,95	3,95	3,95
	Energía Total	22,88	22,15	22,5	22,79
Boniato	Maquinaria	1,15	0,52	0,87	0,93
	Semillas	0,34	0,34	0,34	0,34

	Fertilizantes	3,94	3,94	3,94	3,94
	Pesticidas	0,71	0,71	0,71	0,71
	Energía Total	6,10	5,50	5,90	5,90
Yuca	Maquinaria	0,85	0,24	0,64	0,77
	Semillas	0,17	0,17	0,17	0,17
	Pesticidas	0,65	0,65	0,65	0,65
	Energía Total	1,67	1,06	1,46	1,59

Tabla 2. Energía de uso indirecto (GJ ha⁻¹) en los cultivos y tratamientos

La cantidad de energía utilizada por concepto de la maquinaria en este caso nos caracteriza la diferencia de los distintos sistemas de laboreo empleados ya que el resto de las labores son comunes a todos los tratamientos, correspondiendo el mayor valor a la tecnología convencional T1 al utilizar varios conjuntos, seguida de T4; siendo menores en las dos tecnologías de laboreo mínimo, particularmente en T2 (Paneque y Soto, 2007) donde se utilizó un 60% respecto a T1, seguido de T3 y T4 con un 27 y 14% respectivamente.

Rendimiento energético y ratio en los cultivos. En la Tabla 3 se encuentran los resultados obtenidos en el rendimiento energético y ratio en el cultivo de la papa. Existe diferencia significativa en la energía que se invierte (input) en las tecnologías de laboreo mínimo T2 y T3 respecto al laboreo convencional T1 y a T4. Siendo un 6; 17 y 19% superiores a T2; por el contrario, los egresos de energía (output) resultaron alrededor del 10% superior en T2 y el ratio fue mayor también en T2 en un 12; 23 y 25% respectivamente.

Cultivo	Trat.	Input (GJ t ⁻¹)	Input (GJ ha ⁻¹)	Output (GJ ha ⁻¹)	Ratio (O/I)	NER (O-I)/I
Papa	T1	1,24a	36,1a	106,4c	2,95c	1,95c
	T2	0,92c	30,3c	118,6a	3,91a	2,91a
	T3	1,07bc	32,2bc	108,2ab	3,44ab	2,36ab
	T4	1,20ab	35,5ab	107,1bc	3,02bc	2,02bc

En una columna las cifras seguidas por la misma letra minúscula no son significativamente diferentes ($P < 0,01$).

Tabla 3. Energía total consumida (input: GJ t⁻¹; GJ ha⁻¹), energía asociada a la cosecha (output GJ ha⁻¹), eficiencia energética (ratio) y coeficiente de energía neta (NER) en el cultivo de la papa

La energía consumida (input) resultó superior a lo planteado por Hülshbergen *et al.* (2001) que obtuvieron 24,4 GJ ha⁻¹, similar a Pimentel (2007) e inferior a (Börjesson, 1996; Seyed, 2006; Mohammadi *et al.*, 2008; Neira *et al.*, 2000; Ozkan *et al.*, 2003; Pimentel, 2009). La energía asociada a la cosecha (output) fue superior a lo reportado por (Pimentel, 2007; Seyed, 2006; Neira *et al.*, 2000); similares a (Mohammadi *et al.*, 2008; Hülshbergen *et al.*, 2001) e inferior a Börjesson (1996). El ratio obtenido en T2 fue inferior al valor de 4,3 alcanzado por Hülshbergen *et al.* (2001); similar a Börjesson (1996) y superior al resto de los autores citados, debido al uso de energías renovables en varios procesos del cultivo como la energía humana y animal que disminuyeron el consumo de energía total del cultivo e incrementaron el ratio (Canakci y Akinci, 2006). El NER también de igual manera fue favorable a T2.

En la Tabla 4 se encuentran los resultados obtenidos en el rendimiento energético y ratio en el cultivo del boniato donde se observa que existió diferencia significativa entre todos los tratamientos en la energía consumida, con el menor valor en T2 el cual fue un 14; 27 y 31% menor que en T3, T4 y T1. De igual manera se comportó el ratio que fue un 33; 52 y 65% respectivamente. El NER de igual manera fue superior en T2 que presentó el mayor rendimiento agrícola y en detrimento de T1 por igual causa. La entrada de energía reportada por Pimentel (2007) en Vietnam es superior a todos los tratamientos y la salida de energía es superior a las tecnologías tradicionales T1 y T4, similar e inferior a las tecnologías de labranza mínima T3 y T2. Todos los resultados son inferiores a lo planteado por Miller y Close (1992) citados por Chirgwin (1999); siendo T2 es el tratamiento que más se acercó aunque resultó un 37 % inferior al reportado por éste para el cultivo extensivo.

Cultivo	Trat.	Input (GJ t ⁻¹)	Input (GJ ha ⁻¹)	Output (GJ ha ⁻¹)	Ratio (O/I)	NER (O-I)/I
Boniato	T1	3,00a	17,57a	29,9d	1,70d	0,70d
	T2	1,06d	13,41d	65,2a	4,86a	3,86a
	T3	1,55c	15,24c	49,7b	3,26b	2,26b
	T4	2,18b	17,01b	39,7c	2,33c	1,33c

En una columna las cifras seguidas por la misma letra minúscula no son significativamente diferentes (P<0,01).

Tabla 4. Energía total consumida (Input: GJ t⁻¹; GJ ha⁻¹), energía asociada a la cosecha (output GJ ha⁻¹), eficiencia energética (ratio) y coeficiente de energía neta (NER) en el cultivo del boniato

En la Tabla 5. se encuentran los resultados obtenidos en el rendimiento energético y ratio en el cultivo de la yuca.

Cultivo	Trat.	Input (GJ t ⁻¹)	Input (GJ ha ⁻¹)	Output (GJ ha ⁻¹)	Ratio (O/I)	NER (O-I)/I
yuca	T1	1,42a	10,54a	42,17d	4,00d	3,00d
	T2	0,48d	6,46d	77,62a	12,02a	11,02a
	T3	0,84c	8,38c	56,22b	6,71b	5,71b
	T4	1,16b	10,21b	50,18c	4,91c	3,91c

En una columna las cifras seguidas por la misma letra minúscula no son significativamente diferentes ($P < 0,01$).

Tabla 5. Energía total consumida (Input: GJ t⁻¹; GJ ha⁻¹), energía asociada a la cosecha (output GJ ha⁻¹), eficiencia energética (ratio) y coeficiente de energía neta (NER) en el cultivo de la yuca

Se mantiene el menor valor de la energía invertida en T2 con diferencia significativa respecto a los demás, resultando inferior en un 30; 58 y 63 % a T3, T4 y T1. Por el contrario la energía de salida del cultivo resultó mayor en T2, siendo un 28; 35 y 54 % mayor. Así mismo el ratio correspondiente a T2 superó a las demás en un 44; 59 y 67 %. La energía de entrada al cultivo resultó similar a Chamsing *et al.* (2006) en Tailandia; un 16% del reportado por Pimentel (2007) para Tailandia, Colombia y Vietnam y un 50% superior a lo planteado por éste para Tanga. La salida de energía del cultivo y el ratio en T2 fue similar a Chamsing *et al.* (2006) e inferior en los restantes tratamientos. El ratio tuvo igual comportamiento que en los cultivos anteriores; el valor obtenido en todos los tratamientos es superior al planteado por Pimentel (2007) para Tailandia, Colombia y Vietnam, siendo inferior al mejor resultado planteado por éste (23) en Tanga, África.

CONCLUSIONES

1. La tecnología de multiarado y grada de discos T2 presentó el mejor comportamiento energético, con los menores consumos y los mayores contenidos de energía en los tres cultivos; con un ratio superior a las demás tecnologías del 10 al 25 % en la papa, del 30 al 65 % en el boniato y del 40 al 70 % en la yuca.
2. De manera integral las tecnologías de labranza mínima presentaron mejor comportamiento en las variables del suelo, del cultivo y energéticas. La tecnología de multiarado y grada de discos T2 obtuvo los mejores resultados, validando su aplicación para cultivos de raíces y tubérculos en las condiciones edafoclimáticas evaluadas.

RECOMENDACIONES

1. Repetir la evaluación de la tecnología T2 basada en el multiarado, utilizando las mismas variables del suelo, el cultivo y energéticas; sustituyendo la grada de discos por el cultivador de brazos flexibles y así valorar la posible conformación de una tecnología de laboreo basada solamente en órganos de corte vertical y horizontal sin elementos giratorios, que aporte mayor calidad a la labranza y mejor conservación del suelo, disminuyendo los costos de adquisición y mantenimiento de los aperos de labranza y menor consumo energético que las tecnologías tradicionales, para cultivos de raíces y tubérculos en las mismas condiciones edafoclimáticas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Álvarez, R.L., Paneque, R.P., Álvarez, O., Brizuela, S.M., 2006. Costo energético de las operaciones de siembra más comunes en Cuba. IIMA. MINAG. Cuba.
2. Bower, E., Bernard, A., Kratky, A., 1985. Compactación del suelo. Causas, efectos y como reducir los daños. *Agric. Amer.*, 34 (6), 10-14.
3. Bowers, W., 1992. Agricultural field equipment. In: Fluck, R.C. (Ed.), *Energy in World Agriculture. Energy in Farm Production*, vol. 6. Elsevier, Amsterdam, pp. 117–129.
4. Canakci, M., Akinci, I., 2006. Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production. *Energy* 31. 1243–1256
5. Chamsing, A., Vilas, M.S., Singh, G., 2006. Energy Consumption Analysis for Selected Crops in Different Regions of Thailand. *Agricultural Engineering International* Vol. VIII.
6. Green, M.B., 1987. Energy in pesticide manufacture, distribution and use. In Z.R. Helsel (Ed.), *Energy in World Agriculture 2* (1987) 165-177. Amsterdam. The Netherlands.
7. Hülsbergen, K.J., Feil, B., Biermann, S., Rathke, G.W., Kalk, W.D., Diepenbrock, W., 2001. A method of energy balancing in crop production and its application in a long-term fertilizer trial. *Agric. Ecosyst. Env.*
8. Mandal, K.G., Saha, K.P., Ghosh, P.K., Hati, K.M., and Bandyopadhyay, K.K., 2002. Bioenergy and economic analysis of soybean-based crop production systems in central India. *Biomass and Bioenergy* 23 (2002) 337-345.
9. Mohammadi, A., Tabatabaeefar, A., Shahin, S., Rafiee, S., Keyhani, A., 2008. Energy use and economical analysis of potato production in Iran a case study: Ardabil province. *Energy Conversion and Management* 49. 3566–3570

10. Ozkan, B., Akcaoz, H., Fert, C., 2003. Energy input-output in Turkish agriculture. University of Akdeniz, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Economics, Antalya 07058, Turkey. *Renewable Energy* 29 (2004) 39-51.
11. Paneque, R.P., Soto, L.D., 2007. Costo energético de las labores de preparación de suelos en Cuba. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*. Vol. 16, N° 4. p17-21.
12. Pimentel, D., 2009. Energy Inputs in Food Crop Production in Developing and Developed Nations. *Energies* 2009, 2, 1-24; doi:10.3390/en20100001.
13. Schoenholtz, S.H., Van Miegroet, H., Burger, J.A., 2000. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management* 138: 335-356.
14. Singh, H., Mishra, D., Nahar, N.M., 2002. Energy use pattern in production agriculture of a typical village in Arid Zone India—Part I. *Energy Conversation Management*.
15. Swanton, C.J., Murphy, S.D., Hume, D.J., Clements, D.R., 1996. Recent improvements in the energy efficiency of agriculture: case studies from Ontario, Canada. *Agric. Syst.* 52 (4.), 399–418.