

Original

**Evaluación del costo energético de la labor de rotura con arado de discos para el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)**

Evaluation of the energy cost of the work of rupture with plow of discs for the cultivation of beans  
(*Phaseolus vulgaris* L.)

**Yenia Bárbara Martínez Cazull**, estudiante del 5to año de la carrera de Ingeniería Agrícola, miembro del grupo científico de Laboreo del Suelo y Energía Agrícola, Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad de Granma, Cuba,  
[ymartinezc@estudiantes.udg.co.cu](mailto:ymartinezc@estudiantes.udg.co.cu)

**Dr. C. Yosvel Enrique Olivet Rodríguez**, Profesor Titular, Ingeniero Mecanizador Agrícola, Universidad de Granma, [yolivetr@udg.co.cu](mailto:yolivetr@udg.co.cu)

Recibido: 17 de noviembre de 2019 / Aceptado: 19 de enero de 2020

**Resumen**

La investigación se realizó en la UEB “Agrícola” de la Empresa Agropecuaria “Paquito Rosales Benítez” del municipio Yara, de la provincia de Granma, Cuba, con el objetivo de evaluar el costo energético de la preparación de suelo para el cultivo del frijol, con el tractor Belarus – 800 y arado de discos ADI – 3 M (T1) y el tractor Belarus – 800 y arado de discos AFT– 4 (T2). Teniendo como resultado que T2, alcanzó el mayor costo energético relacionado con la maquinaria ( $4,54 \text{ MJ}\cdot\text{h}^{-1}$ ) y el menor costo de combustible ( $29\,520 \text{ MJ}\cdot\text{h}^{-1}$ ). Mientras que T1, alcanzó mayor costo energético de energía secuestrada en la utilización de los lubricantes, en el mantenimiento y reparación con valores de  $3\,280$  y  $84\,624 \text{ MJ}\cdot\text{h}^{-1}$  respectivamente, para  $1,96 \text{ MJ}\cdot\text{h}^{-1}$  a favor del empleo de la mano de obra. Presentado T1 el mayor costo total del proceso  $153\,510 \text{ MJ}\cdot\text{h}^{-1}$  con relación a T2 con  $69\,083 \text{ MJ}\cdot\text{h}^{-1}$ .

**Palabras claves:** combustibles, lubricantes, mantenimiento, suelo

**Abstract**

The investigation was carried out in the UEB “Agrícola” of the Agricultural Company “Paquito Rosebushes Benítez” of the municipality Yara, of the county of Granma, Cuba, with the objective of evaluating the energy cost of the floor preparation for the cultivation of the bean, with the tractor Belarus - 800 and plow of disks ADI - 3 M (T1) and the tractor Belarus - 800 and plow of disks AFT - 4 (T2). Having as a result that T2, reached the bigger energy cost related with the machinery ( $4.54 \text{ MJ}\cdot\text{h}^{-1}$ ) and the smallest cost of fuel ( $29\,520 \text{ MJ}\cdot\text{h}^{-1}$ ). While of T1 reached a higher energy cost of

sequestered energy in the use of lubricants, in maintenance and repair with values of 3 280 and 84 624 MJ·h<sup>-1</sup> respectively, for 1.96 MJ·h<sup>-1</sup> in favor of employment from handwork. Presented T1 the highest total cost of the process 153 510 MJ·h<sup>-1</sup> in relation to T2 with 69 083 MJ·h<sup>-1</sup>.

**Key words:** fuels; lubricants; maintenance; soil

## **Introducción**

La evaluación energética es un proceso de análisis que consiste en la identificación y medida de las cantidades de energía requerida, asociada a los productos y equipos que intervienen en la producción de un determinado bien, describen una serie de análisis, como son: 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 (Recalde, 2017).

Las investigaciones permiten evaluar el costo energético de la maquinaria que interviene en un proceso productivo. Los tractores y máquinas agrícolas tienen un alto costo de adquisición y operación en términos monetarios y energéticos (MJ h<sup>-1</sup>, MJ ha<sup>-1</sup>), ya que la eficiencia energética permite la sostenibilidad en la agricultura y el mantenimiento agrícola de los suelos intensivamente cultivados. El costo energético por concepto de combustible, representa un alto porcentaje del costo energético total de la producción, donde la labranza juega un papel muy fundamental en la agricultura (Paneque y Prado, 2005; Friedrich, 2017).

En Cuba la producción del frijol es una prioridad nacional, donde la maquinaria agrícola representa fuertes inversiones y gastos de combustibles; por tal razón 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. El flujo de energía que se determina para la producción agropecuaria, está debe ser bien canalizada con el fin de obtener un producto económicamente rentable y con un impacto menor al medio ambiente (Sandin y Costilla, 2016).

Para evaluar los costos de energía hay que tener en cuenta las actividades y medios que intervienen en un proceso. Este identifica y mide las cantidades de energía secuestradas e incorporadas en los productos y equipos involucrados en la producción de un bien. Permite un aumento en la eficiencia energética del proceso tecnológico en las actividades agrícolas (Olivet *et al.*, 2018).

El número de máquinas agrícolas en la agricultura ha dado lugar un incremento de las

superficies cultivables, contribuyendo al aumento de los rendimientos. Sin embargo los agricultores de los países en desarrollo gastan más anualmente en la adquisición de insumos de energía (combustibles), que en la compra de fertilizantes, semillas o productos agroquímicos (Miranda *et al.*, 2009), debido al agotamiento de los combustibles fósiles y el daño irreversible al medio que estos ocasionan. Esta gran preocupación exige la adopción de nuevas técnicas de laboreo del suelo para garantizar un desarrollo sostenible, que permita satisfacer las necesidades energéticas de las actuales y futuras generaciones (Paneque y Prado, 2005), ya que en los sistemas de producción agrícola mecanizados, la labranza constituye una de las actividades que más consumo de energía requiere. Este aumento estuvo vinculado de manera directa a los cambios tecnológicos existentes en la agricultura (Canakci y Akinci, 2006), siendo el empleo del combustible el elemento fundamental que caracteriza el costo energético de un proceso, ya que depende de las condiciones del suelo, la potencia del tractor, el apero utilizado y la profundidad de trabajo (Olivet *et al.*, 2012). El objetivo de este trabajo es evaluar el costo energético de la labranza del suelo con arado de discos para el cultivo del frijol en la UEB “Agrícola”.

## **Materiales y métodos**

### Localización del área experimental

La investigación fue concebida en la UEB “Agrícola” de la Empresa Agropecuaria “Paquito Rosales Benítez”, del municipio de Yara de la provincia de Granma, Cuba, con el objetivo de evaluar el costo energético de la labor de rotura con arado de discos para el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) sobre un Fluvisol (Hernández *et al.*, 2015), considerando el costo energético de la maquinaria, combustible y los lubricantes y total del proceso, empleando el método analítico investigativo.

### Climatología de la zona donde se desarrolló el trabajo

Durante la investigación la temperatura presentó un comportamiento entre 26,20°C y 27,40°C, con una humedad relativa de 72 % como promedio para una velocidad de los vientos entre 6,10 y 13 km·h<sup>-1</sup> y una un promedio de precipitaciones en 23,20 mm (Naranjo y Gutiérrez, 2017).

### Diseño experimental

Durante la investigación se planteó un diseño experimental en bloques al azar, con dos tratamientos y tres repeticiones, para un total de 9 parcelas de 320×100 m. Permitiendo evaluar los costos energéticos totales de las operaciones agrícolas mecanizadas realizadas. Tomados los datos, se realizó un análisis de varianza con el

paquete estadístico STATISTICA (Statsoft, 2003), efectuando la prueba de LSD de Fisher con una probabilidad  $p < 0,95$ .

Sistemas de siembra evaluados

En este trabajo se compararon dos sistemas de roturación del suelo con arados de discos para el cultivo del frijol (T1 y T2).

Tratamientos T1, consistió en la roturación del suelo con el tractor Belarus-800 y el arado de discos ADI3M.

Tratamiento T2, consistió en la roturación del suelo con el tractor Belarus-800 y el arado de discos AFT4.

Determinación del costo energético

El costo energético se determinó, teniendo 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 (Paneque y Soto, 2007; Ruiz *et al.*, 2009).

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

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

Donde:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Donde:

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

$EUt$  y  $EUm$ , es la energía por unidad de masa constructiva del tractor y la máquina agrícola respectivamente, ( $MJ \cdot kg^{-1}$ )

$VUt$  y  $VUm$ , es la vida útil del tractor y la máquina agrícola respectivamente, (h)

- b) La energía correspondiente al combustible utilizado ( $ESc$ ), se calcula con el estándar propuesto por Hetz y Barrios (1997), ASAE (1993).

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

Donde:

$gh$ , consumo específico de combustible, ( $L \cdot h^{-1}$ )

$E_{eg}$ , energía equivalente del combustible, ( $MJ \cdot L^{-1}$ )

- c) La energía correspondiente a lubricantes/filtros ( $ESI$ ) y 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.

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

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

Donde:

$ESc$ , es la energía secuestrada en el combustible,  $MJ \cdot h^{-1}$

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

- d) 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

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

### Resultados y discusión

En la Figura 1 se muestra el comportamiento del costo energético relacionado con el uso de la maquinaria agrícola ( $ESm$ ), utilizada mostró diferencia significativa entre los tratamientos, según la prueba LSD de Fischer para  $p < 0,95$ , donde T2 alcanzó el mayor costo de energía ( $4,54 MJ \cdot h^{-1}$ ), siendo 7 % superior al costo energético obtenido por T1 con solo  $4,21 MJ \cdot h^{-1}$ . Para ambos tratamientos, los resultados obtenidos están por debajo del costo energético alcanzado por de la Figal *et al.* (2012) al evaluar la preparación del suelo para el cultivo del frijol con un tractor YUMZ-6M y arado de discos.

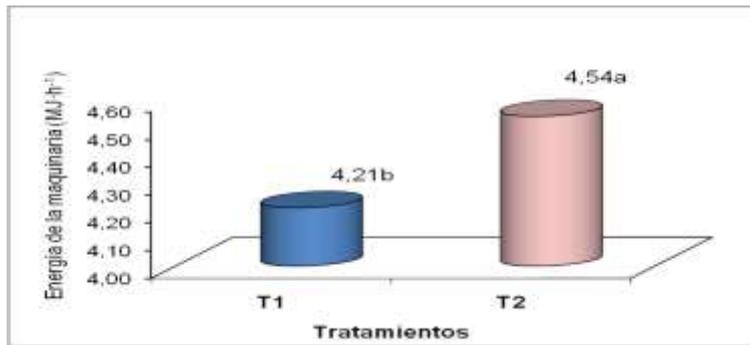


Figura 1. Costo energético de la maquinaria.

Al analizar el uso del combustible en cada uno de los tratamientos se evidencia diferencia significativa entre los tratamientos (Figura 2). Donde el combustible ( $ESc$ ), para T1 fue de  $65\,600\text{ MJ}\cdot\text{h}^{-1}$ , 55 % superior al costo energético obtenido por T2 con solo  $29\,520\text{ MJ}\cdot\text{h}^{-1}$ . De igual forma se comporta la energía secuestrada en la utilización de los lubricantes ( $ESl$ ) donde T1 alcanzó un valor de  $3\,280\text{ MJ}\cdot\text{h}^{-1}$  (Figura 3), estando 55 % por encima del costo alcanzado por T2. La energía secuestrada en los mantenimientos y las reparaciones ( $ESmr$ ) de los conjuntos utilizados, para T1 fue de  $84\,624\text{ MJ}\cdot\text{h}^{-1}$  (Figura 4), también 55 % superior a la energía secuestrada por T2 con solo  $38\,081\text{ MJ}\cdot\text{h}^{-1}$ . Todos estos resultados superan en gran medida a los valores alcanzados por de las Cuevas *et al.* (2009) al evaluar el costos energéticos de un conjunto tractor empleando una máquina de siembra directa de frijol.

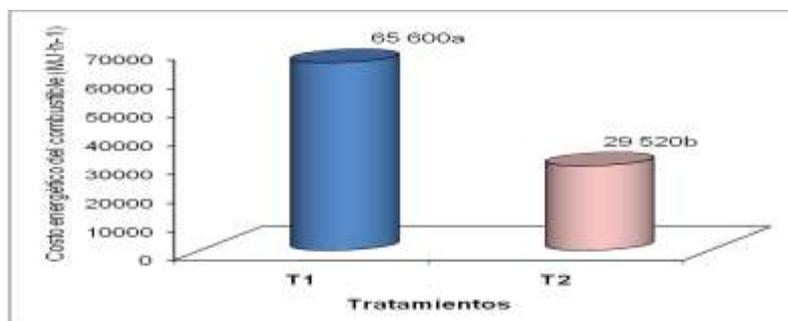


Figura 2. Costo energético del uso del combustible.

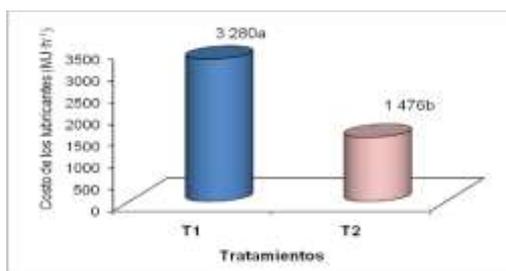


Figura 3. Costo de los lubricantes.

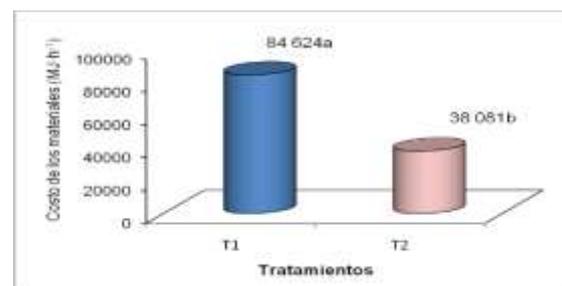


Figura 4. Costo de los materiales de fabricación.

Al analizar la energía secuestrada en la utilización de la mano de obra ( $ESmo$ ) no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos (Figura 5), presentando T1 y T2 un costo energético de de  $1,96 \text{ MJ}\cdot\text{h}^{-1}$ . Este resultado está dado por la cantidad de operadores empleados en cada tratamientos (uno), estando por debajo del costo energético determinado por de las Cuevas *et al.* (2009).

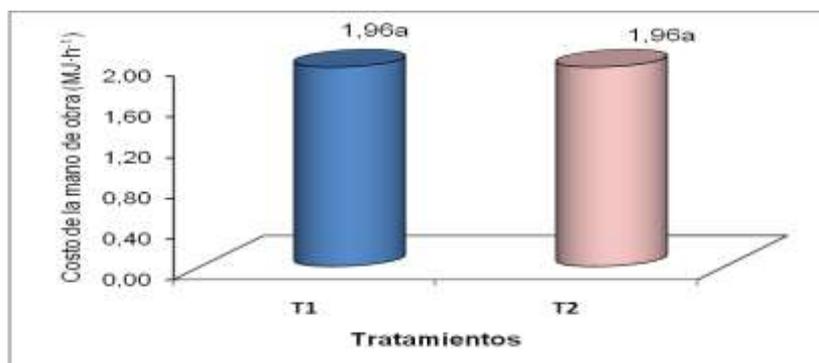


Figura 5. Costo energético del uso de la mano de obra.

La suma de estos componentes ( $ESm$ ,  $ESc$ ,  $ESI$ ,  $ESmr$ ,  $ESmo$ ,  $ESp$ ) generó un costo energético total en T1 de  $153\,510 \text{ MJ}\cdot\text{h}^{-1}$  y de  $69\,083 \text{ MJ}\cdot\text{h}^{-1}$  en T2 (Figura 6). Este último valor es 55 % inferior al total del costo energético obtenido por T1. Ambos resultados están por debajo de lo alcanzado por Paneque *et al.* (2009) al determinar el costo energético de la preparación del suelo el cultivo del arroz.

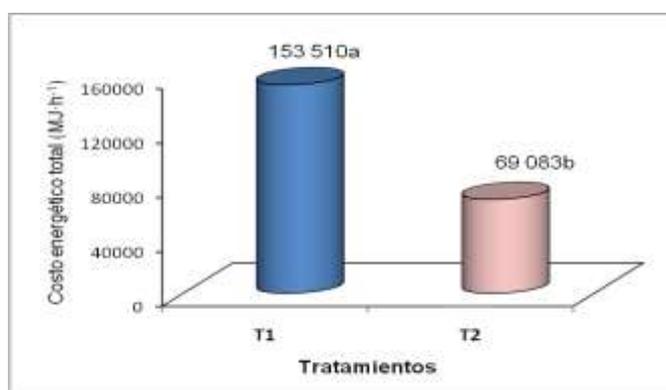


Figura 6. Costo energético total del proceso.

## Conclusiones

1. Con la aplicación de T2, se alcanzó el mayor costo energético ( $4,54 \text{ MJ}\cdot\text{h}^{-1}$ ), 7 % superior al costo energético obtenido por T1 con solo  $4,21 \text{ MJ}\cdot\text{h}^{-1}$ .
2. El mayor costo energético relacionado con el uso del combustible ( $ESc$ ) se alcanzó con T1 ( $65\,600 \text{ MJ}\cdot\text{h}^{-1}$ ) con relación a T2 con solo  $29\,520 \text{ MJ}\cdot\text{h}^{-1}$ .
3. Con T1 se alcanzó mayor energía secuestrada en la utilización de los lubricantes ( $ES$ ) y de mantenimiento y reparación ( $ESmr$ ) con valores de  $3\,280$

y 84 624 MJ·h<sup>-1</sup> respectivamente.

4. El costo energético relacionado con el uso de la mano de obra (*ESmo*) para T1 y T2 fue de 1,96 MJ·h<sup>-1</sup> respectivamente.
5. La suma de los costos energéticos totales se mantuvo mayor en T1 (153 510 MJ·h<sup>-1</sup>) que en T2 con 69 083 MJ·h<sup>-1</sup>.

### Referencias bibliográficas

- Canakci, M. y Akinci, I. (2006). Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production. *Energy*, 31(8), 1243-1256.
- De la Figal, A. E., Valdés, Y. y Vargas, J. (2012). Evaluación de los gastos de explotación, económicos y energéticos en la labor de cultivo del frijol, tomate y papa comparando el tractor YUMZ-6M con yunta de bueyes. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(3), 62-68.
- De las Cuevas, H. R., Rodríguez, T., Paneque, P. y Herrera, M. I. (2009). Costos energéticos de un conjunto tractor-máquina de siembra directa. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(4), 8-12.
- Friedrich, T. (2017). Manejo sostenible de suelo con Agricultura de Conservación. Significado para el cultivo de arroz. *Revista Ingeniería Agrícola*, 7(1), 3-7.
- Hernández, A., Pérez, J. M., Bosch, D. y Castro, N. (2015). Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Ministerio de Educación Superior (MES). Instituto de Suelo, Ministerio de la Agricultura (MINAG).
- Hetz, E. J. y Barrios, A. I. (1997). Costo energético de las operaciones agrícolas mecanizadas más comunes en Chile. *Agro sur*, 25(2), 146-161.
- Mandal, K. G., Saha, K. P., Ghosh, P. K., Hati, K. M. y Bandyopadhyay, K. K. (2002). Bioenergy and economic analysis of soybean-based crop production systems in central India. *Biomass and Bioenergy*, 23(5), 337-345.
- Miranda, A., Paneque, P., Abraham, N. y Suárez, M. (2009). Comparative analysis of the energy total costs, operational and fuel consumption of rice cultivation using dry and muddy soil technologies. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(3), 70-75.
- Naranjo, J. E. y Gutiérrez, E. (2017). Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. *Centro Meteorológico Decadal*, 28(30), 1-5.
- Olivet, Y. E., Parra, L. R. y Furé, Y. (2018). Evaluación energética de dos sistemas de fangueo para el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.). *REDEL. Revista Granmense*

*de Desarrollo Local*, 2(4), 14-26.

- Olivet, Y. E., Sanchez-Girón, V. y Gaskin, B. G. (2012). Efecto de tres sistemas de labranza en las propiedades físicas y en el consumo energético para el cultivo del tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) en un *Vertisol*. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(1), 88.
- Paneque, P., Miranda, A., Ferro, N. A. y Suárez, N. (2009). Determinación de los costos energéticos y de explotación del sistema de cultivo del arroz en seco. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(1).
- Paneque, P. y Prado, Y. (2005). Comparación de tres sistemas agrícolas en el cultivo del frijol. *Agricultura Conservacionista. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 14(3).
- Paneque, P. y Soto, L. D. (2007). Costo energético de las labores de preparación de suelos en Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 6(4), 17-21.
- Recalde, M. (2017). La inversión en energías renovables en Argentina. *Revista de Economía Institucional*, 19(36), 231-254.
- Ruiz, F. H., Vázquez, C., García, J. L., Salazar, E., Orona, I., Zuñiga, R., . . . Beltrán, F. A. (2009). Comparación del costo energético de dos manejos del suelo para albahaca. *Terra Latinoamericana*, 27(4), 383-389.
- Sandin, I. L. y Costilla, D. U. (2016). Eficiencia energética en el cultivo del frijol (*Phaseolus Vulgaris* L.), Utilizando tecnologías de producción agrícola. *Universidad & Ciencia* 5(2), 107-120.
- Statsoft. (2003). *Statistica for windows, second* (Version 8 Statsoft Inc.). USA: Tulsa, OK.