

Original

Balance energético del cultivo de tomate (*solanum lycopersicum*, lin)

Energy balance of the cultivation of tomato (*solanum lycopersicum*, lin)

Ing. José Ramón Carrillo Ríos, Empresa Agropecuaria “Paquito Rosales Benítez”,
Cuba.

Dr. C. Alfonso Enrique Ortiz Rodríguez, Universidad de Granma, Profesor Titular, Cuba,
aortizr@udg.co.cu

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

Recibido: 23/5/2019 Aceptado: 15/11/2019

Resumen

El trabajo se desarrolló en la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) “Antonio Maceo” perteneciente a la Empresa Agropecuaria “Paquito Rosales Benítez” de Veguita, municipio Yara, provincia Granma. El objetivo del trabajo ha sido evaluar el balance energético para el cultivo del tomate (*Solanum Lycopersicum*, Lin) en un *Fluvisol* con textura franco arcilloso en condiciones de producción durante las campañas 2012 y 2013. La energía de uso directo asociada al cultivo en las campañas 2012 y 2013 fue de 7,0 y 3,76 GJha⁻¹, la de uso indirecto fue de 17,82 y 14,99 GJha⁻¹. La energía total consumida por el cultivo asociada al rendimiento agrícola Input fue de 24,51 y 18,52 GJha⁻¹ y la energía asociada al cultivo producido por unidad de superficie Output de 28,33 y 10,08 GJha⁻¹ respectivamente. El rendimiento energético (Ratio) del cultivo fue de 1,16 y 0,54 y la eficiencia energética (NER) de 0,16 y -0,45 respectivamente.

Palabras clave: energía; eficiencia; rendimiento; tomate

Abstract

The work was developed in the Basic Unit of Cooperative Production (UBPC) “Antonio Maceo” belonging to the Agricultural Company “Paquito Rosales Benítez” of Veguita, municipality Yara, county Granma. The objective of the work has been to evaluate the energy balance for the cultivation

of the tomato (*Solanum Lycopersicum*, Lin) in a *Fluvisol* with texture loamy franc under production conditions during the campaigns 2012 and 2013. The energy of direct use associated to the cultivation in the campaigns 2012 and 2013 was of 7,0 and 3,76 GJ ha⁻¹, that of indirect use was of 17,82 and 14,99 GJ ha⁻¹. The total energy consumed by the cultivation associated to the agricultural yield Input was of 24,51 and 18,52 GJ ha⁻¹ and the energy associated to the cultivation taken place by surface unit Output 28,33 and 10,08 GJ ha⁻¹ respectively. The energy yield (Ratio) of the cultivation it was of 1,16 and 0,54 and the energy efficiency (NER) of 0,16 and -0,45 respectively.

Key words: energy; efficiency; yield; tomato

Introducción

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 o tradicional 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. 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).

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. Varias investigaciones han establecido que el costo energético por concepto de combustible y maquinaria representa un alto porcentaje del costo energético total de producción en la agricultura (Fluck1992 y Hetz *et al.*1997).

En Cuba predomina en la mayoría de los cultivos de importancia económica el laboreo tradicional, aplicando varias pasadas de arados y gradas de discos, por lo que se encarece el proceso de laboreo y se afecta el suelo. Dada la importancia, complejidad y costo, la preparación de suelos mediante este sistema de laboreo, requiere de una mayor profundidad de estudio para implementar medidas para reducir dicho costo y los plazos de ejecución, así como mejorar la conservación de los suelos.

En la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) “Antonio Maceo” en la campaña 2011–2012 se realizó por vez primera el balance energético para el cultivo del tomate (*Solanum Lycopersicum*, Lin) utilizando labranza convencional. Para validar los resultados obtenidos se requiere evaluar más de una campaña en las mismas condiciones.

Población y muestra

- Localización del área experimental

El trabajo se desarrolló en la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) “Antonio Maceo” (fig. 1) perteneciente a la Empresa Agropecuaria “Paquito Rosales Benítez” de Veguita, municipio de Yara, provincia oriental de Granma, en Cuba. La investigación se desarrolló en un *Fluvisol* según la Nueva Clasificación Genética de los suelos de Cuba (ONE, 2006); 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 (Parra,2009). La provincia de Granma presenta el 32 % del total de los *fluvisoles* del país y la Empresa donde se realizó el trabajo experimental el 70% de su superficie ocupada por éstos; además el mismo presenta buenas características para el desarrollo del cultivo de tomate.



Fig.1. UBPC “Antonio Maceo”

Materiales y métodos

- Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue el bloque al azar para las variables energéticas (energía de uso

directo, energía de uso indirecto, rendimiento energético del cultivo: input energy, output energy, Ratio, NER y del cultivo (rendimiento agrícola); donde se realizaron un total de 10 observaciones de cada una de las variables analizadas en dos campañas (2012 y 2013), correspondientes a los tratamientos T1 y T2 en el periodo comprendido entre noviembre del 2011 hasta abril del 2013. El procesamiento de los datos se realizó con el paquete estadístico STATISTICA, donde se realizó un análisis de varianza efectuando la prueba LSD de Fisher con una probabilidad $p < 0,95$.

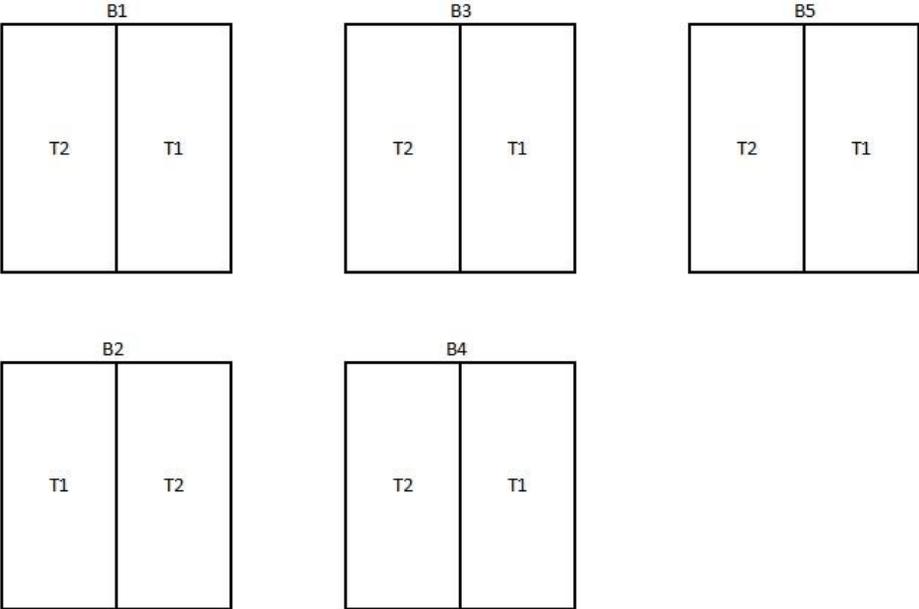


Fig.2. Esquema del diseño experimental

- Metodología de la investigación
- Evaluación energética del proceso de producción del cultivo

Se utilizó el procedimiento propuesto por (Bowers,1992), en el cual se calcula la energía total consumida($GJha^{-1}$), teniendo en cuenta las energías de uso directo e indirecto; también se tienen en cuenta las energías secuestradas de la maquinaria por conceptos 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 el cultivo (fertilizantes y pesticidas).

➤ Cálculo de la energía de uso directo (Ed)

La energía directa en este caso es aquella que está asociada a la mano de obra empleada, los animales utilizados, consumo de energía eléctrica y de combustible utilizada en las diferentes labores del ciclo productivo, esto es:

a) Energía asociada al consumo de electricidad (E_{de}) (MJ ha^{-1}).

$$E_{de} = C_e E_e$$

Donde:

C_e , es el consumo de electricidad (kWh ha^{-1}).

E_e , Equivalente energético de la electricidad ($11,93 \text{ MJ kWh}^{-1}$) (Mandal *et al.* 2002).

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

$$E_{dh} = \frac{E_h n_{oa}}{C_{toa}}$$

Donde:

E_h , es el equivalente energético del trabajo humano en labores agrícolas ($1,96 \text{ MJ h}^{-1}$ y $1,57 \text{ MJ h}^{-1}$ para el hombre y la mujer respectivamente) (Mandal *et al.* 2002).

n_{oa} , es la cantidad de obreros agrícolas que participan en una determinada labor.

C_{toa} , 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}).

$$E_{da} = \frac{E_a n_a}{C_{ta}}$$

Donde:

E_a , es el equivalente energético del trabajo animal ($5,05 \text{ MJ h}^{-1}$) (Mandal *et al.* 2002).

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}).

d) Energía asociada al consumo de combustible (E_{dc})

$$E_{dc} = C_c E_{eg}$$

Donde:

C_c , es el consumo de combustible (L ha^{-1})

Eeg, es el equivalente energético del gasóleo (41 MJ L⁻¹) (Saunders *et al.*, 2006)

➤ Cálculo de la energía de uso indirecto (Ei)

Se contabiliza como aquella que se emplea en la utilización de la maquinaria y de los factores de producción, la cual considera los indicadores siguientes:

a) Energía de uso indirecto asociada a la utilización de la maquinaria (Eimq) (MJ ha⁻¹).

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

Donde:

Ef, es el factor energético debido a la fabricación del equipo (87 MJ kg⁻¹) (Bowers, 1992).

Er, es factor energético en reparación y mantenimiento.

Et, es el factor energético debido al transporte del equipo desde fábrica (8,8 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).

b) Energía de uso indirecto relacionada con los insumos de producción (Eiin) (MJ ha⁻¹).

$$E_{iin} = D_s E_{ein}$$

Donde:

D_s, es la dosis de insumo (kg ha⁻¹ o L ha⁻¹).

E_{ein}, es el equivalente energético de los insumos.

➤ Cálculo de la energía de entrada (input) del cultivo por unidad de superficie (I_{ecs})

$$I_{ecs} = E_{dc} + E_{ic}$$

Donde:

E_{dc}, es la energía de uso directo en el cultivo (GJ ha⁻¹).

E_{ic}, es la energía de uso indirecto en el cultivo (GJ ha⁻¹).

➤ Cálculo de la energía de entrada (input) del cultivo por rendimiento agrícola (I_{ecr})

$$I_{ecr} = \frac{I_{ecs}}{R_{ac}}$$

Donde:

R_{ac} , es el rendimiento agrícola del cultivo ($t\ ha^{-1}$).

➤ Cálculo de la energía de salida (output) en el cultivo producido (O_{ecs})

$$O_{ecs} = E_{eq} R_{ac}$$

Donde:

E_{eq} , es la energía equivalente del cultivo ($GJ\ t^{-1}$).

R_{ac} , es el rendimiento agrícola del cultivo ($t\ ha^{-1}$).

➤ Cálculo del coeficiente de relación energética del cultivo (Energy Ratio) (E_{rc})

$$E_{rc} = \frac{O_{ecs}}{I_{ecs}}$$

O_{ecs} , es la energía contenida (salida) en el cultivo producido ($GJ\ ha^{-1}$).

I_{ecs} , es la energía consumida (entrada) en el cultivo ($GJ\ ha^{-1}$).

➤ Cálculo del coeficiente de eficiencia de energía neta del cultivo (NER)

$$NER = \frac{O_{ecs} - I_{ecs}}{I_{ecs}}$$

Análisis de los resultados

- Análisis de la energía de uso directo asociada al cultivo ($GJ\ ha^{-1}$)

En la tabla 1; fig.3, se reflejan los resultados de los valores aportados por cada insumo que participó en el proceso productivo del cultivo para cada campaña.

Tabla 1. Energía de uso directo ($GJha^{-1}$) asociada al cultivo.

Tipo de Energías	Cultivo de Tomate	
	Campaña2012(T1)	Campaña2013(T2)
Combustible(Diesel)	3,29	2,0
Electricidad	1,1	0,74
Energía humana	2,28	0,8

Energía Animal	0,33	0,22
Energía Total	7,0 a	3,76 b

En una fila las cifras seguidas por la misma letra minúscula no son significativamente diferentes ($P < 0,05$).

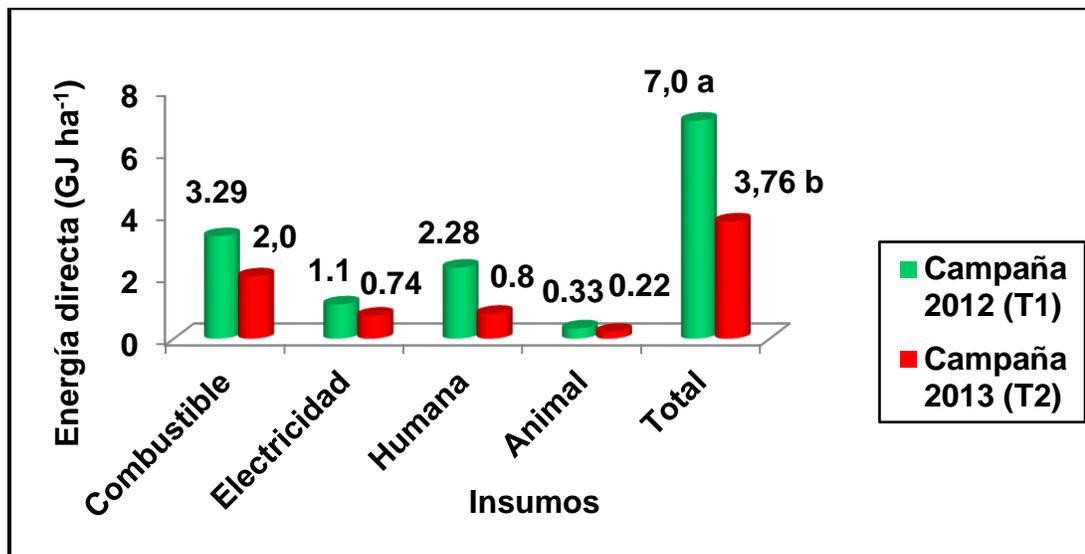


Fig.3. Energía de uso directo (GJha⁻¹) asociada al cultivo

Se encontraron diferencias significativas entre ambos tratamientos, aportando el mayor consumo energético la energía asociada al combustible diesel en la que la campaña 2012 (T1) aportó la mayor cuantía con valor de 3,29 GJha⁻¹ seguido de la energía humana con un valor de 2,28 GJha⁻¹ representando el 47,0 y el 32,3 respectivamente del total de la energía de uso directo, lo cual coincide con lo planteado por investigadores a nivel nacional e internacional como Fluck(1992); Paneque *et al.*(2007); Parra (2009); Olivet (2010).

Las causas fundamentales de estos resultados estuvieron motivados a que la tecnología aplicada en la labranza fue la tradicional donde se realizaron varias labores y por tanto hubo gran consumo de combustible, para el caso del consumo de la energía humana incidió la cantidad de actividades que se realizaron al cultivo tales como: la plantación, limpieza y la cosecha donde intervienen la mayor cantidad de obreros.

- Análisis de la energía de uso indirecto asociada al cultivo (GJ ha⁻¹)

En la tabla 2; fig.4, se reflejan los resultados de los valores aportados por cada insumo que participó en el proceso productivo del cultivo.

Tabla 2. Energía de uso indirecto (GJha⁻¹) asociada al cultivo.

Tipo de Energías	Cultivo de Tomate	
	Campaña2012(T1)	Campaña2013(T2)
Maquinaria	0,52	0,54
Postura	0,94	0,81
Fertilizante	11,54	11,54
Pdtos.(Biológicos y Químicos)	4,82	2,1
EnergíaTotal	17,82 a	14,99 b

En una fila las cifras seguidas por la misma letra minúscula no son significativamente diferentes($P<0,05$).

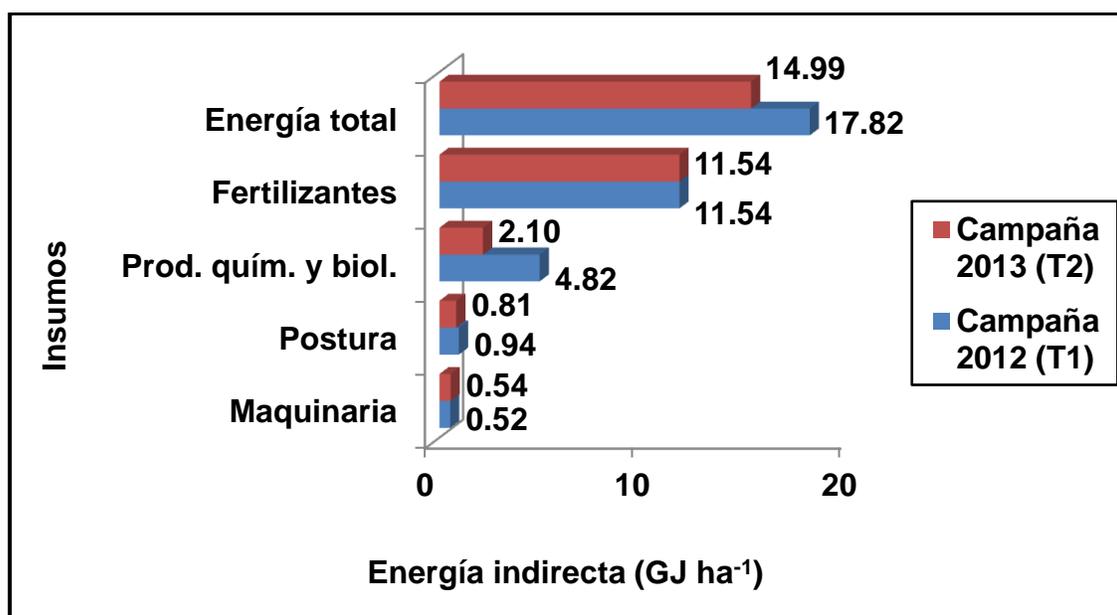


Fig.4.Energíade uso indirecto ($GJha^{-1}$) asociada al cultivo.

En efecto tal y como se aprecia en la tabla 2; fig.4 también se apreciaron diferencias entre los tratamientos evaluados observándose mayor cuantía en la energía total en el tratamiento correspondiente a la campaña 2012 (T1) con valor de $17,82 GJha^{-1}$ superior en $2,83 GJha^{-1}$.

Se observa que fue la energía asociada al uso de los fertilizantes la que mayor incidencia tuvo en este resultado, los cuales aportan una cuantía de $11,54 GJha^{-1}$ que representa el 64,7 y el 76,9 % del total para T1 y T2 respectivamente, seguidos por los pesticidas con valor de $4,82$ y $2,1 GJha^{-1}$ para el tratamiento uno y dos respectivamente, resaltando que la causante de la diferencia de esta cuantía fue debido a que en la en la campaña hubo afectaciones de la enfermedad fitóctora y no fue posible aplicar a tiempo productos para el control de la misma al no existir disponibilidad de productos fitosanitarios y asperjadoras manuales o motorizadas. Cabe señalar que estos resultados se corroboran con los obtenidos por investigadores como Heller (2003); Parra (2009) y Olivet (2010).

- Análisis del balance energético del cultivo

En la tabla 3; fig.5, se reflejan los resultados de los indicadores energéticos de cada campaña relacionados con el balance del cultivo.

Tabla 3. Balance energético del cultivo para las dos campañas.

Indicadores	UM	T1	T2
Energía total consumida o entrada (input) por unidad de superficie	GJ ha ⁻¹	24,51 b	18,52 a
Energía consumida o entrada (input) por rendimiento agrícola	GJ t ⁻¹	0,69 a	1,46 b
Energía contenida o de salida (ouput)	GJ ha ⁻¹	28,33 a	10,08 b
Relación energética (ratio)	-	1,16 a	0,54 b
Eficiencia Energética Neta (NER)	-	0,16 a	-0,45 b

En una columna las cifras seguidas por la misma letra minúscula no son significativamente diferentes (P<0,05).

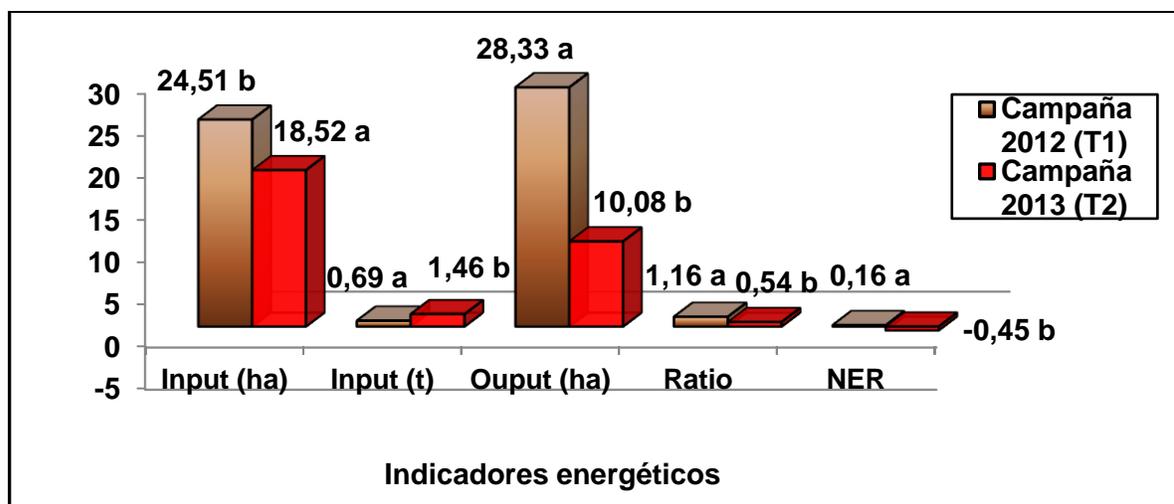


Fig.5. Balance energético del cultivo para las dos campañas.

En una columna las cifras seguidas por la misma letra minúscula no son significativamente diferentes (P<0,05).

Como se observa en la tabla 3; fig. 5, se encontraron diferencias significativas en todos los indicadores energéticos, comportándose desfavorablemente el tratamiento dos correspondiente a la campaña 2013, debido a que la relación de entrada y salida de energía favoreció a la consumida (input energy) la cual obtuvo valor de 18,52 GJ ha⁻¹ con relación a la energía contenida (ouput energy) en el producto final que arrojó una cuantía de 10,08 GJ ha⁻¹, lo que aportó un ratio de 0,54 y una eficiencia energética de -0,45 catalogados de bajos.

Este resultado negativo estuvo dado por las deficiencias técnicas que se presentaron, principalmente el mal estado técnico de la máquina de riego y rotura de la misma durante el ciclo vegetativo del cultivo (un mes después del trasplante) que impidió el riego por un plazo de 23 días lo cual repercutió en una correcta floración y fructificación; así como la afectación de la enfermedad Fitóctera la cual no se pudo controlar a tiempo por falta de productos y máquinas fitosanitarias.

- Valoración económica

En el aspecto económico como se observa en la fig. 6, obtuvo el mejor resultado T2 relacionado con la campaña 2013, en la cual se obtuvo un rendimiento agrícola del cultivo de $12,6 \text{ t ha}^{-1}$, valorados con los gastos como fueron: semillas, combustibles, fertilizantes, insecticidas, electricidad y el salario de los obreros agrícolas, lo que importó $1\,090 \text{ CUP ha}^{-1}$, se obtuvo un ingreso a través del producto cosechado de $1\,451 \text{ CUP ha}^{-1}$, por lo que dicho cultivo aportó a la cooperativa una ganancia de 361 CUP ha^{-1} .

Es válido destacar que a pesar del bajo rendimiento del cultivo se obtuvieron ganancias considerables con respecto a la campaña precedente debido al incremento del precio del producto. En la campaña 2012 el precio promedio fue de 55 CUP qq y en la campaña 2013 de 92 CUP qq .

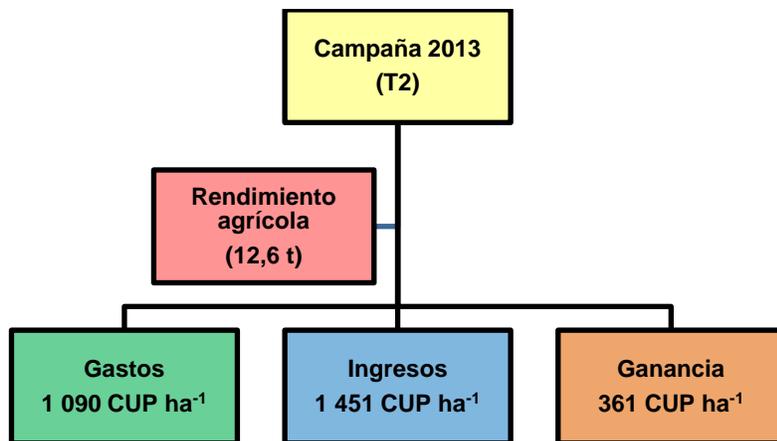


Fig. 6. Relación gasto - ingreso-ganancia del cultivo (CUP).

Conclusiones

1. Los resultados obtenidos en la campaña 2013 estuvieron afectados por problemas técnicos del riego y de la enfermedad Fitóctera.
2. La energía de uso directo asociada al cultivo en las campañas 2012 y 2013 fue de $7,0$ y $3,76 \text{ GJha}^{-1}$ respectivamente.

3. La energía de uso indirecto asociada al cultivo en las campañas 2012 y 2013 fue de 17,82 y 14,99 GJ ha⁻¹ respectivamente.
4. La energía total consumida por el cultivo asociada al rendimiento agrícola Input fue de 24,51 y 18,52 (GJha⁻¹) y la energía asociada al cultivo producido por unidad de superficie Output de 28,33 y 10,08 (GJ ha⁻¹) respectivamente.
5. El rendimiento energético (Ratio) del cultivo del tomate en las campañas 2012 y 2013 fue de 1,16 y 0,54 y la eficiencia energética (NER) de 0,16 y -0,45 respectivamente.
6. El cultivo en T2 alcanzó un rendimiento de 12,6 t ha⁻¹ con un ingreso de 1 451 CUP ha⁻¹, para una ganancia de 361 CUPha⁻¹.

Recomendaciones

1. Utilizar los indicadores energéticos obtenidos para tomar decisiones que permitan la producción de tomate con rendimientos adecuados y estables en estas condiciones edafoclimáticas.

Referencias bibliográficas

1. Blanco, G., 2007. Maquinaria y equipos para laboreo mínimo y convencional. *Vida Rural*. No. 253, pp 68-73.
2. Bowers, W., 1992. Agricultural fuel de equipment. In: Fluck, R.C. (Ed.), *Energy in World Agriculture. Energy in Farm Production*, vol.6. Elsevier, Amsterdam, pp.117–129.
3. Fluck, R., 1992. Energy for farm production. Vol. 6 *Energy for World Agriculture*, (Ed): Elsevier, Amsterdam, p287.
4. González, V. R., 1993. Explotación del Parque de Maquinarias. Segunda edición. La Habana: Editorial Félix Varela.
5. Hetz, E., Barrios, A., 1997a. Costo energético de las operaciones agrícolas mecanizadas más comunes en Chile. *Agro surv.* 25 n.2.
6. Heller, M.C., Keoleian, G.A., Volk, T.A., 2003. Life cycle assessment to evaluate bioenergy and cropping system. *Biomass and Bioenergy* 25, pp147–165.
7. Leyva, S.O., Serrano, V.M., 1997. “Tecnología de laboreo mínimo”, *Cañaveral*, 3(4):12-14; Sept.–Oct.
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, pp 337-345.

9. ONE, 2006. (Oficina Nacional de Estadística. Cuba). Clasificación genética de los suelos de Cuba.
10. Olivet, Y. E., 2010. 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 opcional grado científico de Doctor en Ingeniería Rural), Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior.
11. Paneque, R. P., Soto, L. D., 2007. Costo energético de las labores de preparación de suelos en Cuba. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*. Vol.16, No 4, pp17-21.
12. Parra, 2009. Influencia de cuatro sistemas de laboreo en las propiedades físicas de un *Fluvisol* y en el balance energético en cultivos de raíces y tubérculos. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ingeniería Rural), Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior.
13. Saunders, C., Barber, A., Taylor G., 2006. Food Miles—Comparative Energy/Emissions Performance of New Zealand" Agriculture Industry. The Agribusiness and Economics Research Unit (AERU). Lincoln University. Research Report No. 285.