

EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CULTIVO DEL FRIJOL (*PHASEOLUS VULGARIS L.*), UTILIZANDO TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

ENERGY EFFICIENCY IN THE CULTIVATION OF FRIJOL (*PHASEOLUS VULGARIS L.*), USING AGRICULTURAL PRODUCTION TECHNOLOGIES

Autores: MSc. Iosvany López Sandin¹

Ing. Dariel Urría Costilla²

Institución: ¹Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, Cuba

²Empresa Agropecuaria «El Mambí»

Correo electrónico: iosvany@unica.cu

RESUMEN

En la empresa agropecuaria «El Mambí», del municipio Ciego de Ávila, las labores agrícolas del cultivo del Frijol se realizan de forma mecanizada, con un alto consumo de energía; podría ser improductivo si no se explota eficientemente la maquinaria. En la investigación se determinó la eficiencia energética en el cultivo del frijol, utilizando dos tecnologías de producción agrícola, se analizó cada una de las operaciones tecnológicas que forman parte de la tecnología tradicional utilizada y de la propuesta, determinando los gastos energéticos por unidad de área trabajada y producto cosechado, considerando la energía invertida en la reparación y mantenimiento, combustibles, fertilizantes, pesticidas, electricidad y mano de obra. Los resultados obtenidos revelaron que la productividad energética en la tecnología propuesta fue superior a la tecnología tradicional, donde la energía correspondiente a la aplicación de fertilizantes fue la de más alta contribución, representando el 61.3 % y el 64.7 % respectivamente, con una eficiencia energética de 1,16 en la tecnología propuesta y 0,37 para la tecnología tradicional, elevando los rendimientos agrícolas del cultivo.

Palabras clave: Tecnología, Eficiencia Energética, Productividad.

ABSTRACT

In the agricultural company «El Mambí» of the municipality Ciego de Ávila, the agricultural works to the cultivation of Bean is carried out in an automated way, implying a high-energy consumption that could be unproductive if you don't exploit the machinery efficiently. The objective of this investigation consists of determining the energy efficiency in the cultivation of the bean, using two technologies of agricultural production, for what each one of the technological operations is analyzed as part of the used traditional technology and of the proposal, determining the energy expenses for unit of worked area and harvested product, considering the energy invested in the repair and maintenance, fuels, fertilizers, pesticides, electricity and manpower. The obtained results revealed that the energy productivity in the proposed technology went superior to the traditional technology, where the energy corresponding to the application of fertilizers was that of higher contribution, representing 61,3 % and 64,7 % respectively, with an energy efficiency of 1,16 in the proposed technology and 0,37 for the traditional technology, elevating the agricultural yields of the cultivation.

Keywords: Technology, Energy Efficiency, Productivity.

INTRODUCCIÓN

Actualmente los Frijoles constituyen una gran fuente proteica de origen vegetal y de amplia demanda a nivel mundial, con altos índices de comercialización y consumo. EL Frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es originario del área que ocupa Centroamérica y el Sureste de México y uno de los principales alimentos utilizados como fuente de obtención de proteínas.

Enfrentar las nuevas políticas de producción de Frijol en el país, presupone un grupo de acciones que tributen a garantizar una de las dificultades que más influye en el descontrol del consumo energético. La ausencia de normas de consumo técnicamente fundamentadas y actualizadas son una de las principales causas que atentan en contra de las condiciones actuales de explotación, lo que incide de forma negativa en la mejor utilización de la maquinaria (Folleto, VI Congreso del Partido Comunista de Cuba, 2011).

En la agricultura moderna la energía ha comenzado a tomar un rol cada vez más importante en la producción de alimentos, ya que con el paso del tiempo se ha pasado de utilizar las fuentes de energía renovables al uso cada vez mayor de las fuentes de energía no renovables obtenidas principalmente de los derivados del petróleo.

La producción agrícola se sostiene como consecuencia de un incremento en los insumos energéticos. Por lo tanto, el flujo de energía que se determina para la producción agropecuaria debe ser bien canalizado con el fin de obtener un producto económicamente rentable y con un impacto menor al medio ambiente (Aleman y Brito, 2003).

La evaluación energética es un proceso de análisis que consiste en la identificación y medida de las cantidades de energía captadas, asociada a los productos y equipos que intervienen en la producción de un determinado bien. García y Pérez (2009), 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.

En el caso de la energía requerida y aportada, se determinan las cantidades de energía de los componentes que intervienen en la obtención 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. Se debe considerar, por la forma en la que interviene en un proceso productivo, dos tipos de energía, la de utilización directa e indirecta (Hernanz, 2008). Estudios energéticos realizados por Hill *et al.*, (2006), obtuvieron el consumo energético en dos sistemas mecanizados para la producción de soja y maíz. Sartori *et al.*, (2005) realizaron un estudio al norte de Italia, con vista a determinar la productividad energética observada en una rotación de cultivo soja, maíz y trigo, con el empleo de dos sistemas de labranza: de conservación (LC) y orgánica (LO).

En la provincia Ciego de Ávila la producción de frijoles presenta insuficiencias productivas como el uso de las mismas tecnologías de producción por varios años, sin buscar vías que sean más efectivas y económicas, además de no disponer de una estrategia adecuada de variedades, la cual permita alcanzar niveles superiores de rendimiento. La búsqueda de nuevas tecnologías de producción y variedades de frijol, que se adapten a las condiciones locales de las diferentes zonas de la provincia, es una necesidad impostergable.

El objetivo de esta investigación es determinar la eficiencia energética en el cultivo del frijol en la Empresa Agropecuaria «El Mambí», utilizando dos tecnologías de producción agrícola.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en áreas de la Empresa Agropecuaria «El Mambí», la ubicada en el poblado de Vicente, situada a los 12 Km de la ciudad cabecera del municipio y provincia Ciego de Ávila, predominan los suelos Ferralíticos Rojo Típicos; se utiliza desde hace más de 19 años la tecnología tradicional para la producción del frijol. El área de estudio compone las dos máquinas de pivote central *Western* con que cuenta la empresa, en una de ellas se viene cultivando con una rotación de cultivo de boniato- frijol- maíz en un área de 12 ha en los últimos dos años; la otra máquina con una rotación de yuca- Frijol- maíz en un área de 10 ha desde hace tres años.

Tecnologías utilizadas en el experimento

Tecnología tradicional (TT):

Aradura: Se realizó con el conjunto formado por el tractor K-700 y la grada pesada 5529 kg, a una profundidad de 0.28 m.

Cruce: Se realizó con el conjunto formado por el tractor K-700 y el torpedo de 8 discos, a una profundidad de 0.42 m.

Recruce: Se realizó con el conjunto formado por el tractor K-700 y la grada pesada 3456 kg, a una profundidad de 0.19 m.

Mullido: Se realizó con el conjunto formado por el tractor K-700 y la grada pesada 5529 kg, a una profundidad de 0.17 m.

Alisamiento: Se realizó con el conjunto formado por el tractor Belarus 1221.2 y un Riel de 5 m de ancho.

Siembra: Con el conjunto formado por el tractor Belarus 1221.2 y la sembradora BALDAN de 6 órganos de siembra a una profundidad de 0.08 m.

Riego: Con la máquina de pivote central eléctrica Western, se le aplicaron 17 riegos al cultivo, cada cuatro días en todas sus fases (siembra-brote, brote-crecimiento, crecimiento).

Tratamiento fitosanitario: Cuatro aplicaciones de pesticidas con el conjunto formado por el tractor T - 28 y la máquina asperjadora Jacto.

Cultivo: El cultivo recibió tres desyerbe manual ya que por el marco de siembra del cultivo no permitió hacer cultivo con la mecanización.

Fertilización: Aplicación de 443 kg/ha de NPK a los 14 días después de sembrado el Frijol, se realizó de forma manual y se aplicó en la superficie del suelo.

Arranque del cultivo: El cultivo fue arrancado manual.

Trilla: Con la cosechadora FIATAGRI.

□ Tecnología propuesta (TP):

Chapea: Se realizó con el conjunto formado por el tractor Belarus 510 y la chapeadora CH – 60 H.

Limpia: Se realizó con el conjunto formado por el tractor T – 28 y el cultivador de tres puntos.

Aradura: Se realizó con el conjunto formado por el tractor Belarus 510 y el sacador de boniato, a una profundidad de 0.30 m.

Cruce: Con el conjunto formado por el tractor K-700 y la grada 3456 kg, a una profundidad de 0.20 m.

Mullido: Esta labor se realizó con el conjunto formado por el tractor K-700 y la grada pesada 5529 kg, a una profundidad de 0.16 m.

Alisamiento: Se realizó con el conjunto formado por el tractor Belarus 510 y un Riel de 5 m de ancho.

Siembra: Con el conjunto formado por el tractor Belarus 510 y la sembradora BALDAN de 4organos de siembra a una profundidad de 0.11 m.

Riego: Con la máquina de pivote central eléctrica Western, se aplicó un riego dos días antes de la plantación y 18 riegos después, cada cuatro días en las tres primeras fases (siembra-brote, brote-crecimiento, crecimiento) y cada seis días en la última fase (maduración).

Tratamiento fitosanitario: Cuatro aplicaciones de pesticidas con el conjunto formado por el tractor T - 28 y la máquina asperjadora Jacto.

Cultivo: Un cultivos y aporques a los 19 días de sembrados con el conjunto formado por el tractor Belarus 510 y el cultivador de 5 órganos, a una profundidad de 0.1 m.

Fertilización: Aplicación de 2 L/ha de FitoMas a los 36 días después de la siembra del Frijol, con la máquina de pivot eléctrico

Arranque del cultivo: El cultivo fue arrancado manual.

Trilla: La trilla se realizó con el conjunto formado por el MTZ – 510 y una trilladora rustica.

Diseño experimental

En el diseño experimental se plantearon dos tratamientos principales, en una de las áreas experimentales se utilizó la tecnología tradicional (TT), la que se auxilia principalmente en la roturación de suelos con el uso de arado de discos y un gran número de labores; en la otra área, con gradas y un número reducido de labores, tecnología propuesta (TP). La tecnología tradicional, se montó en un cuadrante de la máquina de riego *Western 6* y la tecnología propuesta, en un cuadrante de la máquina de riego *Western 2*.

Metodología para establecer los gastos energéticos

Se utilizó la metodología para establecer los gastos energéticos de ejecución de la operación empleada por De las Cuevas *et al.* (2004) y Álvarez *et al* (2008), basadas en las propuestas Bridges y Smith (1979); Hetz and Barrios (1997) y apoyada por los antecedentes presentados por ASAE (1993), Fluck (1992), Stout (1990) y Paneque

(1986). Esta determina los gastos energéticos totales de la operación agrícola mecanizada (MJ/h), adicionando la energía invertida en los materiales de construcción incluyendo la fabricación y transporte de pesticidas, fertilizantes, combustible, lubricantes, reparaciones/mantenimiento, y la mano de obra necesaria para operar los equipos.

Metodología para el análisis estadístico de los datos

Los resultados obtenidos para los distintos parámetros medidos en este experimento con un diseño de parcelas divididas, han sido procesados con el paquete estadístico para ordenador, STATGRAPHICS 5.0.

El estudio estadístico realizado a las variables respuesta consistió en un Análisis de varianza, considerando los siguientes factores, para el consumo energético por hectárea: tecnología, labor, así como sus interacciones: tecnología x labor y para el consumo de energía por kg de Frijol cosechado.

Se le aplicó el mismo análisis a la variable consumo de combustible, puesto que es la que más incide en el consumo de energía directa, se tuvo en cuenta los siguientes factores: tecnología, labor y su interacción: tecnología x labor. La prueba utilizada para examinar las diferencias entre las medias, ha sido la de TUKEY para un nivel de significación del 95 % ($P < 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de analizar los datos obtenidos durante el proceso de producción del cultivo del frijol con las diferentes tecnologías utilizadas por la empresa, la tecnología tradicional (TT) y la tecnología propuesta (TP), podemos aceptar que las variables experimentales dependientes vinculadas al consumo de energía (consumo de energía por hectárea y consumo de energía por kg de Frijol cosechado) están relacionadas con los factores empleados en el ensayo.

Consumo energético

Los valores del consumo de energía se muestran para cada tecnología, desglosados por labor, asumiéndose toda la energía invertida desde el proceso de construcción

de la máquina hasta la energía consumida en mantenimiento/repación, lubricantes, electricidad, semilla/ fertilizantes y en la mano de obra, donde posteriormente se compara el consumo energético por tipo de energía en ambas tecnologías mecanizadas.

En la Tabla 1, se muestran los consumos de energía por las diferentes labores realizadas en la TT y la TP. Se puede apreciar que la TT presenta un mayor consumo de energía con respecto a la TP, esto se debe a la ejecución de un mayor número de labores pesadas, las cuales demandan un alto consumo por concepto de materiales, fabricación y transporte de la maquinaria y consumo de combustibles, siendo la labor de mullido la de más alto aporte, con un valor de 5187 MJ/ha para ambas tecnologías, ya que fueron realizadas con el mismo conjunto agrícola y las mismas condiciones agrotécnicas en ambas áreas experimentales.

Después de un análisis de los resultados de las labores realizadas y mostradas en la tabla 1, se puede alegar que las actividades pesadas desde la aradura con arado de disco en la TT hasta el mullido en ambas tecnologías, recogen los más altos valores de consumo de energía por lo que hay que dirigir hacia esas actividades los mayores esfuerzos en la disminución de su consumo energético con la correcta y eficiente explotación de estos medios agrícolas.

Labores	Maquinaria		Mtto/Rep		Mano de Obra		Combustible	
	MJ/ha		MJ/ha		MJ/ha		MJ/ha	
	TT	TP	TT	TP	TT	TP	TT	TP
Aradura	2134,1		0,9		1,9		721,6	
Chapeadora		283,9		0,9		2,0		226,7
Cruce Torpedo	4489,9		2,1		1,3		1898,0	
Limpia		692,8		0,7		1,9		273,4
Recruce 3456 kg	4837,5		1,1		1,3		349,2	

Saque (TP)		1100,9		2,0		2,7		573,3
Mullido 5529 kg	5187,5		1,2		0,9		532,6	
Cruce		5187,5		1,0		2,2		1101,3
Recruce		3242,2		1,7		2,4		579,7
Mullido 5529 kg		5187,5		1,2		2,3		531,3
Alisamiento	295,2	302,6	1,1	0,8	0,5	0,5	184,7	203,3
Siembra	1792,2	1466,1	1,1	1,0	62,1	60,9	265,2	63,3
Cultivo 3 Punto		749,1		0,5		2,2		67,9
Arranque del Cultivo	429,0	421,2	1,0	0,9	0,4	0,3		
Kumulus	1140,5	1140,6	0,8	0,8		0,5		
FitoMas	1141,2	1140,3	0,8	0,8		0,4		
Metamidofos		1140,1		0,8		0,4		86,0
Marcozeb	1140,8	1141,0	0,9	0,6	0,3	0,6	90,0	117,0
Seizer	1140,4		0,9		0,3		79,8	
Thiovyt	1140		0,8		0,2		79,1	
Calixin		1140,5		0,9		0,4		96,0
Plural		1141,3		0,8		0,4		85,0
Seper Meteoro	1140,9			0,8		0,4		
Cosecha			1,6	1,4	124,4	130,2	1663,5	197,3
Riego	21,02	23,41	3,05	3,16	94,01	97,32		
TOTAL	26009	25477,8	14,32	17,65	193,52	210,59	5863,7	4201,5

Tabla 1. Energía invertida en materiales, fabricación y transporte de la maquinaria, mantenimiento/repación, mano de obra y combustible.

Energía invertida en semillas, fertilizantes y pesticidas

En la Tabla 2, se pueden apreciar los diferentes consumos de energía para cada uno de los insumos usados en las dos tecnologías, no reportan diferencias entre ambas. La energía empleada en la aplicación de fertilizante es la más alta contribución con un valor de 35911 MJ/ha, resultado que se debe en su mayoría al elevado uso de fertilizantes para garantizar el adecuado desarrollo de las plantas y alto valor energético en su obtención.

Insumos	Energía (MJ/ha)
Semilla	1457,2
Fertilizante	35911
Pesticidas	2191,8

Tabla 2. Energía invertida en los insumos.

Al analizar el consumo energético por unidad de área, teniendo en cuenta todas las formas de energía que intervinieron en el proceso productivo, Tabla 3, se pudo observar que el fertilizante aporta los mayores valores, representando el 61,3 y 64,7% del total de energía consumida en una hectárea para TT y TP respectivamente.

Parámetros	Energía (MJ/ha)		Por ciento del total (%)	
	TT	TP	TT	TP
Maquinaria	94,2	87,9	0,3	0,4

Mant/rep	13,2	18,9	0,0	0,1
Mano de obra	193,7	211,9	0,7	0,8
Combustible	6116,0	3654,5	21,8	14,6
Semilla	633,6	823,6	2,3	3,3
Fertilizantes	17222,4	16146,0	61,3	64,7
Pesticidas	1336,5	855,3	4,8	3,4
Electricidad	2488,9	3164,0	8,9	12,7
Total	28098,5	24962,2	100,0	100,0

Tabla 3. Consumo por hectáreas de todas las formas de energía que intervinieron en el proceso de producción.

Rendimiento agrícola del cultivo del Frijol

Al analizar los valores del rendimiento, utilizando los datos tomados en las parcelas muestreadas, se pudo comprobar que existió diferencias estadísticamente significativas entre las tecnologías mecanizadas utilizadas, Figura 1. La TT con un rendimiento de 790 kg/ha, fue inferior a la TP que obtuvo un rendimiento de 2160 kg/ha, esta última tecnología dio valores nunca obtenidos en la empresa y en el país en la variedad producida, resultado del laboreo reducido y la conservación de la cobertura vegetal, que sirvió de nutriente al incorporándose al suelo, permitiendo el enriquecimiento del mismo.

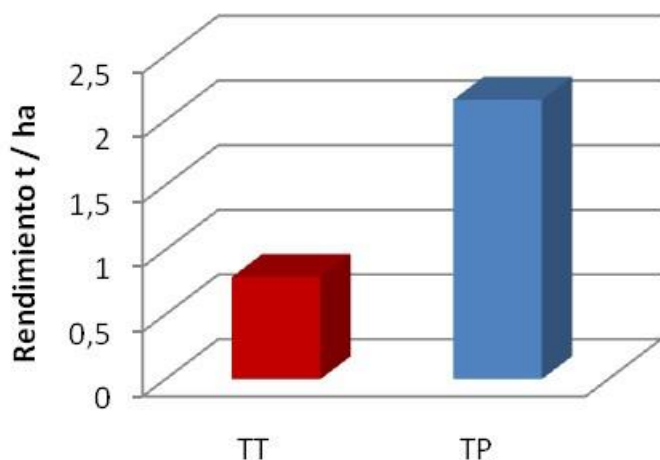


Figura 1. Comparación de las medias del rendimiento en el cultivo del frijol para ambas tecnologías.

Productividad energética

Al comparar la productividad energética en las dos tecnologías estudiadas, se pudo comprobar que las medias difieren significativamente, como se puede observar en la Figura 2, siendo la TP la de mejor productividad energética, con 11,55 MJ/kg de frijol cosechado, y en la TT se necesitan 35,56 MJ/kg. Se puede resaltar la gran diferencia que existe entre ambas tecnologías, dependiendo en gran medida al mayor rendimiento agrícola del cultivo con la utilización de la TP.

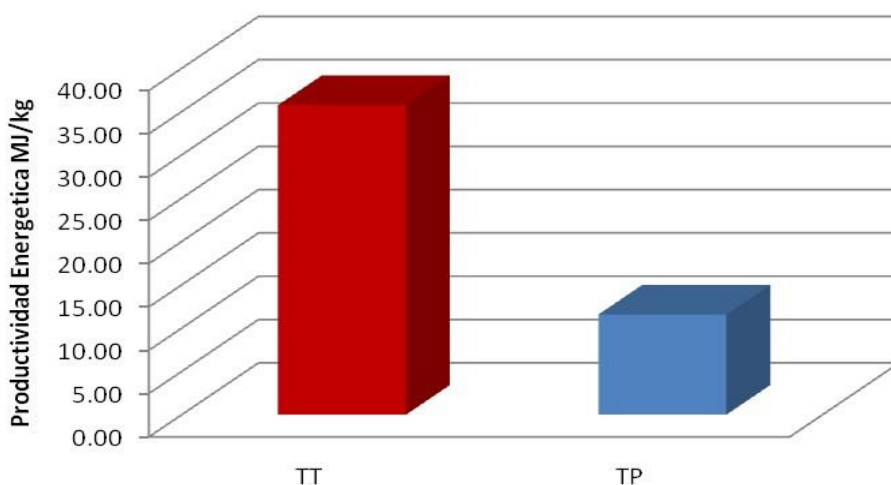


Figura 2. Productividad energética.

Eficiencia energética

En la Tabla 4 se observa la eficiencia energética en ambas tecnologías, se aprecia una mejor eficiencia para TP, esto se debe al mayor rendimiento agrícola del cultivo en esta tecnología con respecto a la TT.

	Producción (kg/ha)	Energía de 1kg de frijol (MJ/kg)	MJ invertidos/ha	MJ obtenidos/ha	Eficiencia energética
TT	790	13,48	28098,5	10649,2	0,37
TP	2160	13,48	24962,2	29116,8	1,16

Tabla 4. Eficiencia energética de la producción de frijol en las dos tecnologías.

CONCLUSIONES

Se propuso una tecnología mecanizada que resultó de menor consumo energético en la producción de frijol, con una productividad energética de 11,55 MJ/kg de frijol cosechado contra un 35,56 MJ/kg en la tecnología tradicional utilizada, obteniendo una eficiencia energética de 1,16 en la tecnología propuesta y 0,37 para la tecnología tradicional. El consumo energético por unidad de área, teniendo en cuenta todas las formas de energía que intervinieron en el proceso productivo, el fertilizante aporta los mayores valores, representando el 61,3 y 64,7% del total de energía consumida en una hectárea para tecnología tradicional y tecnología propuesta respectivamente.

La tecnología propuesta permitió elevar los rendimientos agrícolas del cultivo con respecto a la tecnología tradicional con un valor de 2160 kg/ha con respecto a 790 kg/ha.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

ALEMÁN, R. Y BRITO, J.C.: «Balance energético en dos sistemas de producción de maíz en las condiciones de Cuba», en *Centro Agrícola*, p. 84-87, jul-sep., Vol. 30, No. 3., 2003.

- DE LAS CUEVAS MILÁN, H.R. Y *ET AL.*: «*La labranza consevacionista y sus gastos energéticos*», UNAH, Cuba, disponible en <http://revistas.mes.edu.cu:9900/eduniv/03-Revistas-Cientificas/Rev.Ciencias-Tecnicas-Agropecuarias/2004/2/11104207.pdf>. Visitado el 1 de febrero de 2014.
- Folleto, VI Congreso del Partido Comunista de Cuba, abril, 2011.
- GARCÍA, G., Y PÉREZ, M.: *Ahorro del Costo Energético de las Operaciones de labranza-siembra utilizando la agricultura de conservación*, Trabajo de Diploma, UNAH, La Habana, Cuba, 2009.
- HERNANZ, J.L.: *Eficiencia energética en Agricultura de Conservación en zonas semiáridas*, pp.14, Universidad Politécnica de Madrid, Dpto. Ingeniería Forestal, España, 2008.
- HILL, J.: «Environmental, economic and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels», en J. e. Hill, *Environmental, economic and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels*, pp. 11206–11210, vol. 103, No. 30, 2006.
- SARTORI, L.: «Energy Use and Economic Evaluation of a Three Year Crop Rotation for Conservation and Organic Farming in NE», en L. Sartori, *Biosystems Engineering*, pp. 245–256, Vol.91, No. 2, Italy, 2005.