

Reducción del costo energético de la agricultura mecanizada de maíz utilizando labranza de conservación

Reducing the Energy Cost of Mechanized Maize Agriculture Using Conservation Tillage

 Pedro Paneque^{1*},  María Victoria Gómez Águila²,  Héctor Rafael de las Cuevas Milán¹,
 Idaris Gómez Ravelo³ y  Calixto Domínguez Vento⁴

¹Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas,
Centro de Mecanización Agropecuaria, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. E-mail: cuevasm@nauta.cu,

²Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola,
Texcoco, México. E-mail: mvaguila@hotmail.com, mgomez@chapingo.mx

³Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Facultad de Cultura Física,
Dpto. de Didáctica de la Educación Física, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. E-mail: idariss@nauta.cu

⁴Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Reparto Abel Santamaria,
Boyeros, La Habana, Cuba. E-mail: calixtodominguez1986@gmail.com

*Autor para correspondencia: Pedro Paneque. E-mail: paneque@unah.edu.cu

RESUMEN: La mecanización agrícola en Cuba enfrenta altos costos energéticos debido al uso intensivo de combustibles fósiles y maquinaria pesada. Este estudio evaluó el consumo energético de las principales operaciones mecanizadas en el cultivo de maíz bajo dos sistemas de labranza: convencional y conservacionista (labranza cero). Los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0,0001$) en el consumo de combustible y energía entre ambos sistemas. La labranza cero redujo el costo energético en un 56,24% respecto al sistema convencional, equivalente a un ahorro de hasta 25,45 L de diésel por hectárea. Estos hallazgos confirman la viabilidad técnica y económica de la labranza de conservación como estrategia para disminuir la dependencia energética y mitigar impactos ambientales en la agricultura tropical.

Palabras clave: agricultura sostenible, eficiencia energética, impacto ambiental.

ABSTRACT: Agricultural mechanization in Cuba faces high energy costs due to intensive use of fossil fuels and heavy machinery. This study assessed the energy consumption of key mechanized operations in maize cultivation under two tillage systems: conventional and conservation (no-tillage). Results revealed significant differences ($p < 0.0001$) in fuel and energy use between systems. No-tillage reduced energy costs by 56.24% compared to conventional tillage, saving up to 25.45 L of diesel per hectare. These findings highlight the technical and economic feasibility of conservation tillage as a strategy to reduce energy dependence and mitigate environmental impacts in tropical agriculture.

Keywords: energy efficiency, environmental impact, sustainable agriculture.

INTRODUCCIÓN

La agricultura tropical constituye un pilar esencial para la seguridad alimentaria y el desarrollo económico. Sin embargo, la mecanización intensiva ha generado altos costos energéticos y efectos negativos sobre el suelo y el medio ambiente. En Cuba, donde se importa el 100% del combustible, la reducción del consumo energético en la agricultura mecanizada es una prioridad estratégica. La

labranza de conservación, especialmente la labranza cero, se ha consolidado internacionalmente como una alternativa sostenible que disminuye la erosión, mejora la cobertura del suelo y reduce el costo energético (Liang et al., 2025). El objetivo fundamental será el estudio del costo energético de las principales operaciones agrícolas mecanizadas en dos sistemas de labranza y siembra para maíz bajo sistemas convencional y de conservación, cuantificando el ahorro potencial y su impacto en la sostenibilidad agrícola cubana.

Recibido: 13/01/2026

Aceptado: 28/05/2026

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

Contribución de los autores: Conceptualización, Metodología: Pedro Paneque. Curación de datos, Redacción - borrador original: Pedro Paneque, María Victoria Gómez, Héctor Rafael de las Cuevas Milán. Análisis formal: Pedro Paneque, María Victoria Gómez, Héctor Rafael de las Cuevas Milán, Calixto Domínguez Vento. Investigación: Pedro Paneque, Héctor Rafael de las Cuevas Milán, Idaris Gómez Ravelo, Calixto Domínguez Vento. Supervisión, Validación: Pedro Paneque, María Victoria Gómez, Héctor Rafael de las Cuevas Milán, Idaris Gómez Ravelo, Calixto Domínguez Vento. Redacción - revisión y edición: Pedro Paneque, Calixto Domínguez Vento, María Victoria Gómez, Héctor de las Cuevas Milán.

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.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación teórica se desarrolló entre marzo y junio del 2025 en el Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA), Facultad de Ciencias Técnicas perteneciente a la Universidad Agraria de La Habana (UNAH), el cual se encuentra ubicado en el municipio San José de Las Lajas, provincia Mayabeque, Cuba, el suelo existente en el mismo, se clasifica como Ferralítico Rojo Típico según [Hernández et al. \(2015\)](#) en toda su extensión. Tiene un relieve llano, altura sobre el nivel del mar de 120 m e insolación anual de 1825 kWh/m². Las variables meteorológicas registradas durante el periodo 2015-2025 en la Estación Meteorológica Tapaste, mostraron que las temperaturas máximas alcanzadas en la región superaron los 26 °C entre los meses de junio a septiembre y las más frías descendieron como promedio hasta 20,76 °C en enero. Las precipitaciones manifestaron incrementos a partir de mayo, e indicaron los valores medios más elevados en junio y agosto con 255,50 y 245,16 mm, respectivamente. La humedad relativa varió entre 72,8% (mínimo, en marzo) y 84,6% (máximo, en diciembre), mientras que la velocidad del viento expresó su tope máximo de 5,46 km/h durante el mes de febrero.

Caracterización de las máquinas

Fue utilizada como fuente energética un tractor con potencia máxima de 48 kW en el motor a 2000 min⁻¹ y masa de 2500 kg.

Los implementos y máquinas utilizados fueron los siguientes:

- Arado con tres discos de borde liso de 28" x 3/16" y 540 kg de masa.
- Grada de discos, 690 kg de masa, 18 discos de bordes en el frente y 18 de bordes lisos en la parte trasera
- Pulverizador de barra, de 400 L de capacidad y 400 kg de masa, sin agua ni productos.
- Sembradora convencional, de 3 líneas para granos con masa de 780 kg.
- Sembradora de siembra directa, de 3 líneas con masa de 870 kg.

Sistema automatizado utilizado

Para la determinación de los costos energéticos se utilizó el programa Costos Energéticos y de Explotación (CEE) el cual es un sistema automatizado desarrollado por [De las Cuevas Milán et al. \(2009\)](#), investigadores del CEMA. El mismo permite el análisis de los datos primarios (ver [anexo](#)), así como la determinación de los costos energéticos de la máquina objeto de estudio.

Se utilizó la metodología para establecer los costos energéticos de ejecución de la operación presentada por [Hetz & Barrios \(1997\)](#) y apoyada por los antecedentes presentados por [ASAE \(2006\)](#); [Fluck \(1981\)](#) y [Stout, \(2012\)](#). Esta metodología determina los costos energéticos totales de la operación agrícola mecanizada (MJ/h), adicionando la energía secuestrada en los

materiales de construcción incluyendo la fabricación, transporte, combustible, lubricantes/filtros, reparaciones / mantenimiento, y la mano de obra necesaria para operar los equipos.

Los costos energéticos totales de la operación agrícola mecanizada se calculan según la [ecuación \(1\)](#):

$$EST = ESm + ESc + ES1 + ESmr + ESmo + ES_p \quad (1)$$

donde:

EST- costos energéticos totales de la operación agrícola mecanizada, MJ/h;

ESm- energía secuestrada en los materiales, fabricación, y transporte, MJ/h;

ESc- energía secuestrada en combustible, MJ/h;

ES1- energía secuestrada en lubricantes/filtros, MJ/h;

ESmr- energía secuestrada en reparaciones/mantenimiento, MJ/h;

ESmo- energía secuestrada en mano de obra, MJ/h;

ES_p- energía secuestrada en producto utilizado (semillas, fertilizantes, etc), MJ/h.

La energía secuestrada en los materiales, fabricación, y transporte (ESm) se calculó usando la [ecuación \(2\)](#):

$$ESm = \frac{Gt \times EUt}{VUt} + \frac{Gm \times EUm}{VUm} \quad (2)$$

donde:

Gt, Gm- masa del tractor y la máquina agrícola respectivamente, kg;

EUt, EUm- energía por unidad de masa del tractor y la máquina agrícola respectivamente, MJ/kg;

VUt, VUm- vida útil del tractor y la máquina agrícola respectivamente, h.

Los valores para G en la [ecuación \(2\)](#) fueron obtenidos de la literatura que entregan los fabricantes, los valores de EU se obtuvieron de [Fluck, \(1981, 1985 y 2012\)](#); [Stout, \(2012\)](#) así como de [Hetz & Barrios \(1997\)](#), presentados resumidos en la [Tabla 1](#), y los valores de VU se obtuvieron de [Paneque et al. \(2018\)](#) y [Paneque \(2003\)](#).

Tabla 1. Equivalencias energéticas de los insumos

Insumos	Equivalencias MJ/unid.	Fuente
Jornada hombre (8h)	18,2	Fluck, (2012)
1 L petróleo	47,8	Fluck, (2012)
1 L de Glifosato	452,0	Fluck, (2012)
1 kg de: *		
Tractor	109,0	Fluck, (2012)
Arado	66,8	Fluck, (2012)
Grada	64,0	Fluck, (2012)
Sembradora	70,9	Fluck, (2012)

La energía correspondiente al combustible utilizado (ESc) se calculó con el estándar propuesto por [ASAE \(2006\)](#), apoyados por [Hetz & Barrios \(1997\)](#) y [Paneque \(2003\)](#), según la [ecuación \(3\)](#):

$$ESc = g_e \times N_{CMT} \times c_M \times E_e \quad (3)$$

donde:

G_c - consumo específico de combustible, L/kW·h;

C_M - nivel de carga del motor;

E_c - energía específica del combustible, MJ/L (Tabla 1).

La energía correspondiente a lubricantes/filtros (ESl) y reparaciones/mantenimiento (ESmr) se calculó según lo propuesto por Fluck (1985) y calculados por Hetz & Barrios (1997) como 5% de la energía del combustible y 129% la energía correspondiente a materiales/fabricación, respectivamente. El gasto energético de la mano de obra (ESmo) se estableció según lo propuesto por Fluck, (2012), según Tabla 1.

Estos costos energéticos expresados en MJ/h fueron transformados a MJ/ha utilizando la productividad de los conjuntos máquina-tractor, utilizando la ecuación (4):

$$ESha = \frac{EST}{W} \quad (4)$$

donde:

ESha- costos energéticos totales de la operación agrícola mecanizada por unidad de área trabajada, MJ/ha o MJ/t m;

W- productividad del conjunto máquina-tractor, ha/h o t km/h.

Para conjuntos agrícolas:

$$W = 3,36 \times v \times B \times Ko4 \quad (5)$$

donde:

W- productividad del conjunto agrícola, ha/h;

Ko4- coeficiente de utilización del tiempo del conjunto agrícola.

Los valores de Ko4 en la ecuación (5) fueron obtenidos de Paneque et al. (2018) y Paneque (2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se presentan los costos energéticos de los dos sistemas de labranza y siembra para maíz analizados.

Tabla 2. Costo energético (MJ/ha) de dos sistemas de labranza y siembra para maíz

Operaciones	LC	L0
Aradura con discos	3033,50	-
Gradaje con discos	1141,36	-
Pulverización con herbicida de ingrediente activo (i.a.) Glifosato, con una aplicación de 1,5 L·ha ⁻¹	-	1444,13
Siembra	681,80	681,10
Total	4856,66	2125,23
Porcentaje del total	100	43,76

Leyenda: LC-Labranza Convencional; L0- Labranza Cero

En los análisis de varianza del comportamiento del costo energético, principal objetivo de este trabajo, de acuerdo con la prueba F, se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos de los dos sistemas de labranza y siembra para maíz en estudio ($P < 0,0001$). El coeficiente de variación fue 0,15%, indicando una óptima precisión. Las comparaciones entre las medias se muestran en el gráfico de la Figura 1.

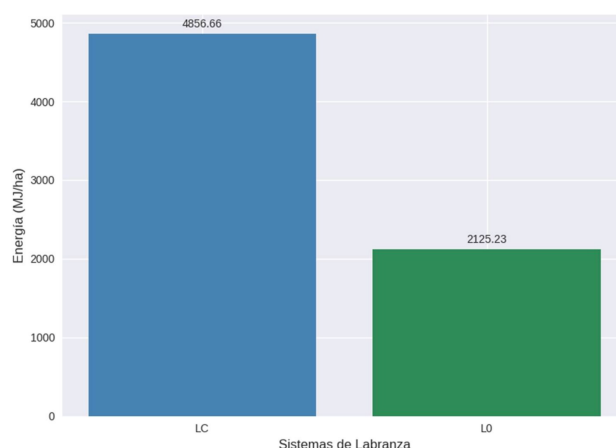


Figura 1. Comparación del costo energético total entre sistemas de labranza.

De acuerdo con la prueba de Tukey, al nivel de 5% de probabilidad se aprecia que los costos energéticos de los sistemas difieren estadísticamente entre sí.

Es posible ver en la misma que los costos medios llegan a 4856,66; y 2125,23 MJ·há⁻¹ para la labranza convencional, y labranza cero respectivamente, equivalentes a 25,45 y 12,10 L de combustible diésel.

El sistema que menos combustible consumió fue el de Labranza Cero, con un valor medio de 8,88 L·h⁻¹, mientras el Sistema que más combustible consumió fue de Labranza Convencional con el valor medio mayor de 20,67 L·h⁻¹. El coeficiente de variación fue 10,46%, indicando una buena precisión. Las comparaciones entre las medias se muestran en el gráfico de la Figura 2.

Los resultados muestran diferencias significativas en el consumo de combustible y el costo energético entre los dos sistemas de labranza.

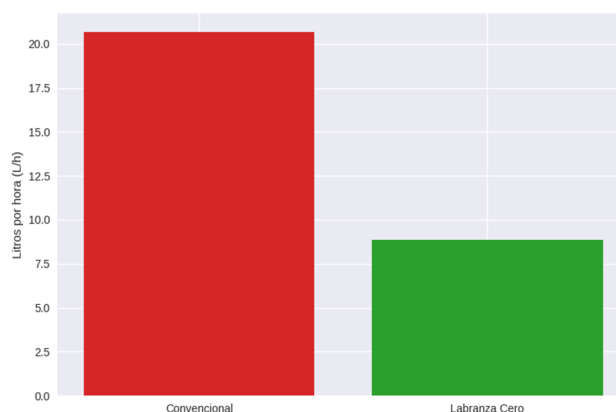


Figura 2. Comparación del consumo de combustible entre sistemas de labranza.

Los resultados confirman que la labranza cero reduce significativamente el consumo energético y el uso de combustible, en línea con estudios recientes (Fernández-Ortega et al., 2025; Rusinamhodzi et al., 2025).

La reducción del 56,24% en el costo energético representa un impacto directo en la economía agrícola cubana, al disminuir la dependencia de combustibles importados. Además, la conservación de residuos sobre el suelo mejora la cobertura y disminuye la erosión, aportando beneficios ambientales adicionales.

CONCLUSIONES

- La significativa reducción del 56,24% en el costo energético y el ahorro de hasta 25,45 L de diésel por hectárea demuestran la superioridad económica de la labranza cero frente al sistema convencional.
- La labranza de conservación constituye una alternativa viable para Cuba, al disminuir costos y mitigar impactos ambientales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASAE, E. (2006). Agricultural machinery management. *ASAE Standard*, 384-390.
- De las Cuevas, M. H. R., Hernández, T. R., Paneque, R. P., & Herrera, P. M. I. (2009). Software para la determinación de los costos energéticos y de explotación de las máquinas agrícolas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(2), 78-84.
- Fernández-Ortega, J., Álvaro-Fuentes, J., Delgado, A., García-López, A. M., & Cantero-Martínez, C. (2025). Assessing management strategies for carbon storage in Mediterranean soils: Double-cropping, no-tillage, and nitrogen fertilization reduction. *Soil and Tillage Research*, 249, 106496.
- Fluck, R. C. (1981). Net energy sequestered in agricultural labor. *Transactions of the ASAE*, 24(6), 1449-1455.
- Fluck, R. C. (1985). Energy sequestered in repairs and maintenance of agricultural machinery. *Transactions of the ASAE*, 28(3), 738-0744.
- Fluck, R. C. (2012). *Energy in farm production*. Elsevier.
- Hernández, J. A., Pérez, J., Bosch, I., & Castro, S. (2015). *Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba* (Primera edición). Ediciones INCA, Mayabeque, Cuba.
- Hetz, E., & Barrios, A. (1997). Reducción del costo energético de labranza/siembra utilizando sistemas conservacionistas en Chile. *Agro-Ciencia*, 13(1), 41-47.
- Liang, X., Rehman, S. U., Zhiqi, W., Raza, M. A., Haider, I., Khalid, M. H. B., Saeed, A., Iqbal, Z., Fatima, S., & Siddiqua, A. (2025). Impacts of conservation tillage on agricultural land development: A review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 25(1), 428-449.
- Paneque, R. P., López, C. G., Mayans, C. P., Muñoz, G. F., Gaytán, R. J. G., & Romantchik, K. E. (2018). *Fundamentos Teóricos y Análisis de Máquinas Agrícolas*. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Edo. México, México. 456, ISBN: 978-607-12-0532-2.
- Paneque, R. P. (2003). Sistema agropecuario integrado usando labranza cero. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 12(1), 1-5.
- Rusinamhodzi, L., Berre, D., Thierfelder, C., Ridaura, S.-L., & Corbeels, M. (2025). Modelling the climate change adaptation potential of no-tillage maize systems in southern Africa. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 30(5), 36.
- Stout, B. A. (2012). *Handbook of energy for world agriculture*. Elsevier.

Anexo 1. Datos primarios utilizados para la determinación de los costos energéticos. Los precios y salarios aproximados en USD, las masas de las máquinas agrícolas y del tractor en kg, utilizados en el trabajo, fueron obtenidos por Inteligencia Artificial. Fuente: <https://copilot.microsoft.com/>

Equipo	Masa, kg	Energía por unidad de masa, MJ/kg	Vida útil, h	Salario horario del operador, USD/h	Precio, USD	Coefficiente de amortización	Carga anual, h	Coefficiente de reparación
Tractor	2500,00	109,00	12000,00	30,00	30000,00	0,07	1000,00	0,08
Arado de tres discos	540,00	-	15000,00	-	1500,00	0,10	400,00	0,16
Grada de discos	690,00	-	15000,00	-	4000,00	0,10	450,00	0,16
Asperjadora	400,00	-	15000,00	-	2000,00	0,10	470,00	0,16
Sembradora convencional	870,00	-	15000,00	-	3000,00	0,10	410,00	0,16
Sembradora de siembra directa	780,00	-	15000,00	-	3000,00	0,10	410,00	0,16
Conjunto tractor-máquina	Consumo horario, L/h	Salario horario de los obreros auxiliares, USD/h	Número de obreros auxiliares	Precio del combustible consumido, USD/L	Producto utilizado	Norma de siembra o aplicación del producto utilizado, L/ha o kg/ha	Energía por unidad de masa del producto, MJ/L o MJ/kg	Precio del producto utilizado, USD/L o USD/kg
	17,50	10,00	1,00	1,00	maíz	100,00	0	0,20