

Costo energético de la producción de hortalizas en casas de cultivos protegidos (Original)**Energy cost of vegetable production in protected crop houses (Original)**

Yurisan Matamoros Estrada. Ingeniero en Procesos Agroindustriales. Universidad de Granma.

Bayamo. Granma. Cuba. ymatamoroe@udg.co.cu 

Yosvel Enrique Olivet Rodríguez. Ingeniero Agrícola. Doctor en Ciencias Técnicas

Agropecuarias. Profesor Titular. Universidad de Granma. Bayamo. Granma. Cuba.

yolivetr@udg.co.cu 

Daimara Cobas Hernández. Licenciada en Lengua Inglesa con segunda Lengua Extranjera.

Profesor Auxiliar. Universidad de Granma. Bayamo. Granma. Cuba. dhernadezc@udg.co.cu 

Elizabet González Verales. Estudiante de 4to año de la carrera de Ingeniería en Procesos

Agroindustriales. Universidad de Granma. Bayamo. Granma. Cuba. egonzalesv@udg.co.cu 

Recibido: 13-04-2024/Aceptado: 24-10-2024

Resumen

La investigación se realizó en las casas de cultivos protegidos pertenecientes a la Empresa Municipal Agroindustrial Paquito Rosales Benítez del municipio Yara, en la provincia Granma. Se trazó como objetivo determinar el costo energético de tres cultivos hortícolas: el tomate (*Lycopersicon esculentum* M.), el pimiento (*Capsicum annuum* L.) y el pepino (*Cucumis sativus* L.), bajo condiciones protegidas. Para ello se realizó un estudio del costo energético e ingreso económico de la producción, a través de un diseño experimental en bloque al azar con dos repeticiones y tres cultivos como tratamientos. Los datos alcanzados fueron comparados mediante un análisis de varianza con el paquete estadístico STATISTICA. Como resultado, el cultivo del pimiento mostró un costo energético de $24,80 \text{ GJ} \cdot \text{h}^{-1}$, directamente proporcional a la

energía de entrada de $25,24 \text{ GJ} \cdot \text{ha}^{-1}$. El rendimiento agrícola para el cultivo del tomate fue de $87,03 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, con ingreso de $23\,500,00 \text{ CUP} \cdot \text{ha}^{-1}$ con relación al pimiento y al pepino respectivamente.

Palabras clave: *Lycopersicon esculentum* M.; *Capsicum annuum* L.; *Cucumis sativus* L.; costo energético.

Abstract

The research was carried out in the houses of protected crops belonging to the Municipal Agroindustrial Company Paquito Rosales Benítez of Yara municipality, Granma province. The objective was to determine the energetic cost of three horticultural crops: tomato (*Lycopersicon esculentum* M.), bell pepper (*Capsicum annuum* L.) and cucumber (*Cucumis sativus* L.), under protected conditions. For this purpose, a study of the energetic cost and economic income of production was carried out using a randomized block experimental design with two replications and three crops as treatments. The data obtained were compared by means of an analysis of variance with the STATISTICA statistical package. As a result, the bell pepper crop showed an energy cost of $24,80 \text{ GJ} \cdot \text{ha}^{-1}$, directly proportional to the input energy of $25,24 \text{ GJ} \cdot \text{ha}^{-1}$. The agricultural yield for the tomato crop was $87,03 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, with input of $23\,500,00 \text{ CUP} \cdot \text{ha}^{-1}$ in relation to bell pepper and cucumber respectively.

Keywords: *Lycopersicon esculentum* M.; *Capsicum annuum* L.; *Cucumis sativus* L.; energy cost.

Introducción

La producción de cultivos bajo condiciones protegidas asegura el abastecimiento de alimento para todo el año; por tal motivo, muchos países donde las temperaturas son elevadas realizan este tipo de práctica, convirtiéndose en una tecnología prometedora para asegurar su

suministro fresco a la población. En Cuba, los cultivos de tomate (*Lycopersicon esculentum* M.), pimiento (*Capsicum annuum* L.) y pepino (*Cucumis sativus* L.) se fomentan en casas de cultivos protegidos (Matamoros & Olivet, 2024).

La producción de estos cultivos bajo este sistema, genera un consumo y un costo energético determinado debido al uso de diferentes recursos e insumos necesarios para alcanzar una hortaliza de buena calidad. Entre ellos se encuentra el uso de maquinaria, los fertilizantes, las semillas, el agua, la fuerza humana, el combustible y la electricidad, los que en gran medida conllevan un gasto de energía asociado al sistema productivo (Olivet et al., 2019; Ampim et al., 2022).

Paneque y Prado (2005) y Friedrich (2017) (citados por Martínez & Olivet, 2020) exponen que la maquinaria agrícola tiene un alto costo de adquisición y de operación en términos monetarios y energéticos (MJ h^{-1} , MJ ha^{-1}), por lo que la eficiencia energética permite la sostenibilidad en la agricultura y el mantenimiento de los suelos cultivados.

Por otro lado, el uso de los combustibles en las labores agrícolas, representa un alto porcentaje dentro del costo energético total de la producción, pues la labranza juega un papel fundamental en la agricultura, por tal motivo los agricultores de los países en desarrollo gastan más anualmente en la adquisición de combustible, debido a su agotamiento, que en la compra de otros productos necesarios para garantizar una producción constante (Trujillo & Pantoja, 2021).

Esta preocupación ha motivado a algunos a realizar cambios tecnológicos y a emplear grandes cantidades de fertilizantes inorgánicos y pesticidas para alcanzar altas producciones sin tener en cuenta el costo de energía que estos implican. Esta práctica modifica el uso de la energía y su eficiencia, ya que el empleo de dichos productos en distintas plantaciones bajo casa de cultivo permite alcanzar elevados rendimientos agrícolas. Sin embargo, Matamoros y Olivet (2024) plantean que: "El uso de los fertilizantes puede tener valores por encima de 23 220 MJ ha^{-1}

¹, con un 87 % por encima de la maquinaria, el 71 y 81 % por encima de los pesticidas y herbicidas respectivamente" (pp.65-66).

Por tal razón se considera que el uso de fertilizantes y pesticidas generan un elevado consumo de energía, ya que se tiene en cuenta la energía utilizada desde su fabricación hasta su aplicación. También la energía eléctrica puede alcanzar valores por encima de 12 500 MJ ha⁻¹ con relación al uso de la maquinaria agrícola, debido a su empleo en los fertirriegos.

Esta tendencia reafirma la necesidad de una agricultura sustentable que preserve el ambiente y los recursos naturales, con énfasis en técnicas que tengan una menor dependencia de insumos externos y tiendan a la conservación de los recursos mediante el empleo de otras técnicas sencillas y naturales como es el empleo de fertilizantes orgánicos y productos biológicos que permiten estimular y controlar diferentes plagas sin la necesidad de emplear los compuestos químicos para lograr producciones elevadas (Maureira et al., 2022).

Teniendo en cuenta todo lo abordado, el costo energético consiste en identificar la energía requerida asociada a los productos y equipos que intervienen en la producción de un determinado bien. Así la describen una serie de análisis, como el siguiente concepto: "energía requerida y aportada (*Input-Output*) y otros procedimientos estadísticos, los primeros consisten en determinar la energía requerida por unidad de un bien, o servicio producido y los otros a partir de datos estadísticos" (Fluck, 1992; Paneque et al., 2002; Haciseferoğ Ullari et al., 2003; Ozkan et al., 2004, citados por Miranda et al., 2016, p.33).

Para calcular el costo energético hay que tener en cuenta las actividades y medios que intervienen en un proceso pues este permite determinar las energías secuestradas e incorporadas en los productos y equipos involucrados en la producción de un bien. Asimismo, permite un

aumento en la eficiencia energética del proceso tecnológico en las actividades agrícolas (Matamoros & Olivet, 2024).

No obstante, muchas de las empresas y productores se empeñan en hacer un uso indiscriminado de los portadores energéticos en un determinado cultivo y realizan un empleo excesivo de la maquinaria agrícola, los fertilizantes y de la fuerza humana. Sin embargo, hoy en las casa de cultivo se practican actividades agrícolas donde estos componentes se encuentran vinculados y donde la fuerza humana es esencial para la obtención de un rendimiento elevado en los cultivos de tomate, pimiento y pepino.

Tomando en consideración todo lo antes expuesto, se plantea como objetivo del presente artículo presentar los resultados de la determinación del costo energético de tres cultivos hortícolas: el tomate (*Lycopersicon esculentum* M.), el pimiento (*Capsicum annuum* L.) y el pepino (*Cucumis sativus* L.), bajo condiciones protegidas.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en las casas de cultivos protegidos de la Empresa Municipal Agroindustrial Paquito Rosales Benítez, del municipio Yara, provincia Granma. Estas se encuentran construidas sobre un fluvisol, según Hernández et al. (2019), que posibilita fomentar los cultivos de tomate, pimiento y pepino. Se realizó un estudio del costo energético y del ingreso económico de la producción, a través de un diseño experimental en bloque al azar con dos repeticiones y tres cultivos como tratamientos. Los datos alcanzados fueron comparados mediante un análisis de varianza con el paquete estadístico STATISTICA, para una prueba de LSD de Fisher con una probabilidad $p < 0,95$.

Para realizar el costo energético, se tuvo en cuenta la energía secuestrada en los materiales de fabricación y transporte, uso del combustible y lubricantes, reparación y

mantenimiento, mano de obra, empleo de la semilla y los insumos. Esto parte de las propuestas hechas por Trujillo y Pantoja (2021, pp. 59-60) y Valdés et al. (2022, pp. 8-9).

a) Los costos energéticos totales de las operaciones agrícolas mecanizadas (EST).

$$EST = ESm + ESc + ESl + ESmr + ESmo + ESp \quad (1)$$

Donde:

EST es el costo energético total de la operación agrícola mecanizada (MJ h^{-1}),

ESm es la energía secuestrada en los materiales de fabricación y transporte (MJ h^{-1}),

ESc es la energía secuestrada en el combustible (MJ h^{-1}),

ESl es la energía secuestrada en lubricante (MJ h^{-1}),

$ESmr$ es la energía secuestrada en reparación/mantenimiento (MJ h^{-1}),

$ESmo$ es la energía secuestrada en mano de obra (MJ h^{-1}) y

ESp es la energía secuestrada en productos utilizados (semillas, fertilizantes, pesticidas) (MJ h^{-1}).

b) La energía secuestrada en los materiales de fabricación y transporte (ESm).

$$ESm = \frac{G_t \cdot EU_t}{VUt} + \frac{G_m \cdot EU_m}{VUm} \quad (2)$$

Donde:

G_t y G_m son la masa constructiva del tractor y la máquina agrícola respectivamente (kg),

EU_t y EU_m son la energía por unidad de masa constructiva del tractor y de la máquina agrícola respectivamente, (MJ kg^{-1}) y

VUt y VUm son la vida útil del tractor y de la máquina agrícola respectivamente (h).

c) La energía correspondiente al combustible utilizado (ESc) se calcula con el estándar propuesto por Trujillo y Pantoja (2021):

$$ESc = gh \cdot E_{eg} \quad (3)$$

Donde:

Gh es el consumo específico de combustible ($L\ h^{-1}$) y

E_{eg} es la energía equivalente del combustible ($MJ\ L^{-1}$).

d) La energía correspondiente a lubricantes/filtros (ESl) y a reparaciones/mantenimiento ($ESmr$), se calcula según lo establecido por Hetz y Barrios (1997): 5 % de la energía del combustible y 129 % la energía correspondiente a materiales/fabricación.

$$ESl = 0,05 \cdot ESc \quad (4)$$

$$ESmr = 1,29 \cdot ESm \quad (5)$$

Donde:

ESc es la energía secuestrada en el combustible ($MJ\ h^{-1}$) y

ESm es la energía secuestrada en los materiales de fabricación y de transporte ($MJ\ h^{-1}$).

e) El gasto energético de la mano de obra ($ESmo$) se estableció para un turno de 8 h.

$$ESmo = n_{ob} \cdot E_h \quad (6)$$

Donde:

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

E_h es el equivalente energético del trabajo humano ($1,96\ MJ\ h^{-1}$ para el hombre (Mandal et al., 2002)).

f) La energía correspondiente al producto utilizado (ESp).

$$ESp = Eiin \cdot W \quad (7)$$

Donde:

$Eiin$ es la energía por unidad de masa de los insumos (semillas, fertilizantes, pesticidas) ($MJ\ h^{-1}$) y

W es la productividad del conjunto ($ha\ h^{-1}$).

Análisis y discusión de los resultados

Análisis del costo energético

Al analizar el costo energético del proceso (tabla 1), se pudo comprobar que los valores referidos a la energía secuestrada en los materiales, fabricación y transporte (*ESm*), energía secuestrada en el combustible (*ESc*), energía secuestrada en lubricante (*ESl*) y energía secuestrada en reparación/mantenimiento (*ESmr*) para los tres cultivos no mostraron diferencias significativas según la prueba de LSD de Fisher para $p < 0,95$.

Tabla 1. Costo energético del proceso (GJ h⁻¹)

Indicadores*	Cultivos**			Media
	Tomate	Pimiento	Pepino	
<i>ESm</i> -energía secuestrada en los materiales, fabricación y transporte	0,02aD	0,02aE	0,02aF	0,02
<i>ESc</i> - energía secuestrada en el combustible	0,62aB	0,62aC	0,62aD	0,62
<i>ESl</i> - energía secuestrada en lubricante	0,03aC	0,03aD	0,03aE	0,03
<i>ESmr</i> - energía secuestrada en reparación/mantenimiento	0,03aC	0,03aD	0,03aE	0,03
<i>ESmo</i> - energía secuestrada en mano de obra	8,90bA	13,30aA	3,60cB	8,60
<i>ESan</i> , energía secuestrada en los animales de trabajo	0,20bD	0,30aD	0,20bF	0,23
<i>ESele</i> , energía secuestrada en la electricidad	0,20bD	0,20bE	0,96aC	0,45
<i>Eiin</i> , energía por unidad de masa de los insumos (semillas, fertilizantes, pesticidas)	8,84cA	10,30aB	10,13bA	9,76
Media	2,35b	3,10a	1,95c	2,47

Leyenda: *Indicadores, **Cultivos: tomate, pimiento y pepino. En cada fila las cifras seguidas por la misma letra minúscula no son significativamente diferentes para $p < 0,95$, según la prueba de LSD de Fisher. En una columna las cifras seguidas por la misma letra mayúscula no son significativamente diferentes para $p < 0,95$, según la prueba de LSD de Fisher.

Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, la energía secuestrada en mano de obra (*ESmo*) sí mostró diferencias significativas para este tipo de prueba, donde el cultivo del pimiento alcanzó un valor de 13,30 $\text{GJ}\cdot\text{h}^{-1}$, 73 % y 33 % superior a los valores alcanzados por el pepino y el tomate respectivamente. De igual manera pasa con la energía secuestrada en los animales de trabajo (*ESan*), la que en el cultivo de pimiento supera en 33 % a los valores alcanzados por el tomate y el pepino.

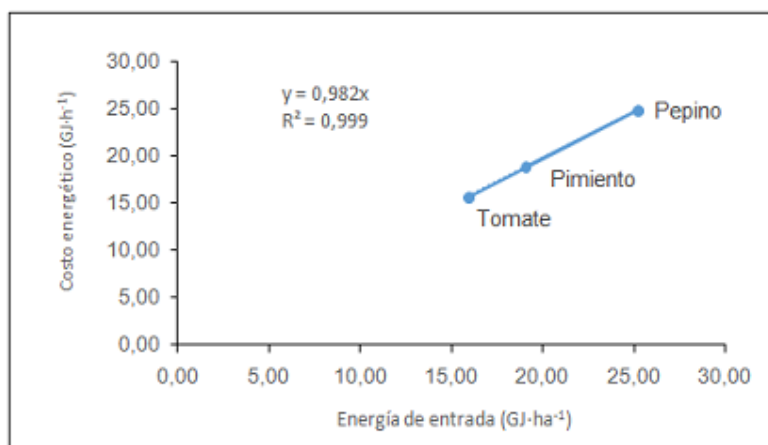
Esto no ocurre así para la energía secuestrada en la electricidad (*ESele*) donde, a pesar que existen diferencias significativas, el cultivo de pimiento reporta el mayor costo de esta energía (0,96 GJ h^{-1}), 79,2 % superior a la utilizada en el tomate y el pimiento, eso estuvo asociado a la cantidad de fertirriegos que se realizaron, ya que es evidente que en el pepino se realizaron más que en los otros dos cultivos.

Al analizar la energía que involucra a los insumos (semillas, fertilizantes, pesticidas) (*Eiin*), esta fue mayor en el cultivo de pimiento con 10,30 GJ h^{-1} , seguido del pepino con 10,13 GJ h^{-1} y, por último, del tomate con 8,84 GJ h^{-1} . En este caso los valores que están asociados a este costo energético permiten determinar que la energía equivalente del cultivo del pimiento (1,52 MJ kg^{-1}) influye de forma negativa en este valor, ya que es 47 % mayor que la energía equivalente del cultivo de tomate y pepino (0,80 $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$), respectivamente. De forma general, el pimiento alcanza un costo medio de 3,10 GJ h^{-1} , 37 % y 24 % superior a los valores alcanzados por el pepino y el tomate respectivamente. Estos valores se corresponden los señalados por Naseer et al. (2021) y Maureira et al. (2022).

Mediante un análisis de correlación se puede comprobar que a medida que el consumo de energía aumenta, los costos energéticos también aumentan. En la Figura 1, los valores energéticos expresan que el costo energético es directamente proporcional al consumo de energía de entrada: 19,08 GJ ha^{-1} para el tomate, de 25,24 GJ ha^{-1} para el pimiento y de 15,93 GJ ha^{-1}

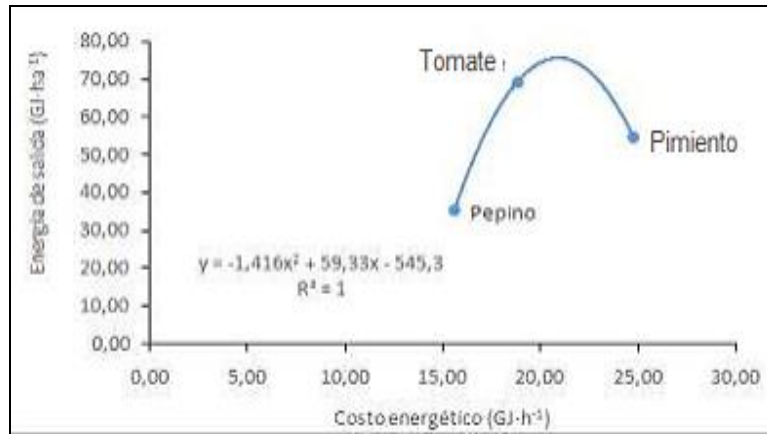
para el pepino; según Matamoros y Olivet (2024), cuando esta aumenta, también lo hace el costo, para este caso el cultivo del pimiento alcanza el mayor consumo de energía y costo energético con relación al tomate y pepino respectivamente, con una ecuación de regresión ajustada para $R^2=0,99$.

Figura 1. Correlación del costo energético vs energía de entrada



Fuente: elaboración propia.

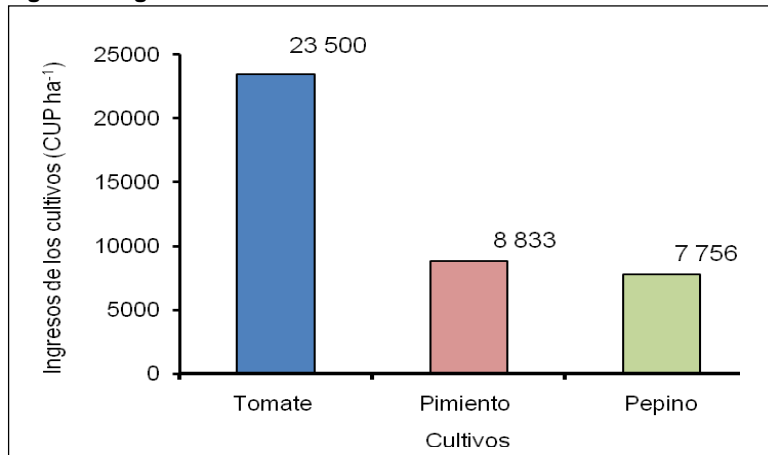
Como se puede apreciar, el consumo de energía *Input* proporciona un costo energético determinado, este permite alcanzar valores de energía *Output* de 69,62 GJ ha⁻¹ para el tomate, de 54,87 GJ ha⁻¹ para el pimiento y de 35,26 GJ ha⁻¹ para el pepino, según Matamoros y Olivet (2024), valores por encima de la energía *Input* debido al rendimiento agrícola de los cultivos que se alcanzan, dando esto, una buena eficiencia del proceso. Sin embargo, a pesar de que los valores de costo energéticos son altos, prevalecen los valores de la energía *Output* por encima de estos (figura 2), presentando una buena correlación entre los valores alcanzados para una $R^2=1$.

Figura 2. Correlación de la energía de salida vs costo energético

Fuente: elaboración propia.

Valoración económica

Los valores económicos son un parámetro fundamental en el análisis de los sistemas de ingeniería, estos determinan desde el punto de vista económico la variante a implementar. El cultivo del tomate presentó los mejores resultados económicos, con 23 500 CUP ha⁻¹ (Figura 3), 63 y 67 % por encima de los alcanzados por los cultivos de pimiento y pepino respectivamente.

Figura 3. Ingresos de los cultivos

Fuente: Matamoros y Olivet (2024).

El rendimiento agrícola de 87,03 t·ha⁻¹ alcanzado por el cultivo del tomate facilitó el mejor ingreso con relación a los demás cultivos, con rendimientos de 36,1 y 44,07 t·ha⁻¹, aspecto corroborado por Matamoros y Olivet (2024).

Conclusiones

1. El cultivo del pimiento alcanzó el mayor costo energético de $24,80 \text{ GJ h}^{-1}$, siendo este directamente proporcional a la energía de entrada, con relación al tomate y al pepino, respectivamente.

2. Con el cultivo del tomate se alcanzó el mejor rendimiento agrícola ($87,03 \text{ t ha}^{-1}$), para un ingreso de $23\,500,00 \text{ CUP ha}^{-1}$, con relación al pimiento y al pepino, respectivamente.

Referencias bibliográficas

- Ampim, P. A., Obeng, E. & Olvera-Gonzalez, E. (2022). Indoor vegetable production: An alternative approach to increasing cultivation. *Plants*, 11(21), 2843. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/plants11212843>
- Hernández, A., Pérez, J. M., Bosch, D. & Castro, N. (2019). La clasificación de suelos de Cuba: énfasis en la versión de 2015. *Cultivos Tropicales*, 40(1). <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v40n1/1819-4087-ctr-40-01-e15.pdf>
- Hetz, E. J. & Barrios, A. I. (1997). Costo energético de las operaciones agrícolas mecanizadas más comunes en Chile. *Agro Sur*, 25(2), 146-161. <https://doi.org/https://doi.org/10.4206/agrosur.1997.v25n2-03>
- Mandal, K. G., Saha, K. P., Ghosh, P. K., Hati, K. M. & Bandyopadhyay, K. K. (2002). Bioenergy and economic analysis of soybean-based crop production systems in central India. *Biomass and Bioenergy*, 23(5), 337-345. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(02\)00058-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0961-9534(02)00058-2)
- Martínez, Y. B. & Olivet, Y. E. (2020). Evaluación del costo energético de la labor de rotura con arado de discos para el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Científica*

- Estudiantil de la Universidad de Granma, REUDG*, 2(1)
<https://revistas.udg.co.cu/index.php/reudgr/article/view/1752/3201>
- Matamoros, Y. & Olivet, Y. E. (2024). Balance energético de cultivos hortícolas bajo condiciones protegidas. *Revista Granmense de Desarrollo Local, REDEL*, 8(1), 63-80.
<https://revistas.udg.co.cu/index.php/redel/article/view/4293/10307>
- Maureira, F., Rajagopalan, K. & Stöckle, C. O. (2022). Evaluating tomato production in open-field and high-tech greenhouse systems. *Journal of Cleaner Production*, 337.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130459>
- Miranda, A., Paneque, P., Abram, N., Ribet, Y. & Santos, F. (2016). Determinación del costo energético de la cosecha mecanizada del arroz. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25(4), 32-38.
<https://revistas.unah.edu.cu/index.php/rcta/article/view/461/466>
- Naseer, M., Persson, T., Righini, I., Stanghellini, C., Maessen, H. & Verheul, M. J. (2021). Bio-economic evaluation of greenhouse designs for seasonal tomato production in Norway. *Biosystems Engineering*, 212, 413-430.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.11.005>
- Olivet, E. F., Ortiz, A., E & Ocaña, Y. E. (2019). Balance energético del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones protegidas. *Revista Granmense de Desarrollo Local, REDEL*, 3(4), 239-252. <https://revistas.udg.co.cu/index.php/redel/article/view/1140>
- Trujillo, Y. M. & Pantoja, L. C. (2021). Costo energético de la labranza y siembra para el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris*). *Universidad & Ciencia*, 10(2), 54-69.
<https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/1730/pdf>
- Valdés, P. A., Paneque, P., Crespo, P. D. & Gómez, M. V. (2022). Costos energéticos y de explotación del conjunto Tractor MF-275-Cosechadora KUHN MC 90S TWIN de maíz

forrajero. *Revista Ingeniería Agrícola*, 12(3).

<https://www.redalyc.org/journal/5862/586272871001/586272871001.pdf>