



REVISIÓN

<http://opn.to/a/jmnNu>

Costo energético y de explotación para la producción de forraje fresco, triturado y molinado

Energy and Operation Cost of the Production of Fresh, Crushed and Grounded Forage

Ing. Roger M. Crespo Amaya^{I*}, Dr.C. Pedro A. Valdés Hernández^{II}, Dr.C. Pedro Paneque Rondón^{II},
Dr.C. Alexander Miranda-Caballero^{III}, MSc. María Victoria Gómez-Águila^{IV}

^I Delegación de la Agricultura de Viñales, MINAG, Pinar del Río, Cuba.

^{II} Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Departamento de Ingeniería, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

^{III} Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

^{IV} Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, Texcoco, México.

RESUMEN. El objetivo del trabajo fue desarrollar una revisión de las principales investigaciones realizadas en el país, y a nivel internacional, sobre el costo energético y de explotación de la maquinaria empleada para la producción de forraje fresco, triturado y molinado. El ganado no está adaptado físicamente para alimentarse de plantas forrajeras de gran tamaño y menos cuando estas son de tallo grueso como king-grass, sorgo, maíz, caña de azúcar, moringa, morera, tithonia y otras similares. Por tal motivo se requiere que estas plantas sean previamente repicadas antes de ser suministradas como alimento fresco, por lo que es necesario el desarrollo de tecnologías mecanizadas para el procesamiento del forraje de los diferentes cultivos, con vista a la creación de una base alimentaria para el ganado propia en el país, lo que permite la sustitución de importaciones de concentrados. Se aprecian pocas investigaciones relacionadas con la maquinaria empleada para la producción de forraje en la alimentación del ganado en Cuba, para su adecuada adaptación a las condiciones del país, dado que la determinación de los indicadores tecnológicos, costos energéticos y de explotación de las máquinas, constituyen parámetros fundamentales a tener en cuenta para llegar a la obtención de un proceso productivo adecuado y de mayor eficiencia. En el balance energético, se establecen dos grupos: 1-Energía requerida, asociada a la fabricación de los equipos mecánicos y la contenida en los materiales utilizados, así como la 2-Energía requerida, asociada a los productos fungibles no recuperables, tales como combustibles, fertilizantes, semillas, herbicidas, etc.

Palabras clave: producción ganadera, plantas forrajeras, tecnología mecanizada.

ABSTRACT. The objective of the work was to develop a revision of the main researches carried out in Cuba, and at international level, on the cost of energy and of exploitation of the machinery used for the production of fresh, crushed and grounded forage. The livestock is not adapted physically to be feeding with of forage plants of great size and less when these they are of thick shaft as king-grass, sorghum, corn, sugar cane, moringa, mulberry, tithonia and other similar ones. For such a reason it is required that these plants be previously chopped before being given as fresh food, for what is necessary the development of mechanized technologies for the processing of the forage of the different types, with view to the creation of a national alimentary base for the livestock, what allows the substitution of imports of concentrated foods. Few researches related with the machinery are carried out in Cuba for the forage production to feeding the livestock, and for an adequate adaptation to the conditions of the country, since the determination of the technological indicators, energy costs and of exploitation of the machines, constitute fundamental parameters to keep in mind to arrive to the obtaining of an suitable productive process and with more efficiency. In the energy balance, two groups are settled down: 1 - Required energy, associated to the production of the mechanical equipment and the contained in the used materials, as well as 2 - Required energy, associated to the fungible products not recoverable, such as fuels, fertilizers, seeds, herbicides, etc.

Keywords: Livestock production, forage plants, mechanized technology.

*Autor para correspondencia: Roger M. Crespo Amaya, e-mail: informatica@tminas.co.cu

Recibido: 15/02/2019.

Aprobado: 29/07/2019.

INTRODUCCIÓN

La producción ganadera en Cuba, así como la necesidad de resolver la base alimentaria del ganado sin una dependencia total de las importaciones de concentrados, ha adquirido en los últimos años una gran importancia. Debido a ello se han desarrollado investigaciones con el fin de sustituir las importaciones de concentrado buscando nuevas alternativas como el forraje fresco triturado a base de gramíneas como la caña de azúcar, kinggrass, y como sus derivados la sacarina, la solicaña, entre otras, según Valdés *et al.* (2012). Por otro lado además de estos cultivos más recientemente se han incorporado diferentes plantas proteicas como moringa, morera y titonia, las cuales han tenido resultados muy favorables en Cuba, Latinoamérica y el Caribe, según Acosta (2017); Alonso (2017); González (2018).

Los forrajes constituyen una parte importante de la alimentación animal, constituyen la dieta básica y más económica en la alimentación de rumiantes, proporcionan materia orgánica al suelo lo que ayuda a su conservación, protegen los suelos de la erosión y conservan la humedad. Forman este grupo de vegetales plantas herbáceas, anuales o plurianuales, gramíneas o leguminosas, cuyo aprovechamiento ganadero se puede realizar directamente mediante pastoreo, o derivando la producción mediante la práctica agrícola de la siega. Este forraje fresco puede suministrarse al ganado en verde o conservándolo reduciendo su grado de humedad hasta niveles que permiten su conservación en el tiempo y en el espacio.

En Cuba, las plantas forrajeras constituyen la base de la alimentación del ganado vacuno. Además, que constituyen la fuente de nutrientes más barata y la mejor adaptada a los requerimientos fisiológicos de los rumiantes. Entre otros factores, la eficiencia de la producción animal depende de la óptima utilización de los alimentos en las diferentes etapas como: el crecimiento, desarrollo y reproducción. Al citar alimentos, se refiere a todo lo que es ofrecido al animal, puede ser en forma de pastura, heno, ensilaje o concentrados. Por lo que es necesario el desarrollo de tecnologías mecanizadas para el molinado y procesamiento del forraje de los diferentes cultivos para su obtención en la forma más adecuada durante su alimentación. La determinación de los indicadores tecnológicos, costos energéticos y de explotación de dichas máquinas, constituyen parámetros fundamentales a tener en cuenta para llegar a la obtención de un proceso productivo adecuado y de mayor eficiencia (Stout, 2012; Valdés *et al.*, 2015, 2017, 2019).

El molino de martillo es una máquina que puede moler, pulverizar, y aplastar una amplia gama de materiales. Esta trituradora realiza múltiples golpes con los martillos para destruir y desintegrar el material. Se puede utilizar para el molinado de una gran variedad de materiales (FAO/INTA, 1992; Paneque *et al.*, 1998; FAO, 2016; Miranda *et al.*, 2016).

Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo del trabajo fue desarrollar una revisión de algunas de las investigaciones realizadas en el país, y a nivel internacional, tanto a nivel teórico como de campo, sobre el costo energético y de explotación de la producción de forraje fresco, triturado y molinado de los elementos que componen las plantas forrajeras, que constituyen la base de la alimentación del ganado vacuno, así como contribuir

a la necesidad de resolver la base alimentaria del mismo sin una dependencia total de las importaciones de concentrados. Este trabajo forma parte del proyecto de investigación titulado: *Desarrollo de un módulo de máquinas para la producción de alimento animal a partir de diferentes cultivos*, perteneciente al Programa Nacional de Alimento Animal (PNAA).

DESARROLLO DEL TEMA

Análisis de las tecnologías mecanizadas para el molinado y procesamiento del forraje de diferentes cultivos

El ganado no está adaptado físicamente para alimentarse de plantas forrajeras de gran tamaño y menos cuando estas son de tallos gruesos como el king-grass, sorgo, maíz, caña de azúcar y otras similares. Por tal motivo se requiere que estas plantas sean previamente repicadas o desmenuzadas antes de ser suministradas como alimento fresco (Valdés, 2008). La ruptura física de la caña de azúcar (debido a su alto contenido de fibra), facilita una digestión más rápida y contribuye a un mayor aporte de nutrientes al rumiante y a su vez favorece a mayores consumos, por lo que resulta imprescindible el desmenuzado fino con partículas menores a los 15-20 mm para consumo fresco y por debajo de 5 mm para la fabricación de piensos o conglomerados, según MINAG (1998) y Delgado (2006) "publisher": "Ministerio de la Agricultura (MINAG. Es por ello que se han desarrollado máquinas que realizan esta labor con gran eficiencia y productividad, tanto dentro de instalaciones (por ejemplo: vaquerías, cebaderos, etc.), o en pastoreos al aire libre (Martínez *et al.*, 1998; Instituto de Investigación de Mecanización Agropecuaria (IIMA), 2000; Instituto de Investigación de Mecanización Agropecuaria (IIMA), 2002; Valdés, 2008; Valdés *et al.*, 2010; Valdés y Martínez 2012).

Análisis de las investigaciones realizadas sobre la determinación de los indicadores tecnológicos de explotación de la maquinaria agrícola (picadoras y molinos)

La determinación de los indicadores tecnológicos de explotación constituye uno de los primeros aspectos a determinar para llegar a la obtención de los datos experimentales necesarios para lograr un proceso productivo adecuado y de mayor eficiencia.

González (2017), hace referencia a uno de los principales factores que garantizan la eficiente alimentación de los rumiantes, es sin duda el manejo del forraje. El trabajo describe las experiencias obtenidas durante más de 20 años en la hacienda El Danubio, en la producción de forrajes de calidad, el cual es utilizado para la alimentación de un rebaño lechero manejado en un sistema intensivo de producción lechera. También Alejua (2002), realiza un estudio de caso, sobre los Productores Agrícolas asociados a ASOPORTUGUESA del municipio Turén del estado Portuguesa, Venezuela, cuyo objetivo fue analizar la gestión tecnológica, el aprendizaje y participación y lineamientos estratégicos a través del estudio de los cambios tecnológicos, transferencia tecnológica, capacitación y planes de

Revista Ingeniería Agrícola, ISSN-2306-1545, E-ISSN-2227-8761, Vol. 9, No. 4 (octubre-noviembre-diciembre, pp. 56-62), 2019

las unidades de producción de los productores de ese municipio. Alejua (2002), presenta sus experiencias en la elaboración de ensilaje maíz-soya en dos sistemas de producción bovina en Venezuela, en el XI Seminario Manejo y Utilización de Pastos y Forrajes en Sistemas de Producción Animal. La ganadería de leche intensiva en el trópico, depende en alto grado del suministro de alimentos balanceados (concentrados), los cuales dentro de su fórmula incluyen materias primas importadas para su elaboración, lo que hace a este sistema dependiente, poco sostenible y de alto costo. Por otra parte, el incremento en el uso de alimento balanceado, así como el empleo de otros insumos alimenticios de menor calidad nutricional (subproductos agroindustriales y otros), coinciden con la disminución de la oferta forrajera durante al menos 4 y 6 meses del año. La composición química del ensilaje maíz-soya con una proporción 65:35, respectivamente, fue 23,4 % materia seca, 12,7 % proteína cruda, 1,29 Mcal/kg de energía neta de lactación, 58,2 % fibra neutro detergente y 7,1 % de lignina. En las unidades productivas se simuló tres dietas con la finalidad de estimar el potencial que tendría el ensilaje maíz-soya en un sistema de producción bovina doble propósito (Experiencia B), donde se observó que la sustitución parcial del alimento balanceado (1,5 kg) por el ensilaje de maíz-soya, permitió disminuir en 12 % los costos del componente alimentación.

En Cuba varios autores han realizado estudios en esta dirección como (Miranda *et al.*, 2002, 2016; Morejón *et al.*, 2012), que evalúan los indicadores de explotación de las cosechadoras de arroz New Holland L-520, CLAAS DOMINATOR y de los medios de transporte utilizados en el proceso cosecha-transporte del arroz en el Complejo Agroindustrial "Los Palacios" respectivamente. Asimismo Matos *et al.* (2010); (de las Cuevas *et al.*, 2015) y Matos y García (2012), realizan estudios similares pero para las cosechadoras de caña Case -7000, CAMECO y para los camiones en la transportación de la caña respectivamente. Por otro lado Ortiz *et al.* (2011) y Olivet *et al.* (2012), realizan la evaluación tecnológica y de explotación para conjuntos de máquinas en la labor de rotura y surcado para el cultivo del boniato respectivamente, así como Vázquez *et al.* (2012), determina la productividad y el consumo de combustible en conjuntos de labranza para un suelo fluvisol en el cultivo de la yuca. Investigaciones como la de Ortiz *et al.* (2011), cuyo objetivo ha sido fundamentar el empleo del apero más adecuado para la labor de surcado en cultivos de raíces y tubérculos (patata, boniato, yuca) en Fluvisoles, teniendo en cuenta el comportamiento de las dimensiones y forma del caballón, cualidades tecnológicas y de explotación del conjunto tractor-apero, consumo energético del proceso productivo y el rendimiento agrícola. Valdés *et al.* (2016) determinó los indicadores tecnológicos y de explotación de la picadora de forraje MF IIMA modelo EM-01 perfeccionada del tipo estacionaria, de fabricación nacional. Se determinan los indicadores de explotación, contemplando el balance de tiempo (limpio, operativo, productivo, de turno y de explotación), productividad horaria, consumo horario y específico de la energía eléctrica y el coeficiente de servicio tecnológico, de utilización del tiempo productivo y de explotación. Algo similar realiza de las Cuevas

et al. (2015), pero para el tractor BELARUS 510 y la picadora de forraje JF 50 de origen brasileño.

La mecanización del proceso de cosecha de forraje en Cuba, en el momento actual es deficiente, debido a la escasez y deterioro de las máquinas cosechadoras de forrajes, por falta de piezas y renovación. Por ello es muy importante introducir nuevas máquinas para las condiciones de la ganadería cubana, sobre la base del cumplimiento de la calidad de trabajo y una disminución de los costos de explotación y económicos.

Antes de sustituir una tecnología por otra, es necesario realizar un adecuado análisis de los costos. Para (1980); Ibañez y Villar (199); Velasco y Morales (2003); De las Cuevas *et al.* (2008); Valdés *et al.* (2017), destacan que el factor económico es determinante para controlar el éxito de la mecanización, ya que uno de los aspectos importantes a considerar es el costo de producción por concepto de maquinaria agrícola, es imprescindible conocer el costo de operación de los equipos y el costo de las labores agrícolas realizadas por ellos. Estos autores plantean que la determinación exacta de los costos de la maquinaria, para el agricultor, contribuye a la formación de un juicio que permite determinar si la explotación cuenta con los recursos económicos para cubrir dichos gastos. Del mismo modo, hace posible conocer la magnitud de los gastos que se producirán al emplear otras máquinas y sistemas de trabajo, antecedentes que facilitan la elección del grado de mecanización a utilizar.

Análisis de investigaciones realizadas sobre los costos energéticos y de explotación de la maquinaria agrícola

En el caso de Hetz y Barrios (1997), evalúan el costo energético de las principales operaciones agrícolas mecanizadas en Chile y comparan los costos energéticos de los distintos tamaños de equipos comercializados en el país, testando la hipótesis de que el costo energético de una operación es independiente del tamaño del equipo. Por otro lado 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 empresarial (FAO, 1990; Fluck, 2012).

Algunos autores han señalado que el costo por concepto de maquinaria agrícola en Chile, en cuanto a combustible, fluctúa entre 35 y 45% del costo total de producción. Algunos autores como Fluck y Baird (1980), han calculado que un tractor del tipo 75 kW tiene un costo energético aproximado de 1 060 MJ/h del cual el 77% corresponde a combustible.

Por otro lado varias investigaciones han estudiado la eficiencia energética de los distintos sistemas de cultivo, la sostenibilidad en la agricultura, el mantenimiento agrícola al cosechar en suelos intensivamente cultivados, el costo energético por concepto de combustible, que representan un alto porcentaje del costo energético total de la producción en los sistemas de labranza a utilizar en la agricultura empresarial (Meul *et al.*, 2007; Fumagalli *et al.*, 2011; Mohammadhossein *et al.*, 2012).

Ramos *et al.* (2012), en su trabajo determinación del costo energético de la cosecha de forrajes para el ganado vacuno en Cuba, plantea que la producción de pastos y forrajes en las

empresas y entidades pecuarias constituye la base fundamental en la alimentación del ganado vacuno, tanto de producción de leche como de carne. Las cosechadoras de forrajes son el eslabón fundamental para garantizar el forraje fresco o conservado al ganado. Se realizó una investigación con las cosechadoras de forraje Fraga modelo P-150 y la SPKZ-160 con el objetivo de determinar los indicadores energéticos de cada una de ellas de forma comparativa. Según Álvarez *et al.* (2014), una de las dificultades que más influye en el descontrol del consumo energético es la ausencia de normas y normativas de consumo técnicamente fundamentadas y debidamente actualizadas acordes a las condiciones actuales de explotación, lo que incide en la mejor utilización de la maquinaria. Ramos y Lora (2013), en su trabajo evalúan comparativamente el cumplimiento de los parámetros de calidad de trabajo, tecnológico, de explotación y de factibilidad económica, de las cosechadoras de forraje JF modelo FH -1450 y CAPIMENTA modelo 1510 PR para la renovación de la cosechadora actual, la FRAGA modelo P150 en las condiciones de la Empresa Pecuaria Genética “Niña Bonita”, dando como resultado la factibilidad de empleo de la cosechadora de forrajes JF modelo FH -1450 al cumplir con los parámetros de calidad de trabajo, tanto para la producción de forraje verde, durante el consumo directo por el ganado vacuno, así como para la producción de forraje, durante su conservación en forma de ensilaje, al obtener más del 70% de la masa vegetal troceada en partículas menores de 50 mm de longitud, acorde a las exigencias agrotécnicas para la producción de este alimento. Olivet *et al.* (2014), plantea que 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, con el objetivo de garantizar la sostenibilidad de la vida rural.

De las Cuevas *et al.* (2004), presentaron un trabajo como recopilación de las investigaciones que se realizan en el Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA) sobre la labranza conservacionista en la producción agrícola, donde se hizo un estudio, cuyo objetivo fue determinar los gastos energéticos de los sistemas conservacionistas, con el empleo de la labranza reducida (mínima) y cero en la agricultura tropical.

Dentro de las investigaciones más actualizadas en la temática objeto de estudio, se pueden resaltar a De las Cuevas *et al.* (2009, 2011); Valdés *et al.* (2016) y Valdés *et al.* (2019), todas del tipo teórico-práctico, cuyo objetivo principal están orientadas a evaluar los costos energéticos de la maquinaria en general y en particular de máquinas picadoras de forraje de tallos gruesos, de origen cubano y brasileño. Los tractores y máquinas agrícolas tienen un alto costo de adquisición y operación en términos monetarios (\$/h, \$/ha) y energéticos (MJ/h, MJ/ha).

Por otro lado varias investigaciones han estudiado la eficiencia energética de los distintos sistemas de cultivo, la sostenibilidad en la agricultura, el mantenimiento agrícola al cosechar en suelos intensivamente cultivados, el costo energético por concepto de combustible, que representan un alto porcentaje del costo energético total de la producción en los sistemas de labranza a utilizar en la agricultura empresarial (Rawson y Gómez, 2001; Paneque y Prado, 2005).

La evaluación energética es un proceso de análisis que consiste en la identificación y medida de las cantidades de energía secuestrada, asociada a los productos y equipos que intervienen en la producción de un determinado bien. Pimentel *et al.* (1973), describen una serie de procedimientos de análisis, como son: estadístico, energía requerida y aportada (Input-Output) y procesos, el primero consiste en determinar la energía requerida por unidad de un bien, o servicio producido a partir de datos estadísticos. Por ejemplo, la energía total requerida o consumida por un país durante el período de un año, y su Producto Interno Bruto. Esta relación se utiliza como factor de conversión. En el caso de la energía requerida y aportada, se determinan las cantidades de energía de los componentes que intervienen en la fabricación de un determinado producto. Los procesos estudian las energías asociadas a estos que se requieren para conseguir un producto final. Cada uno de ellos presenta una serie de exigencias, siendo la energía total la suma de los parciales de cada proceso. Un aspecto a destacar en todo análisis o balance energético, es la heterogeneidad de las diferentes formas y fuentes de energía (Fluck, 2012). Para llevar a cabo dichos análisis con cierto rigor, no sólo se ha de contar con su equivalencia en unidades de medidas correspondientes, kJ, o MJ, sino también con otros factores, tales como; costos, entropía, utilización, calidad, concentración, etc.. En el balance energético las partidas energéticas pueden ser divididas en dos grandes grupos:

- Energía requerida, asociada a la fabricación de los equipos mecánicos y la contenida en los materiales utilizados;
- Energía requerida, asociada a los productos fungibles no recuperables, tales como combustibles, fertilizantes, semillas, herbicidas, etc.

Referentes a los equipos mecánicos Doering (1980), propone métodos de cálculo basados en los datos recogidos en distintas fábricas de maquinarias agrícolas en los Estados Unidos. Establece tres conceptos: energía de los materiales, energía de fabricación y energía en mantenimiento y reparaciones. Por otro lado, la metodología para la determinación de los costos energéticos de ejecución de la operación propuesta por Bridges & Smith (1979), presentada por Hetz y Barrios (1997) y apoyada por los antecedentes presentados por (Fluck, 1992; ASAE, 1993; Stout, 2012), se considera la más completa por tener en cuenta la totalidad de los componentes necesarios en un proceso tecnológico agrícola donde intervienen las máquinas agrícolas. Esta metodología determina los costos energéticos totales de la operación agrícola mecanizada (MJ/h), adicionando la energía requerida en los materiales de construcción incluyendo la fabricación y transporte, combustible, lubricantes/filtros, reparaciones/mantenimientos y la mano de obra necesaria para operar los equipos.

CONCLUSIONES

- El ganado no está adaptado físicamente para alimentarse de plantas forrajeras de gran tamaño y menos cuando estas son de tallo grueso como king-grass, sorgo, maíz, caña de azúcar, moringa, morera, tithonia y otras similares. Por tal motivo se requiere que estas plantas sean previamente repicadas

- Revista Ingeniería Agrícola, ISSN-2306-1545, E-ISSN-2227-8761, Vol. 9, No. 4 (octubre-noviembre-diciembre, pp. 56-62), 2019 antes de ser suministradas como alimento fresco, por lo que es necesario el desarrollo de tecnologías mecanizadas para el desmenuzado, molinado y procesamiento del forraje de los diferentes cultivos, con vista a la creación de una base alimentaria para el ganado propia en el país, lo que permite la sustitución de importaciones de concentrados.
- Se aprecian pocas investigaciones relacionadas con las tecnologías o maquinaria empleada para la producción de forraje en la alimentación del ganado en Cuba, para su adecuada adaptación a las condiciones del país, dado que la determinación de los indicadores tecnológicos, costos energéticos y de explotación de las máquinas, constituyen parámetros fundamentales a tener en cuenta para llegar a la obtención de un proceso productivo adecuado y de mayor eficiencia.
 - En el balance energético, se establecen dos grupos: Energía requerida, asociada a la fabricación de los equipos mecánicos y la contenida en los materiales utilizados, así como la Energía requerida, asociada a los productos fungibles no recuperables, tales como combustibles, fertilizantes, semillas, herbicidas, etc.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA, G.O.: “Siembran más plantas proteicas para alimentar el ganado”, *Agencia Cubana de Noticias (ACN)*, La Habana, Cuba, 2017, Disponible en: <http://www.acn.cu/economia/26743-siembran-mas-plantas-proteicas-para-alimentar-el-ganado>, [Consulta: 29 de junio de 2018].
- ALEJUA, H.: “Caracterización y análisis del proceso gerencial aplicado por los productores de maíz del municipio Turén, Estado Portuguesa, Venezuela.”, *Agroalimentaria*, 7(14): 15-25, 2002, ISSN: 1316-0354.
- ALONSO, I.: *Presentan en Cuba texto sobre uso de plantas proteicas en Latinoamérica y el Caribe*, [en línea], Inst. Sistema de Naciones Unidas en Cuba, FAO/Cuba/ONU, La Habana, Cuba, 2017, Disponible en: <http://onu.org.cu/news/e3030b5c368811e7a36800163e211c9e/presentan-en-cuba-texto-sobre-uso-de-plantas-proteicas-en-latinoamerica-y-el-caribe/>, [Consulta: 29 de junio de 2018].
- ÁLVAREZ, C.A.; RODRÍGUEZ, P.R.; SIMEÓN, M.R.E.; GASKINS, E.B.G.: “Parque de tractores agrícolas en México: estimación y proyección de la demanda”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(3): 69-76, 2014, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- ASAE: *Agricultural Engineers Yearbook*, Ed. ASAE, EP391 and D230.3. ed., vol. Agricultural Engineers Yearbook, St. Joseph, USA, 1993.
- BRIDGES, T.C.; SMITH, E.M.: “A method for determining the total energy input for agricultural practices”, *Transactions of the ASAE*, 22(4): 781-0784, 1979, ISSN: 2151-0032, e-ISSN: 2151-0040.
- DE LAS CUEVAS, M.H.R. de las; RODRÍGUEZ, H.T.; PANEQUE, R.P.; HERRERA, P.M.I.: “La labranza consevacionista y sus gastos energéticos”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 13(2): 37-42, 2004, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- DE LAS CUEVAS, M.H.R.; RODRÍGUEZ, H.T.; HERRERA, P.M.I.; PANEQUE, R.P.: “Software para la evaluación tecnológica de las máquinas agrícolas”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 17(2): 24-28, 2008, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- DE LAS CUEVAS, M.H.R.; RODRÍGUEZ, H.T.; PANEQUE, R.P.; DÍAZ, Á.M.: “Costo energético del rodillo de cuchillas CEMA 1400 para cobertura vegetal”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(3): 53-56, septiembre de 2011, ISSN: 2071-0054.
- DE LAS CUEVAS, M.H.R.; RODRÍGUEZ, H.T.; PANEQUE, R.P.; HERRERA, P.M.I.: “Software para la determinación de los costos energéticos y de explotación de las máquinas agrícolas”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(2): 78-84, 2009, ISSN: 1010-2760.
- DE LAS CUEVAS, M.H.R.; VALDÉS, H.P.A.; RODRÍGUEZ, D.; SUÁREZ, R.; DELGADO, R.; QUINTANA, J.L.: “Índices de explotación del tractor BELARUS 510 y la picadora de forraje JF 50”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 5(2): 44-48, 2015, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: 2227-8761.
- DELGADO, D.C.: *Fisiología digestiva del rumiante. Memorias del curso Estrategias de alimentación para el ganado bovino en el trópico*, Inst. Instituto de Ciencia Animal (ICA), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, 17-28 p., 2006.
- DOERING, O.: *Accounting for energy in farm machinery and buildings*, Ed. CRC Press, vol. In: Handbook of energy utilization in agriculture, USA, 9-14 p., 1980.
- FAO: “Energy consumption and input output relation in field operation”, *CNRE study*, (3), 1990a.
- FAO: *Energy consumption and input output relation in field operation*, [en línea], ser. CNRE study, Inst. FAO, Rome, Italy, 1990b, Disponible en: *Fao, Food and Agriculture Organization of the United Nations*, [Consulta: 9 de junio de 2018].
- FAO: *Ahorrar para crecer en la práctica – maíz, arroz, trigo. Guía para la producción sostenible de cereales*, Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Rome, Italy, 110 p., 2016, ISBN: 978-92-5-308519-4.
- FAO/INTA: “Manual de sistemas de labranza para América Latina”, *Boletín de Suelos de la FAO*, (66), 1992.
- FLUCK, C.R.: “Energy for farm production”, En: *Energy for World Agriculture*, Ed. Elsevier, USA, 1992, ISBN: 978-0-444-88681-1.
- FLUCK, C.R.: “Energy in farm production”, En: *Energy for World Agriculture*, Ed. Elsevier, USA, 2012, ISBN: 0-444-59781-6.
- FLUCK, R.; BAIRD, D.: *Agricultural energetic*, Inst. Avi Pub. Co, Westport, CT, USA, 1980.
- FUMAGALLI, M.; ACUTIS, M.; MAZZETTO, F.; VIDOTTO, F.; SALI, G.; BECHINI, L.: “An analysis of agricultural sustainability of cropping systems in arable and dairy farms in an intensively cultivated plain”, *European Journal of Agronomy*, 34(2): 71-82, febrero de 2011, ISSN: 1161-0301, DOI: 10.1016/j.eja.2010.11.001.

- GONZÁLEZ, I.: “Plantas proteicas renuevan la alimentación animal en Cuba”, *Inter Press Service (IPS). Agencia de Noticias*, La Habana, Cuba, 2018, Disponible en: <http://www.ipsnoticias.net/2017/10/plantas-proteicas-renuevan-la-alimentacion-animal-cuba/>, [Consulta: 29 de junio de 2018].
- GONZÁLEZ, R.R.: “Determinación de parámetros de explotación y económicos en el corte de forraje con diferentes máquinas cosechadoras”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 3(2): 31-38, 2017, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- HETZ, E.J.; BARRIOS, A.I.: “Costo energético de las operaciones agrícolas mecanizadas más comunes en Chile”, *Agro sur*, 25(2): 146–161, 1997.
- IBAÑEZ, C.M.; VILLAR, G.S.: *Justificación económica del uso de la maquinaria agrícola*, Inst. Universidad de Concepción, Chillan, Chile, 27-43 p., 1994.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE MECANIZACIÓN AGROPECUARIA (IIMA): *Informe de prueba. Molino Forrajero MF IIMA modelo EM-01*, Inst. Ministerio de la Agricultura, Instituto de Investigación de Mecanización Agropecuaria (IIMA), La Habana, Cuba, 2000.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE MECANIZACIÓN AGROPECUARIA (IIMA): *Informe de prueba. Molino Forrajero MF IIMA modelo EM-01, IIMA*, Inst. Ministerio de la Agricultura, Instituto de Investigación de Mecanización Agropecuaria (IIMA), La Habana, Cuba, 2002.
- MATOS, R.N.; GARCÍA, C.E.: “Evaluación técnica y de explotación de los camiones en la transportación de la caña”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(2): 30–33, 2012, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- MATOS, R.N.; GARCÍA, C.E.; GONZÁLEZ, G.J.R.: “Evaluación técnica y de explotación de las cosechadoras de caña Case-7 000”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(4): 06–09, 2010, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- MEUL, M.; NEVENS, F.; REHEUL, D.; HOFMAN, G.: “Energy use efficiency of specialised dairy, arable and pig farms in Flanders”, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 119(1-2): 135-144, febrero de 2007, ISSN: 0167-8809, DOI: 10.1016/j.agee.2006.07.002.
- MINAG: *Dictamen sobre los molinos desmenuzadores a utilizar en el procesamiento de la caña de azúcar como alimento para la ganadería vacuna*, Inst. Ministerio de la Agricultura (MINAG), Dirección Nacional de Ganadería. Grupo Nacional de Ingeniería en la Ganadería, La Habana, Cuba, 1998.
- MIRANDA, C.A.; CORONEL, I.C.; ANILLO, J.; FALCÓN, L.; FIGUEROA, R.R.; RIVERO, R.M.; HERNÁNDEZ, R.M.; BECERA, C.A.: “Evaluación tecnológica y explotación de las cosechadoras de arroz New Holland L-520”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 11(4): 13–15, 2002, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.
- MIRANDA, C.A.; PANEQUE, R.P.; ABRAM, F.N.; RIBET, M.Y.; SANTOS, G.F.: “Determinación del costo energético de la cosecha mecanizada del arroz”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25(4): 32-38, 2016, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.
- MOHAMMADHOSSEIN, R.; AMIN, W.; HOSHANG, R.: “Energy Efficiency of Different Tillage Systems in Forage Corn Production”, *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4(22): 1644-1652, 2012, ISSN: 2227-670X.
- MOREJÓN, M.Y.; IGLESIAS, C.C.E.; LLANES, D.E.: *Conformación de la brigada cosecha-transporte del arroz con la aplicación de la Teoría del Servicio Masivo, en el CAI Arroceros “Los Palacios”*, Ed. Anuario de la Ciencia, Universidad Agraria de La Habana, vol. Monografía, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba, 2012, ISBN: 978-959-16-1372-1.
- OLIVET, R.Y.; ORTIZ, A.; COBAS, D.; BLANCO, A.; HERRERA, E.: “Evaluación de la labor de rotura con dos aperos de labranza para el cultivo del boniato (Ipomoea patatas Lam) en un Fluvisol”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(4): 24-29, 2012, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- OLIVET, R.Y.E.; SÁNCHEZ-GIRÓN, R.V.; PARRA, S.L.R.: “Balance energético de tres tecnologías de labranza en un Vertisol para el cultivo del tabaco (Nicotiana tabacum L.)”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 4(2): 35-41, 2014, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- ORTIZ, A.E.R.; GASKINS, B.; PARRA, R.L.; VÁZQUEZ, B.H.: “Evaluación de la calidad del trabajo de aperos de labranza en la labor de surcado para el cultivo del boniato (Ipomoea batatas (Lam) Poir)”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(1): 16-19, 2011, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- PANEQUE, P.; MARRERO, E.; DE LAS CUEVAS, H.: “Determinación de la fuente energética para las labores mecanizadas de los cítricos”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 7(3): 25–32, 1998.
- PANEQUE, R.P.; PRADO, P.Y.: “Comparación de tres sistemas agrícolas en el cultivo del frijol”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 14(3): 42–49, 2005, ISSN: 1010-2760.
- PARA, G.J.L.: *Investigación de segadoras con aparatos de cortes rotativos en las condiciones de Cuba*, Instituto moscovita de Ingenieros para la producción agrícola V. P. Goriachkin, PhD. Thesis, Moscú, Rusia, 1980.
- PIMENTEL, D.; HURD, L.; BELLOTTI, A.; FORSTER, M.; OKA, I.; SHOLES, O.; WHITMAN, R.: “Food production and the energy crisis”, *Science*, 182(4111): 443-449, 1973, ISSN: 0036-8075.
- RAMOS, G.R.; CRUZ, M.; NAVARRO, I.: “Determinación del costo energético de la cosecha de forrajes para el ganado vacuno en Cuba”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(1): 73-78, 2012, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- RAMOS, G.R.; LORA, C.D.: “Determinación de parámetros de explotación y económicos en el corte de forraje con diferentes máquinas

- Revista Ingeniería Agrícola, ISSN-2306-1545, E-ISSN-2227-8761, Vol. 9, No. 4 (octubre-noviembre-diciembre, pp. 56-62), 2019 cosechadoras”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 3(2): 31-38, 2013, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- RAWSON, H.M.; GÓMEZ, M.H.: “Notas sobre dos sistemas de labranza”, [en línea], En: *Trigo regado*, Ed. FAO, Roma, Italia, 2001, ISBN: 92-5-304488-8, Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/006/x8234s/x8234s0c.htm>, [Consulta: 22 de septiembre de 2016].
- STOUT, B.A.: *Handbook of energy for world agriculture*, Ed. Elsevier, 2012.
- SUÁREZ, J.; RÍOS, A.; LINARES, E.: “Unidades integrales de servicios técnicos de maquinaria agrícola los suelos arcillosos pesados”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(2): 15-19, 2011, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- VALDÉS, H.P.: *Modelación físico-matemática del proceso tecnológico del órgano de corte de tambor en las picadoras de forraje con alimentación manual*, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), PhD. Thesis, San José de las Lajas. Habana, Cuba, 186 p., 2008.
- VALDÉS, H.P.A.; CHUAIREY, C.M.; GÓMEZ, A.M.V.; DE LAS CUEVAS, M.H.R.; VÁZQUEZ, Q.J.L.; FERNÁNDEZ, G.T.: “Costos energéticos del tractor Belarus 510 y picadora de forraje JF-50”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 28(3), 2019.
- VALDÉS, H.P.A.; DE LAS CUEVAS, M.H.; RODRÍGUEZ, A.D.; GÓMEZ, A.M.V.; DELGADO, R.R.: “Análisis comparativo de los costos de explotación de dos máquinas picadoras de forraje”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 26(2): 4-11, 2017, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- VALDÉS, H.P.A.; DE LAS CUEVAS, M.H.R.; RODRÍGUEZ, A.D.; SUÁREZ, L.R.; GÓMEZ, A.M.; DELGADO, R.R.: “Determinación de los indicadores tecnológicos y de explotación de la máquina picadora de forraje MF IIMA modelo EM-01 modificada”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(3): 28-34, 2015, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- VALDÉS, H.P.A.; DE LAS CUEVAS MILÁN, M.H.; GÓMEZ, A.M.V.; RODRÍGUEZ, A.D.; VÁZQUEZ, Q.J.L.; SUÁREZ, L.R.: “Determinación del costo energético de la picadora de forraje MF IIMA modelo EM-01 perfeccionada”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25(2): 17-21, 2016a, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.
- VALDÉS, H.P.A.; DE LAS CUEVAS MILÁN, M.H.; GÓMEZ, A.M.V.; RODRÍGUEZ, A.D.; VÁZQUEZ, Q.J.L.; SUÁREZ, L.R.: “Determinación del costo energético de la picadora de forraje MF IIMA modelo EM-01 perfeccionada”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25(2): 17-21, 2016b, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.
- VALDÉS, H.P.A.; MARTÍNEZ, R.A.; PÉREZ, P.J.: “Análisis de la caña de azúcar como alimento para el ganado”, *Revista Pre-Til de la Universidad Piloto de Colombia*, 10(26): 59-74, 2012.
- VALDÉS, H.P.A.; MARTÍNEZ, R.A.; VALENCIA, O.Y.; BRITO, D.E.: “Influencia del momento de inercia del tambor y de diferentes ángulos de alimentación constantes sobre el calibre de las partículas de forraje procesado con picadores del tipo de tambor con alimentación manual. Parte I”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(3): 53-56, 2010, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- VÁZQUEZ, M.H.; PARRA, R.L.; SÁNCHEZ-GIRÓN, V.M.; ORTIZ, A.: “Análisis de la productividad y el consumo de combustible en conjuntos de labranza en un fluvisol para el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta*, Crantz)”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(2): 38-41, 2012, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- VELASCO, R.; MORALES, G.: “Maquinaria agrícola, Costos de operación según intensidad de uso, Primera y Segunda partes”, *Revista Agroeconómico*, 2003, Disponible en: <http://www.Agroeconómico.cl/articulos.detalle.php?>, [Consulta: 13 de noviembre de 2018].

Roger M. Crespo Amaya, maestrante de la Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: informatica@tminas.co.cu

Pedro Antonio Valdés Hernández, Profesor e Investigador Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: pvaldes@unah.edu.cu

Pedro Paneque Rondón, Profesor e Investigador Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: paneque@unah.edu.cu

Alexander Miranda-Caballero, Investigador Titular, Director del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: alex@inca.edu.cu

María Victoria Gómez-Águila, Profesora Titular, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Edo. México, México, e-mail: mvaguila@hotmail.com

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra sujeto a la Licencia de Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.