

Fundamentación energética del cultivo de *Cucumis sativus* L. (pepino) bajo condiciones protegidas (Original)**Energetic basis for the cultivation of *Cucumis sativus* L. (cucumber) under protected conditions (Original)**

Maikel Estrada Góngora. Ingeniero Agrícola. Unidad Empresarial de Base Colectivo

Agropecuaria Cultivos Protegidos. Yara. Granma. Cuba. maikelestradagongora@gmail.com 

Alfonso Enrique Ortiz Rodríguez. Ingeniero Mecanizador de la Producción Agropecuaria.

Doctor en Ciencias Técnicas Agropecuarias. Profesor Titular. Centro Universitario Municipal.

Yara. Granma. Cuba. aortizr@udg.co.cu 

Arnaldo Guerrero Aliaga. Ingeniero Agrónomo. Máster en Ciencias Agrícolas. Instructor. Centro

Universitario Municipal. Yara. Granma. Cuba. aguerreroa@udg.co.cu 

Rolando Ramírez Benítez. Licenciado en Educación en la Especialidad de Educación Física

Profesor Auxiliar. Máster en Actividad Física en la Comunidad. Centro Universitario Municipal.

Yara. Granma. Cuba. rramirez@udg.co.cu 

César Emilio González Hernández. Ingeniero Agrónomo. Instructor. Centro Universitario

Municipal. Yara. Granma. Cuba. cgonzalez@udg.co.cu 

Recibido: 01-06-2024/Aceptado: 11-10-2024

Resumen

La investigación se realizó en la Unidad Empresarial de Base Colectivo Agropecuario Cultivos Protegidos, perteneciente a la Empresa Agropecuaria Paquito Rosales Benítez, radicada en Veguitas, municipio Yara, provincia Granma. El objetivo del estudio consistió en realizar una fundamentación energética del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en Fluvisol, durante el

periodo 2023 en la unidad antes mencionada. Las variables determinadas fueron: energía de uso directo e indirecto, de entrada (*input*), de salida (*output*) por unidad de superficie, coeficiente de relación energética (ratio) y de eficiencia de energía neta del cultivo, así como las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera. Como principales resultados se obtuvieron que la energía de uso directo asumió una cuantía de 3 338,4 MJ ha⁻¹, con el 83,9 % asociado a la utilización de la fuerza humana, lo que representó el 49,0 % de las actividades relacionadas con las atenciones culturales, al igual que la fuerza de uso indirecto tuvo comportamiento de 1 372,5 MJ ha⁻¹. El ratio arrojó un valor de 7,1 y una eficiencia energética de 6,1, catalogados de excelentes, reportándose el mismo comportamiento al considerar las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera. El cultivo alcanzó un volumen de producción de 2,3 t con un ingreso de 46 000,0 CUP, para una ganancia de 37 682,98 CUP.

Palabras clave: *Cucumis sativus* L.; energía de uso directo; energía de uso indirecto; maquinaria agrícola; eficiencia energética.

Abstract

The research was carried out in the Collective Agricultural and Livestock Collective Based Business Unit Protected Crops, belonging to the Paquito Rosales Benítez Agricultural and Livestock Enterprise, located in Veguitas, Yara municipality, Granma province. The objective of the study was to carry out an energetic basis of cucumber (*Cucumis sativus* L.) cultivation in Fluvisol, during the period 2023 in the above mentioned unit. The variables determined were: direct and indirect energy use, input and output per unit area, energy ratio and net energy efficiency of the crop, as well as carbon dioxide emissions to the atmosphere. The main results showed that direct energy use amounted to 3 338,4 MJ ha⁻¹, with 83,9 % associated with the use of human power, which represented 49,0 % of the activities related to cultural services, while

indirect energy use had a behavior of 1 372,5 MJ ha⁻¹. The ratio showed a value of 7,1 and energy efficiency of 6,1, classified as excellent, and the same behavior was reported when considering carbon dioxide emissions to the atmosphere. The crop reached a production volume of 2,3 t with an income of 46 000,0 CUP, for a profit of 37 682,98 CUP.

Keywords: *Cucumis sativus* L.; direct use energy; indirect use energy; agricultural machinery; energy efficiency.

Introducción

Las prácticas agrícolas deben tener como prioridad la conservación de la energía fósil y priorizar el uso de energías renovables, aunque suele ser muy común el uso indebido, como portador energético, de combustibles tales como el gas oil. Las condiciones ambientales y las diferentes tecnologías modifican el balance de la energía y, consecuentemente, la eficiencia en su utilización ya que los distintos cultivos pueden tener una respuesta variable en su productividad ante el agregado de insumos, entre los que se encuentra el combustible diesel.

Olivet et al. (2019) exponen que: "El nivel de desarrollo tecnológico alcanzado por la agricultura que se practica en un determinado lugar está condicionado, en gran medida, por la cantidad de energía que se consume por unidad de superficie cultivada" (p. 241).

No obstante, a nivel mundial se ha puesto énfasis en lograr la reducción de emisiones de CO₂, las cuales se asocian generalmente a un menor consumo de estos insumos. Existen dos caminos urgentes para frenar esta cadena de incremento de emisiones de CO₂: producir la energía mediante fuentes renovables y reducir la demanda energética mediante el uso de equipos y técnicas que permitan un desarrollo más eficiente.

El consumo energético en los invernaderos es un factor muy importante a considerar dentro de los costes de producción, de ahí que se considere prioritaria la optimización

energética de estos sistemas. Por otra parte, optimizando el consumo de energía se facilitará el cumplimiento de las regulaciones ambientales y energéticas, cada vez más restrictivas, que afectan al sector, logrando unos invernaderos más amigables con el medio ambiente (...) (IDAE, 2008, citado por Marrero et al., 2021, p. 58235).

Para Olivet et al. (2019): "Hoy día el cultivo protegido constituye una tecnología provisora para extender el calendario de producción de las tradicionales hortalizas, asegurando altos y estables rendimientos y el suministro fresco al turismo y la población" (p. 240).

Según Casanova et al. (2007) y Maroto (2008) (citados por Olivet et al., 2019): "El pepino (*Cucumis sativus* L.) es uno de los principales cultivos explotado en ambiente protegido, obteniéndose frutos de excelente calidad comercial, donde por ser un fruto pequeño es considerado ideal para la conserva y curtidos(...)"(p.240). Asimismo, se considera que: "Bajo condiciones de invernaderos, la producción de pepino es de 2 a 9 veces más que en campo abierto, dependiendo del nivel tecnológico, el manejo y las condiciones climatológicas" (FUMIAF, 2005, citado por López et al., 2011, p.22).

En Cuba se ha implementado el desarrollo, bajo condiciones protegidas, de cultivos hortícolas como el pepino, por lo que se plantea la necesidad de evaluar en la producción, además de los costos que genera la explotación tradicional de la técnica, la eficiencia energética y el efecto medioambiental por unidad de producción, lo que permitirá obtener criterios que proporcionen información para producciones más limpias y sostenibles.

Para Olivet et al (2019): "Este cultivo es muy importante debido al elevado índice de consumo, pues sirve de alimento tanto fresco como industrializado. Existe una estabilidad de la superficie que ocupa a nivel mundial esta hortaliza, con un aumento de la producción" (p. 240).

En la UEB de la Empresa Agropecuaria Paquito Rosales Benítez de Veguitas, dedicada a la producción de este cultivo bajo condiciones protegidas, se ha ido incorporando el paquete tecnológico relacionado con la adquisición de tractores de baja potencia que tienen la gama de implementos necesarios para realizar la labranza, así como se han aplicado productos fitosanitarios de bajo equivalente energético y fertilizantes biológicos.

Ante el desconocimiento que mostró la Unidad Empresarial de Base Colectivo Agropecuario Cultivos Protegidos sobre la cantidad de energía asociada al proceso productivo del cultivo del pepino bajo condiciones protegidas, este artículo se propone presentar la fundamentación energética del cultivo *Cucumis sativus* L. en Fluvisol, realizada en dicha UEB durante el periodo 2023.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en la UEB Colectivo Agropecuario Cultivos Protegidos, perteneciente a la Empresa Agropecuaria Paquito Rosales Benítez ubicada en Veguitas, provincia Granma. Esta instalación cuenta con una extensión territorial de dos hectáreas para la siembra de cultivos protegidos que abarcan 15 casas de 540 m² y 16 de 800 m². El experimento se realizó en la casa número 26, con un área de 0,054 ha (540 m²) y en Fluvisol, según sugieren Hernández et al. (2019). Se plantó la variedad INIVIT (MINAG, 2023).

Para la toma de datos relacionados con los indicadores tecnológicos y de explotación de los conjuntos de máquinas empleados en la labranza, se utilizó la técnica de fotocronometraje y para el cálculo de los mismos, se tuvo en cuenta la norma ramal del Ministerio de la Agricultura XX1 (MINAG, 2005). Además, para el cálculo de los índices energéticos se usaron los procedimientos propuestos por Bowers (1992).

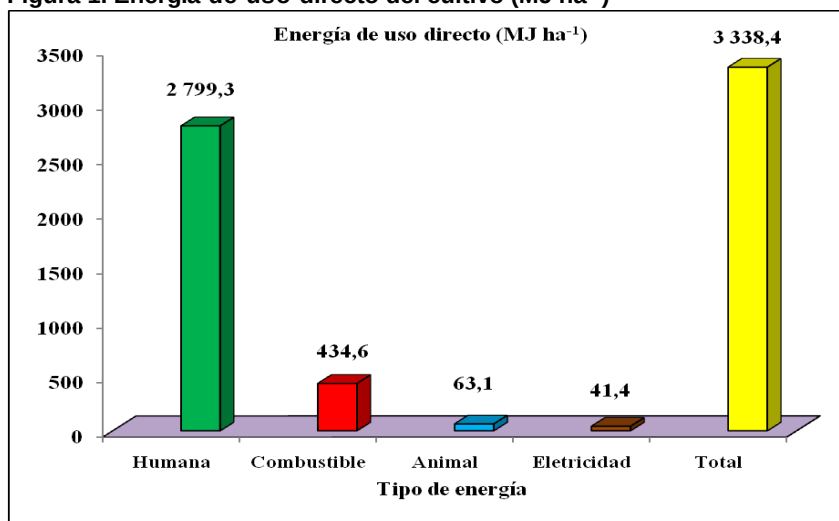
Las variables determinadas fueron: energía de uso directo e indirecto, de entrada (*input*), de salida (*output*) por unidad de superficie, coeficiente de relación energética (ratio) y de Eficiencia de Energía Neta (NER) del cultivo, así como las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera.

Análisis y discusión de los resultados

Análisis de la energía de uso directo asociada al cultivo (MJ ha^{-1})

En la figura 1 se observan los factores relacionados con la energía de uso directo, la cual asumió un valor total de $3\,338,4 \text{ MJ ha}^{-1}$, estando la mayor cuantía asociada a la fuerza humana empleada, con un valor de $2\,799,3 \text{ MJ ha}^{-1}$, lo que representa el 83,9 % del total.

Figura 1. Energía de uso directo del cultivo (MJ ha^{-1})



Fuente: elaboración propia.

Hay que destacar que este resultado se comporta similar al obtenido por Ocaña (2019) y Estrada (2022) en estudios realizados para el cultivo de pepino en la misma instalación, los cuales declaran valores asociados a la energía humana de 91,7 y 83,1 % , respectivamente.

Al analizar la tabla 1, se observa que el consumo más elevado de la energía de uso directo estuvo relacionado con las actividades de atenciones culturales con valor de $1\,692,1 \text{ MJ ha}^{-1}$, lo que representa el 49,9 % del total. Este resultado se corrobora con los obtenidos por estudios

realizados en el cultivo de pepino por Ocaña (2019) y Estrada (2022), quienes notificaron cuantías del 54,5 % y del 49,0 %, respectivamente.

Tabla 1. Energía de uso directo asociada al cultivo (MJ ha⁻¹)

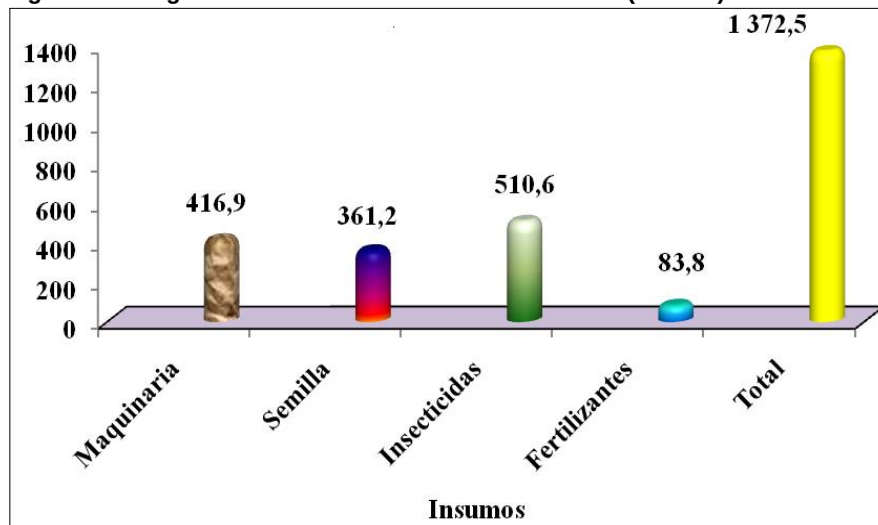
Tipo de energía	Laboreo	Plantación	Atención Cultural	Cosecha	Total
Asociada a la fuerza humana	380,2	526,6	1 651,4	241,1	2 799,3
Asociada al combustible	434,6	-	-	-	434,6
Asociada a la tracción animal	63,1	-	-	-	63,1
Asociada a la electricidad	0,7	-	40,7	-	41,4
Total	878,6	526,6	1 692,1	241,1	3 388,4

Fuente: elaboración propia.

Análisis de la energía de uso indirecto asociada al cultivo (MJ ha⁻¹)

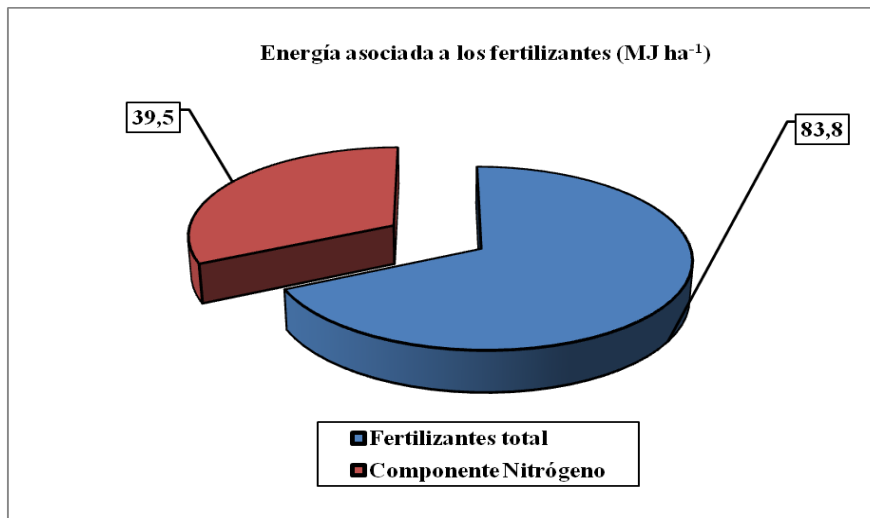
La energía de uso indirecto, como se muestra en la figura 2, asumió un valor de 1 372,5 MJ ha⁻¹, con la mayor cuantía asociada al uso de la maquinaria, con 416,9 MJ ha⁻¹, lo que representó el 30,4 % del total.

Esto corrobora los resultados alcanzados por Estrada (2022), quien indica un valor de 38,7 % pues en su investigación tuvo en cuenta la utilización de pocos insumos relacionados con los fertilizantes y productos químicos de bajos equivalentes energéticos. Señala que el componente nitrógeno fue el que más energía aportó dentro de la fertilización realizada al ciclo productivo del cultivo.

Figura 2. Energía de uso indirecto asociada al cultivo (MJ ha^{-1})

Fuente: elaboración propia.

Tal y como se muestra en la figura 3, el componente nitrógeno fue el que mayor cuantía aportó, teniendo en cuenta los fertilizantes aplicados en los que estuvo presente, lo que arrojó un valor de $39,5 \text{ MJ ha}^{-1}$, para el 47,1 % del total, lo que corrobora los resultado obtenidos por Estrada (2022) para el mismo cultivo bajo las mismas condiciones, quien notificó un 53,9 %.

Figura 3. Energía de uso indirecto asociada al componente nitrógeno (MJ ha^{-1})

Fuente: elaboración propia.

Se coincide, además, con lo planteado por diferentes autores de prestigio internacional, quienes reconocen que en los fertilizantes utilizados para las labores agrícolas, principalmente el nitrógeno libera casi la misma cantidad de carbono que el consumo de combustible fósiles.

Análisis del balance energético del cultivo

Como se observa en la tabla 2, en todo el proceso del cultivo de pepino la relación de entrada y salida de energía favoreció a la energía contenida (*output energy*), con valor de 33,8 GJ ha⁻¹, en relación con la consumida en el producto obtenido (*input energy*), la cual obtuvo un valor de 0,1 GJt⁻¹, lo que aportó un ratio de 7,1 y una eficiencia energética de 6,1.

Tabla 2. Balance energético del cultivo de pepino

Indicadores	UM	Total
Energía total consumida o entrada (<i>input</i>) por unidad de superficie	GJ ha ⁻¹	4,7
Energía consumida o entrada (<i>input</i>) por rendimiento agrícola	GJ t ⁻¹	0,1
Energía contenida o de salida (<i>output</i>)	GJ ha ⁻¹	33,8
Relación energética (ratio)	-	7,1
Eficiencia Energética Neta (NER)	-	6,1

Fuente: elaboración propia.

Los resultados corroboran los obtenidos por Estrada (2022), quien notificó los valores de estos indicadores en 7,2 y 6,2 y fueron catalogados de excelentes. Estos resultados se muestran muy superiores a los logrados por Ocaña (2019) para este cultivo en la misma unidad empresarial, quien reportó valores de relación energética (ratio) y eficiencia (NER) de 2,6 y 1,6, respectivamente.

Análisis de las emisiones de dióxido de carbono (Eco₂) a la atmósfera

En la tabla 3 se reflejan los valores de CO₂ emitidos a la atmósfera, los cuales se encuentran relacionados con las diferencias de cuantía de energía aportadas al sistema por los fertilizantes y los productos químicos. Estos resultados son análogos a los obtenidos en unidades

de energía, ya que estas se transforman en las anteriores al multiplicarlas por una constante, 73,95 kg Eco₂.

Tabla 3. Emisiones de dióxido de carbono (Eco₂) a la atmósfera

Indicadores de emisiones de CO₂	Valores obtenidos
Relación de salida y entrada de dióxido de carbono (Eco ₂)	7,1
Sostenibilidad de emisiones de dióxido de carbono (NER CO ₂)	6,1

Fuente: elaboración propia.

Valoración económica

La casa de cultivo donde se realizó la investigación aportó un volumen de producción de 2,3 t, para un rendimiento agrícola del cultivo de 42,3 t ha⁻¹, siendo este superior a los rendimientos medios alcanzados a nivel mundial (30 a 35 t ha⁻¹). Teniendo en cuenta que el precio del kilogramo cosechado fue de 20,0 CUP, la casa logró un ingreso de 46 000,0 CUP. Por otra parte, el total de gastos incurridos (Anexo 1) en todo el proceso ascendió a 8 317,02 CUP, por lo que la ganancia obtenida fue de 37 682,98 CUP.

Conclusiones

1. La energía de uso directo asumió un valor de 3 338,4 MJ ha⁻¹, con el 83,9 % asociado a la utilización de la fuerza humana, lo que representa el 49,0 % de las actividades relacionadas con las atenciones culturales.
2. La energía de uso indirecto tuvo un comportamiento de 1 372,5 MJ ha⁻¹, asociada la mayor cuantía a la maquinaria, con valor de 416,9 MJ ha⁻¹, lo que representó el 30,4 % del total.
3. El componente nitrógeno fue el que más energía aportó dentro de los fertilizantes aplicados, con una cuantía de 39,5 MJ ha⁻¹, lo que representa el 47,2 del total.
4. La relación de entrada y salida de energía (ratio) arrojó un valor de 7,1 y una eficiencia energética (NER) de 6,1, catalogadas ambas de excelentes. El mismo comportamiento se obtuvo al considerar las emisiones de dióxido de carbono (Eco₂) a la atmósfera.

5. El cultivo alcanzó un volumen de producción de 2,3 t, con un ingreso de 46 000,0 CUP, para una ganancia de 37 682,98 CUP.

Referencias bibliográficas

- Bowers, W. (1992). Agricultural Field Equipment. In: Fluck, R.C. (Ed.). (2012). *Energy in Farm Production*. Elsevier. <https://shop.elsevier.com/books/energy-in-farm-production/fluck/978-0-444-88681-1>
- Estrada, M. (2022). *Balance energético del cultivo de pepino (Cucumis sativus L.), bajo condiciones protegidas en el periodo 2022*. [Tesis de grado, Universidad de Granma]
- Hernández, A., Pérez, J. M., Bosch, D. & Castro, N. (2019). La clasificación de suelos de Cuba: énfasis en la versión de 2015. *Cultivos Tropicales*, 40(1). <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v40n1/1819-4087-ctr-40-01-e15.pdf>
- López, J., Rodríguez, J. C., Huez, M. A., Garza, S., Jiménez, J. & Leyva, E. I. (2011). Producción y calidad de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de invernadero usando dos sistemas de poda. *IDESIA*, 29 (2). <https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v29n2/art03.pdf>
- Marrero, S., Guzmán, D., González, I., León, M. A. & León, M. A. (2021). Eficiencia energética de un invernadero: Un estudio práctico de aplicación de un controlador multifrecuencia en un entorno multivariable. *Brazilian Journal of Development*, 7(6). <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/download/31286/pdf/79997>
- Ministerio de la Agricultura. (MINAG). (2005). *Norma Ramal/NRAG-XX1. Máquinas agrícolas y Forestales. Metodología para la evaluación tecnológica-explotativa*. La Habana.
- Ministerio de la Agricultura. (MINAG). (2023). *Balance de Trabajo de la Delegación Provincial de la Agricultura*. Bayamo. Granma.

Ocaña, Y. E. (2019). *Balance energético del cultivo de pepino (Cucumis sativus L.) en la UEB Cultivos Protegidos y Semiprotegidos de Veguitas*. [Tesis de grado, Universidad de Granma].

Olivet, E. F., Ortiz, A. E. & Ocaña, Y. E. (2019). Balance energético del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), bajo condiciones protegidas. *Revista Granmense de Desarrollo Local, REDEL*, 3(4). <https://revistas.udg.co.cu/index.php/redel/article/view/1140/2028>

Anexo 1. Total de gastos incurridos

Denominación	U M	Valor	Total	Observaciones
Salario del boyero (dos)	CUP	150,0	300,0	El surcado se realizó en un mes.
Salario del casero	CUP	2 810,0	2 810,0	Un mes de salario devengado.
Salario del operador del tractor	CUP	2 600,0	2 600,0	La labranza se realizó en un mes.
Z humus	CUP L ⁻¹	19,0	7,03	Dosis de 0,37 L ha ⁻¹ (una aplicación).
Mudra Extra	CUP kg ⁻¹	588,0	752, 64	Dosis de 0,64 kg ha ⁻¹ (dos aplicaciones).
Nutrisol	CUP kg ⁻¹	11,01	30,47	Dosis de 2,77 kg ha ⁻¹ (una aplicación).
Microorg. eficiente	CUP L ⁻¹	40,0	46,0	Dosis de 1,15 L ha ⁻¹ (una aplicación).
Fitomas	CUP L ⁻¹	5,0	0,9	Dosis de 0,18 L ha ⁻¹ (una aplicación).
Macron	CUP	1 816,3	1 343,84	Dosis de 0,74 L ha ⁻¹ (una aplicación)
Kospi	CUP	184,48	273,03	Dosis de 0,74 L ha ⁻¹ (dos aplicaciones).
Costo del combustible	CUP L ⁻¹	14,32	151,79	Se consumió 10,6 L en la labranza.
Costo de electricidad	Kw h ⁻¹	6,61	1,32	Se consumió 0,2 Kw h ⁻¹ en la casa.
Total de gastos	CUP		8 317,02	

Fuente: elaboración propia.