

## ENERGÍA RENOVABLE

### ARTÍCULO ORIGINAL



<https://eqrcode.co/a/IbK41S>

# Viabilidad económica del riego por aspersión semiestacionario a pequeña escala utilizando energía fotovoltaica

## *Semi Stationery Sprinkling Irrigation Economical Feasibility with Photovoltaic Energy in Small Scale*

Dr.C. Roberto Martínez-Varona\*

Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba.

**RESUMEN.** La disponibilidad y los costos del agua, los sistemas de riego y la energía son elementos de suma importancia que limitan la expansión del riego en muchas áreas agrícolas. El uso de las fuentes renovables de energía y específicamente la fotovoltaica, se ha visto como una solución a corto plazo a esta última limitante. Sin embargo, aunque aparentemente las alternativas tecnológicas existentes pueden satisfacer por esta vía la potencia demandada por cualquier tipo y tamaño de electrobomba, son muchos los factores que deciden la rentabilidad de estas alternativas en el caso del riego. El presente trabajo tuvo como objetivo analizar uno de estos factores; el efecto del tamaño del sistema de riego en la viabilidad económica de esta tecnología. Para el mismo fueron diseñados cinco sistemas modulares de una, dos, tres, cuatro y cinco hectáreas, con sus respectivos arreglos fotovoltaicos, los cuales fueron evaluados económicamente. Los resultados indican que, aunque existe un incremento de la inversión inicial y los costos de explotación por economía de escala, los costos del kilowatt fotovoltaico instalado y por tanto del bombeo de agua anual, tienden a disminuir en la medida que se incrementa el área, con valores que oscilaron entre 24,8 MCUP/kWp en el módulo de 1 hectárea, hasta 23,3 MCUP/kWp en el de 5 hectáreas. En correspondencia con esto fue la variante más pequeña (1 ha) no rentable, al mostrar utilidades después de impuesto negativa, con pérdidas de 21,8 MCUP/año, así como relación B/C inferior a 1.

**Palabras clave:** energía renovable, irrigación, rentabilidad agrícola.

**ABSTRACT.** The availability and costs of water, irrigation systems and energy are extremely important elements that limit the expansion of irrigation in many agricultural areas. The use of renewable sources of energy and specifically photovoltaic, has been seen as a short-term solution to this last limitation. However, although apparently the existing technological alternatives can satisfy in this way the power demanded by any type and size of electric pump, there are many factors that decide the profitability of these alternatives in the case of irrigation. The present work aimed to analyze one of these factors; the effect of the size of the irrigation system on the economic viability of this technology. Five modular systems of one, two, three, four and five hectares were designed for it, with their respective photovoltaic arrangements, which were economically evaluated. The results indicate that although there is an increase in the initial investment and operating costs due to economies of scale, the costs of the photovoltaic kilowatt installed and therefore of the annual water pumping, tend to decrease as the area increases, with Values that ranged from 24.8 MCUP/kWp in the 1-hectare module, to 23.3 MCUP/kWp in the 5-hectare module. Corresponding to this, the smallest variants (1 ha) were unprofitable, showing profits after negative tax, with losses of 21.8 MCUP/year, as well as a B/C ratio of less than 1.

**Keywords:** Renewable Energy, Irrigation, Agricultural Reantability.

## INTRODUCCIÓN

A través del tiempo el riego como práctica agrícola, ha demostrado ser un potenciador de la productividad, la calidad y la rentabilidad de los cultivos dentro del Agronegocio. Sin embargo, la disponibilidad y los costos del agua, los sistemas

\*Autor para correspondencia, Roberto Martínez-Varona, e-mail: roberto.martinez@boyeros.iagric.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2259-0139>

**Recibido:** 02/12/2020.

**Aprobado:** 23/07/2021.

Martínez-Varona: Viabilidad económica del riego por aspersión semiestacionario a pequeña escala utilizando energía fotovoltaica de riego y la energía han sido limitantes en la expansión de esta práctica en muchas de las áreas cultivables del mundo. De acuerdo con la FAO (2018), solo alrededor del 20% de la tierra agrícola se encuentra bajo riego a nivel mundial, no obstante, contribuyen estas a obtener cerca del 40% de la producción total de alimentos.

El cambio climático con las alteraciones que está produciendo en la distribución espacial y temporal de las lluvias a nivel global, obliga a incrementar las áreas con sistemas de riego y drenaje, si se pretende alcanzar la soberanía alimentaria a la que aspiran muchos países. FAO (1999), citado por Mossande *et al.* (2015), estima que el 60% de los alimentos extras requeridos para garantizar la alimentación mundial en el futuro tendrán que provenir de la agricultura bajo riego. Sin embargo, de acuerdo con Lorenzo *et al.* (2018), el riego agrícola es una actividad que requiere grandes consumos de agua, la mayoría de la cual debe ser bombeada desde depósitos subterráneos: esto se traduce en una importante demanda de electricidad.

En los últimos años, el uso de las fuentes renovables de energía y específicamente la fotovoltaica, ha sido vista como una solución a corto plazo a la limitante de los costos y disponibilidad de energía para el riego, sobre todo en zonas aisladas, donde no se cuenta con redes eléctricas o éstas no garantizan la calidad necesaria para el riego y solo se puede depender directamente de combustibles fósiles. No obstante, de acuerdo con Salazar *et al.* (2016), el uso indiscriminado de combustibles fósiles, así como los procesos industriales usados para producir energía eléctrica, han colaborado con el calentamiento global, por la emisión de CO<sub>2</sub>. Actualmente plantea, la utilización de la energía solar, ha suscitado la atención de especialistas en diferentes disciplinas científicas, para buscar otras fuentes de energía. De acuerdo con él, el uso de energía solar en el suministro de energía eléctrica es una alternativa para reducir en un 60% el consumo de la energía eléctrica obtenida de materiales fósiles.

Sin embargo, aunque aparentemente las alternativas tecnológicas fotovoltaicas existentes pueden satisfacer por esta vía la potencia demandada por cualquier tipo y tamaño de electrobomba, son muchos los factores que deciden la rentabilidad de estas alternativas en el caso del riego, por lo que conocer el impacto de cada uno de ellos es fundamental para su diseño e implementación.

**De acuerdo con Camps y Jabardo (2019), el adecuado dimensionamiento de la producción energética de los paneles solares y las necesidades de riego son el fundamento del sistema.** Es importante plantear, adaptar y planificar la instalación de captación y riego a cada realidad, incluso aprovechando la parte del sistema que ya exista en la explotación agrícola, puesto que se debe ajustar el costo de la instalación. Este ajuste es indispensable para poder amortizar debidamente la inversión que supone el riego solar y ser competitivo respecto a otros sistemas.

Según la FAO (2018), evaluar hoy la viabilidad económica de un sistema de riego que utiliza energía solar requiere tener en cuenta una amplia gama de parámetros, entre ellos el tamaño y configuración del sistema, la capacidad y viabilidad del almacenamiento de agua, la profundidad del pozo, la lejanía del área y el tipo de suelo a regar. Los denominados “periodos

de amortización” para estas inversiones dependen de las condiciones citadas, de los cultivos y mercados.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la viabilidad económica de diferentes tamaños de sistemas de riego por aspersión semiestacionario con energía fotovoltaica, bombeo directo y en condiciones aisladas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplir con el objetivo trazado, fueron diseñados cinco sistemas de riego modulares de una, dos, tres, cuatro y cinco hectáreas, una más de las que tradicionalmente se utilizan en Cuba de forma modular, con sus respectivos sistemas fotovoltaicos, los cuales fueron evaluados económicamente.

### Descripción de los sistemas de riego (SR)

Con el fin de lograr solo el efecto del área y por tanto del tamaño del SR, fueron diseñados los mismos en áreas regulares en que todos los elementos restantes que pudieran influir en la rentabilidad fueron similares. En este sentido:

- Se asumió una topografía llana con pendiente cero.
- El suelo del lugar, con textura arcillosa y una pluviometría admisible de hasta 7,0 mm/h.
- Los cultivos escogidos para establecer una rotación que garantizara la necesidad de regar durante la mayor parte del año fueron los mismos, en todas las áreas.
- La fuente de abasto en todos los casos fue superficial, situada a 50 m del área de riego y con una carga estática entre el nivel del agua y el eje de las electrobombas horizontales a situar, de 5 metros.
- Todas las tuberías utilizadas fueron de Polietileno baja densidad (PEBD), con presión nominal (PN) y diámetro nominal (DN) según procediera.
- La velocidad del agua admisible en las tuberías conductoras y distribuidoras de hasta 90 mm de diámetro fue como máximo de 1,5 m/s, así como en las superiores a éste se aceptó hasta 2,3 m/s.
- En todos los casos se asumió el uso de dos regadores por sistema de riego.
- Todas las bombas utilizadas operaron con un voltaje de 220 v y corriente trifásica.
- La forma de instalación del SFV fue para bombeo directo y en condiciones aisladas sin el uso de baterías o seguidores.
- El modelo de gestión de la energía fue autoconsumo solar eléctrico, donde la energía generada y no consumida se pierde.
- Para los efectos de este trabajo se consideró un área para la colocación del sistema fotovoltaico (SFV), ajena al área de cultivo y no productiva.
- El mercado adoptado para la comercialización de los productos agrícolas fue el nacional.
- La fuente de financiamiento fue el capital propio del Empresario.
- Las formas y dimensiones de las áreas fueron las siguientes:  
1 hectárea - 100 m de ancho x 100 m de largo. (Cuadrada)  
2 hectáreas - 200 m de ancho x 100 m de largo. (Rectangular)

3 hectáreas - 200 m de ancho x 150 m de largo. (Rectangular)  
 4 hectáreas - 200 m de ancho x 200 m de largo. (Cuadrada)  
 5 hectáreas - 200 m de ancho x 250 m de largo. (Rectangular)

En la Tabla 1, se muestran los elementos agronómicos e hidráulicos utilizados por igual, para el diseño de todas las variantes evaluadas.

**TABLA 1. Elementos agronómicos e hidráulicos utilizados en los diseños**

Parámetros	UM	Cantidad				
Área a regar	hectáreas	1	2	3	4	5
Cultivos		Varios*				
Norma neta parcial	m <sup>3</sup> /ha	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00
Eficiencia de aplicación	%	85	85	85	85	85
Norma bruta parcial	m <sup>3</sup> /ha	282,35	282,35	282,35	282,35	282,35
Intervalo de riego	días	4	4	4	4	4
Aspersor utilizado		F - 46L (7/64 + 3/32) 23 <sup>0</sup>				
Caudal medio	LI/s	0,209	0,209	0,209	0,209	0,209
Presión de trabajo	mca	21,10	21,10	21,10	21,10	21,10
Radio mojado	m	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7
Espaciamiento	m	12 x12	12 x12	12 x12	12 x12	12 x12
Jornada de Riego	horas/día	6	6	6	6	6

\*Con el objetivo de tener ocupada la mayor parte del año las áreas y así hacer un mayor aprovechamiento de la energía producida, se planteó utilizar una rotación de cultivo con: Frijol (Kc = 1,05), Maíz (Kc = 0,94) y Tomate (Kc = 1,18), este último valor tomado para los diseños junto con una ETo punta = 5,1 mm/día.

El diseño de los sistemas de riego fue realizado teniendo en cuenta la metodología descrita por (Tarjuelo, 2005).

### Descripción de los sistemas fotovoltaicos (SFV)

A partir de las potencias demandadas por los equipos de bombeo de los diferentes SR, se diseñaron los correspondientes SFV. Para esto fueron seleccionados los paneles marcas A-xxxP GS-330, cuyas principales características físicas y eléctricas utilizadas en estos diseños se presentan en la Tabla 2. Estos SFV en todos los casos fueron situados próximos a las estaciones de bombeo y fuera del área de cultivo.

**TABLA 2. Características físicas y eléctricas del Módulo fotovoltaico A-xxxP GS-330 utilizadas en la investigación**

Dimensiones (mm)	1956 x 992 x 40
Potencia máxima (Pmax)	330 Wp
Corriente de cortocircuito (Isc)	9,30 A
Tensión de circuito abierto (Voc)	47,75 v
Corriente de máxima potencia (Imp)	8,70 A
Tensión de máxima potencia (Vmp)	37,95 v
Eficiencia del módulo (%)	17,01
Tolerancia de potencia (W)	0 / + 5

Para el diseño se tomó como referencia del recurso solar el potencial reportado por Mavilio y Sifontes (2013), citados por Díaz *et al.* (2017), existente en el municipio Cantarrana, de la provincia Cienfuegos, ubicado en los 22,5<sup>0</sup> de latitud norte y los 80,51<sup>0</sup> de longitud oeste, mostrados en la Figura 1.

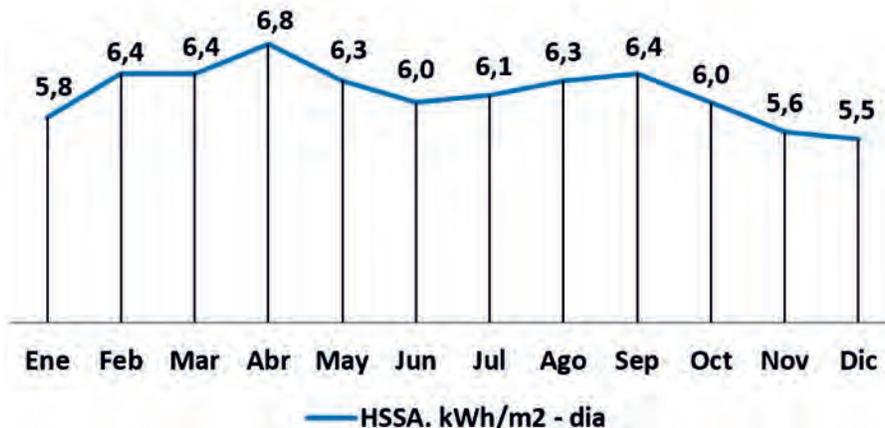


FIGURA 1. Distribución mensual de las horas de sol sobre arreglo (HSSA).

Martínez-Varona: Viabilidad económica del riego por aspersión semiestacionario a pequeña escala utilizando energía fotovoltaica

En este caso para el diseño de los SFV fue seleccionado el valor del mes más crítico (diciembre con 5,5 kWh/m<sup>2</sup>-día).

La metodología para el diseño de los arreglos FV se fundamentó en lo descrito por Lara (2007); Arceda y Hernández (2012) y Dávalos (2019).

### Evaluación económica

Para el análisis económico fueron determinados los valores de inversión inicial por separado, en cada uno de los SR y su

correspondiente SFV, a partir de los precios unitarios de cada parte, pieza y agregado (PPA) ofertados por el proveedor, los cuales fueron sumados posteriormente según variante, para conocer su monto total. Como quiera que estos precios fueron ofertados en USD, se transformaron a CUP, a través de la relación; 1 USD = 24 CUP.

Los costos de explotación fueron determinados en CUP, a partir de las siguientes partidas y procedimientos (Tabla 3):

**TABLA 3. Partidas y procedimientos para el cálculo de los costos de explotación**

Partidas	Procedimientos
<b>Sistemas de Riego</b>	
Salario de regadores (Dos por sistema)	Se calculó a partir de; el pago de 100 CUP/día <sup>(1)</sup> para una hectárea·24 días de trabajo·9,86 meses (300 días de riego) ·2 regadores. El salario fue considerado de 120 hasta 150 CUP/días a partir de 2 hectáreas.
Energía	Fue considerada cero para la operación de los sistemas de riego.
Agua	Gasto instalado (m <sup>3</sup> /día)·días de bombeo·0,018 <sup>(2)</sup> CUP/m <sup>3</sup> .
Mantenimiento del sistema	Fue considerado el 5% de la Inv. inicial.
Partes y piezas de repuesto	Fue considerado el 5% de la Inv. inicial.
Costos Indirectos	Fue considerado el 10% del costo de explotación.
Depreciación	Inversión inicial/10 años <sup>(4)</sup>
<b>Sistema Fotovoltaico</b>	
Gastos por operación y mantenimiento	Fue calculado a partir de la siguiente ecuación: 20 \$USD + (0.02 \$USD/Wp) por año. <sup>(6)</sup>
Depreciación	Inversión inicial/20 años <sup>(5)</sup>
<b>Agrotecnia (Costo de producción)</b>	
Gatos totales anuales por preparación del suelo, plantación, labores culturales y cosecha.	Frijol - 13 860 CUP/T <sup>(3)</sup> Maíz - 3 850 CUP/ <sup>(3)</sup> Tomate - 1 694 CUP/T <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Salario/día dado a los regadores por los empresarios agrícolas. <sup>(2)</sup> Fuente: MFP (Ministerio de Finanzas y Precios (2012) <sup>(3)</sup> Fuente: Comunicación personal Grupo Agrícola (GAG). Minag. <sup>(4)</sup> Fuente: Vida útil del SR para estos análisis según, Rodé (2016); Velasco (2017). <sup>(5)</sup> Fuente: Vida útil del SFV para estos análisis según; Lara (2007). <sup>(6)</sup> Fuente: Lara (2007).

En los Ingresos brutos sólo fueron tenidos en cuenta los correspondientes a la comercialización de los productos agrícolas (en CUP), toda vez que éstos son sistemas aislados donde la energía sobrante no fue comercializada, ni usada en otras actividades con fines de lucro.

Para determinar los mismos, fueron multiplicados los rendimientos esperados con riego en cada uno de los cultivos involucrados en la rotación (Frijol; 1,1 T/ha, Maíz; 2,5 T/ha y Tomate; 12 T/ha) <sup>(3)</sup>, por sus respectivos precios oficiales en el mercado nacional (Frijol; 19 800 CUP/T, Maíz; 6160 CUP/T y Tomate; 2420 CUP/T) <sup>(3)</sup>, valores éstos que fueron sumados para obtener el ingreso anual y multiplicados por las hectáreas de cada variante.

Los indicadores económicos utilizados en este trabajo fueron estimados a partir de las relaciones utilizadas por Martínez y Cisneros (2016):

$$\text{UNAI} = \text{Bbt} - \text{Ct} \dots \dots \dots (\text{CUP}) \quad (1)$$

$$\text{UNDI} = \text{UNAI} \cdot (100 - \text{I}) / 100 \dots \dots (\text{CUP}) \quad (2)$$

$$\text{B/C} = \text{Bbt} / \text{Ct} \quad (3)$$

$$\text{TR} = \text{Inv.} / \text{UNDI} \dots \dots \text{Años} \quad (4)$$

$$\text{Costo/kW} = \text{Inv. Inicial (Sólo SFV)} / \text{Wp instalado (CUP/kW)} \quad (5)$$

donde:

UNAI - Utilidades netas antes de impuesto

UNDI - Utilidades netas después de impuesto

Bbt - Ingresos brutos por venta de productos agrícolas

Ct - Costos totales de explotación del riego solar (SR+SFV + Agrotecnia).

I - Impuesto por utilidades (17,5 %)

Inv. = Inversión Inicial Total (SR+SFV)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Sistemas de riego

En las Tablas 4 y 5, se presentan los valores de los elementos agronómicos e hidráulicos obtenidos como resultado de los diseños modulares de riego por aspersión semiestacionario realizados con jornadas de riego de 6 horas por día.

En la Tabla 4 se observa, como el hecho de tener que acortar las jornadas de riego producto de las horas de sol disponibles, obligó a utilizar grandes longitudes de tuberías con diámetro de 110 mm y velocidades de hasta 2,3 m/s en las conductoras y distribuidoras, sobre todo en las variantes de 3, 4 y 5 hectáreas, lo cual no es lo usual en estos módulos cuando se diseñan para jornadas de 12 horas de riego diarias.

**TABLA 4. Características y longitudes de tuberías conductoras y distribuidoras utilizadas en los Sistemas de riego por aspersión semiestacionarios modulares diseñados**

Tuberías	UM	1 ha	2 ha	3ha	4 ha	5 ha
TUBERIA PEBD PN 4 Ø 50 mm	m	72	36	36	72	36
TUBERIA PEBD PN 4 Ø 63 mm	m	68	36			
TUBERIA PEBD PN 4 Ø 75 mm	m			36	36	
TUBERIA PEBD PN 4 Ø 90 mm	m		68		36	36
TUBERIA PEBD PN 4 Ø 110 mm	m			104	104	212
Totales por variante	m	140	140	176	248	284

Estos resultados como se muestra en la Tabla 5, estuvieron muy relacionados con el incremento del número de laterales necesarios regando simultáneamente, los cuales tuvieron un incremento acentuado con el aumento del área a beneficiar, con valores que oscilaron entre 4-10 laterales por sistema.

**TABLA 5. Características agronómicas e hidráulicas de los Sistemas de riego por aspersión semiestacionarios modulares diseñados**

Resultados	UM	Cantidad				
Área a regar	hectáreas	1	2	3	4	5
Intensidad de aplicación	mm/hora	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25
Tiempo de aplicación	horas	5,38	5,38	5,38	5,38	5,38
Tiempo de cambio	horas	0,12	0,19	0,19	0,19	0,19
Tiempo por posición	horas	5,50	5,57	5,57	5,57	5,57
Posiciones del lateral		18	18	24	32	40
Posiciones del lateral por día		1	1	1	1	1
Posiciones del lateral por ciclo		5	5	4	5	4
Número de aspersores por lateral		4	8	8	8	8
Laterales necesarios		4	4	6	7	10
Caudal requerido	L/s	3,36	6,72	10,08	11,76	16,80
Presión de la bomba	mca	31,00	32,04	32,29	35,69	36,00
Potencia requerida por la bomba*	kW	1,5	3,0	4,6	5,9	8,5

\*Con una eficiencia global de la EB = 0,70.

Como resultado de todo esto, los caudales se incrementaron con el tamaño del área, no siendo tan acentuado con respecto a la carga, la cual se incrementó levemente producto del dimensionamiento realizado en las conductoras y distribuidoras.

Como resultado de estos valores se observa que las potencias demandadas por los equipos de bombeo se incrementaron con valores entre 1,5 y 8,5 kW.

### Sistemas fotovoltaicos

A partir de la potencia demandada por cada equipo de bombeo y la mínima a garantizar por los SFV, fueron diseñados los diferentes arreglos FV, los cuáles según muestra la Tabla 6, incrementaron el número de hileras necesarias por hectáreas regadas, incremento que se reflejó en el número total de paneles de estos desde 6 a 36 unidades, con valores totales de Wp instalados de 1980 W (2,0 kW) a 11880 W (11,9 kW). Estas tendencias se corresponden con lo planteado por López *et al.* (2017), quien plantea que entre las variables que condicionan de manera más significativa la demanda de energía, se encuentra el tamaño medio de la explotación y las características del sistema de riego.

**TABLA 6. Características de los arreglos fotovoltaicos diseñados para los Sistemas de riego por aspersión semiestacionarios modulares**

Hectáreas	1	2	3	4	5
Potencia mínima a garantizar por el arreglo (kW)*	1,9	3,9	5,9	7,6	11,0
Número de módulos en serie	6	6	6	6	6
Número de módulos en paralelo	1	2	3	4	6

Hectáreas	1	2	3	4	5
Número total de módulos	6	12	18	24	36
Potencia ofertada por el SFV (kW)**	2,0	4,0	5,9	7,9	11,9

\*30% superior a la demandada, teniendo en cuenta las pérdidas producto de los cables, rendimiento del panel, altas temperaturas, polvo, etc., (Lara, 2007).

\*\*Obtenidos a partir de las potencialidades solares del sitio y las características eléctricas de los paneles utilizados.

### Evaluación económica

En la Tabla 7, se muestran los valores de inversión inicial de los sistemas de riego con energía fotovoltaica, los costos de explotación integrales de éstas y los ingresos logrados como resultado de la comercialización de los productos agrícolas obtenidos a través del año con la rotación de cultivo planteada.

Se observa que todos estos indicadores se incrementaron por economía de escala en la medida que se incrementó el área de cultivo evaluada, sin embargo no en la misma proporción en el caso de la inversión inicial y los costos de explotación. En la primera, producto del dimensionamiento y en el caso de la segunda, debido a los gastos de las diferentes partidas que no son todas proporcionales con el incremento de escala.

En la Figura 2, se ilustra la relación entre las hectáreas beneficiadas por el riego, el tamaño de los sistemas fotovoltaicos y el costo de los mismos. Se puede apreciar como al incrementarse la potencia máxima instalada (Wp) con el incremento del área bajo riego, los Wp aportados por cada arreglo fotovoltaico (SFV) crecieron a un ritmo superior al costo total, lo cual pudiera estar relacionado con el crecimiento inverso del costo de alguno de los componentes del sistema. De acuerdo con esto, Stolik (2015) plantea que el costo de los Wp de los inversores depende mucho de la potencia. El autor señala que para los inversores más grandes el costo puede estar por debajo de los 15 centavos de USD/Wp, mientras que para los inversores de menos potencia se va encareciendo el mencionado costo, pudiendo llegar a triplicarse.

**TABLA 7. Inversión inicial, Costos de explotación e Ingresos producidos por el Riego solar por aspersión semiestacionario modular en las áreas beneficiadas**

Hectáreas	Inversión Inicial (SR+SFV) \$MCUP	Costos de explotación (SR+SFV+Agrotecnia) \$MCUP	Ingresos por venta de productos \$MCUP
1	107.4	88.0	66.2
2	188.1	130.9	132.4
3	292.3	171.4	198.7
4	350.8	203.4	264.9
5	507.9	249.5	331.1

SR - Sistema de riego SFV - Sistema fotovoltaico



FIGURA 2. Relación entre las hectáreas beneficiadas, el tamaño del arreglo fotovoltaico y su costo.

Como resultado de esto se aprecia en la Figura 3, como el costo del Wp instalado tiende a disminuir en la medida que se incrementa el tamaño del área beneficiada con esta tecnología dentro del rango de hectáreas evaluadas, lo cual influyó de forma similar en el costo total del sistema de riego con energía FV, a pesar de que este último por sí solo si incrementa sus costos en la medida que crece la superficie (Figura 4).

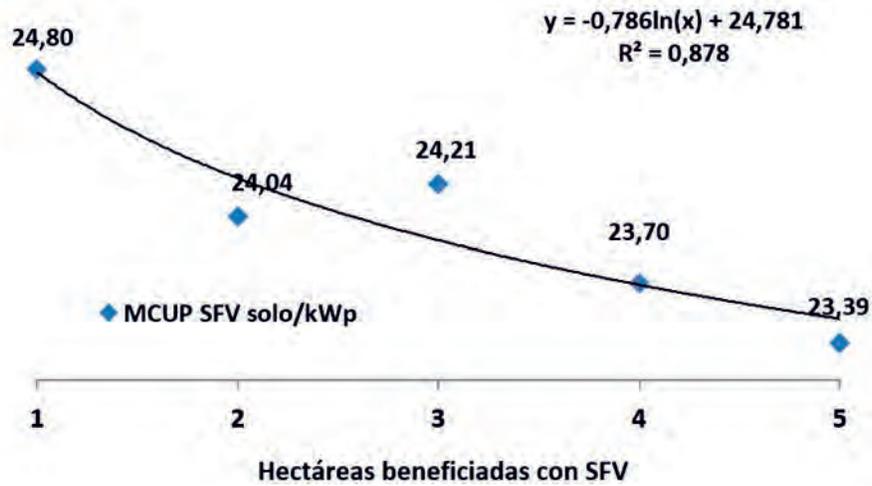


FIGURA 3. Costo del arreglo FV por kilowatt en función del tamaño del sistema.

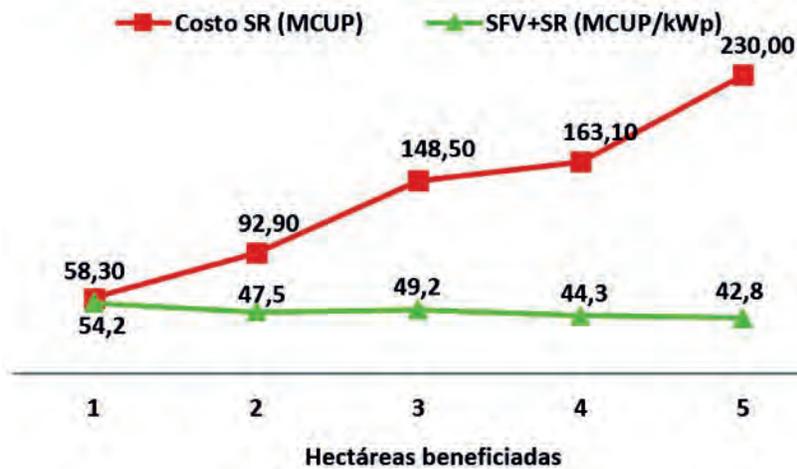


FIGURA 4. Relación entre las hectáreas beneficiadas, el costo del sistema de riego (SR) y el costo por kilowatt instalado de todo el sistema (SFV+SR).

Los resultados indican que, aunque existe un incremento de la inversión inicial y los costos de explotación por economía de escala, los costos del kilowatt fotovoltaico instalado y por tanto del bombeo de agua anual, tienden a disminuir en la medida que se incrementa el área, con valores que oscilaron entre 54.2 MCUP/kWp en el módulo de 1 hectárea, hasta 42.8 MCUP/kWp en el de 5 hectáreas.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Arancibia (2016), quien plantea que el tamaño del proyecto a desarrollar influye fuertemente en su costo de implementación sea este para una pequeña huerta o varias hectáreas. El autor comprobó como disminuía el costo de implementación del proyecto con el incremento de la potencia instalada, con valores que oscilaron de 192 UF/kWp (1 kWp para 1 ha) hasta 93 UF/kWp (10 kWp para 10 ha). Según él, la máxima economía de escala se puede encontrar en proyectos con una potencia instalada superior a los 10 kWp. El mismo autor plantea, que no solo se debe valorar el costo del sistema en base a la potencia de la bomba, sino la reducción efectiva del **costo por litro de agua regada** en fun-

ción de las necesidades del cultivo y su duración en el tiempo.

La tendencia analizada permite apreciar como el costo del agua bombeada puede ser menor en la medida que aumenta el área, lo que demuestra que a la vez que crece el área se necesita invertir menos para bombear el agua que necesitamos (m<sup>3</sup>/día), cuestión ésta que ayuda al incremento de la rentabilidad al disminuir de forma relativa el financiamiento necesario, los intereses a pagar en caso de créditos, la depreciación y todos los costos de explotación asociados al tamaño del sistema.

Como resultado de todo lo anterior se observa en la tabla 8, como las variantes más pequeñas (1 y 2 ha), no fueron viables, al mostrar utilidades después de impuesto (UNDI) negativa en el primer caso, con pérdidas de 21.8 MCUP/año y en el segundo con tiempo de recuperación de 125,4 años, valor este muy superior al tiempo de vida útil del SFV, estimado entre los 20-25 años. La variante 3 ha, aunque tuvo estos indicadores positivos no fueron suficientes, debido a que mostró un tiempo de recuperación superior a los 10 años, valor éste considerado como tope de vida útil de los SR en los análisis económicos

Martínez-Varona: Viabilidad económica del riego por aspersión semiestacionario a pequeña escala utilizando energía fotovoltaica de estas tecnologías (Rodé, 2016; Velasco, 2017), lo que hace a ésta una variante rentable, pero no atractiva. En correspondencia con esto, fueron las variantes mayores (4 y 5 ha), las que mejores resultados alcanzaron con UNDI de 61.5 y 81.6 MCUP / año, B/C = 1.3 y TR entre 5,7 - 6,2 años.

**TABLA 8. Indicadores económicos del Riego por aspersión semiestacionario modulares con energía FV, en las áreas beneficiadas**

Hectáreas	UNDI (MCUP)	B/C	TR (años)
1	-21.8	0.75	-4.9
2	1.5	1.01	125.4
3	27.3	1.16	10.7
4	61.5	1.30	5.7
5	81.6	1.33	6.2

## CONCLUSIONES

- El incremento del área a beneficiar con sistema de riego por aspersión semiestacionaria con energía fotovoltaica, aunque aumenta los costos de inversión y explotación, tienden a disminuir el costo del kWp instalado, lo que facilita su viabilidad económica, al bombear la misma agua que la precedente con menos costo de inversión y obtener mayores ingresos por más producción obtenida.
- Dentro de las condiciones fijadas en este trabajo, fueron las variantes de cuatro y cinco hectáreas las mejores desde el punto de vista económico, lo cual muestra una tendencia a ser más viable invertir en sistemas modulares grandes (en este caso hasta 5 hectáreas), que pequeños.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARANCIBIA, G.: Evaluación económica del riego fotovoltaico aislado, [en línea], Info, marzo de 2016, Disponible en: Info@elementalenergy.cl, [Consulta: 24 de noviembre de 2019].
- ARCEDA, R.M.; HERNÁNDEZ, D.A.: Proyecto de riego por goteo utilizando energía solar, para el cultivo de Aguacate en la finca Ojo de agua, en la localidad de San Francisco Libre, Universidad Nacional de Ingeniería, Trabajo monográfico (como requisito para optar al título de Ingeniero Agrícola), Managua, Nicaragua, 118 p., 2012.
- CAMPS, F.; JABARDO, M.: Instalaciones de riego por goteo con energía solar, [en línea], Innovagri, mayo de 2019, Disponible en: <https://www.innovagri.es> › investigación-desarrollo-innovación › instalación, [Consulta: 24 de noviembre de 2019].
- DÁVALOS, J.: Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola en el caserío La Guayaba, Universidad Nacional de Jaén, Tesis (para optar al título de profesional de Ingeniero Mecánico Electricista), Perú, 58 p., 2019.
- DÍAZ, S.R.; SANTOS, A.; CASTRO, M.: “Influencia del ángulo de inclinación de los módulos solares en la generación de electricidad de una central fotovoltaica”, [en línea], En: VII Conferencia Internacional Ciencia y Tecnología por un Desarrollo Sostenible, 2017, Disponible en: [www.researchgate.net/publication/317949936](http://www.researchgate.net/publication/317949936), [Consulta: 24 de noviembre de 2019].
- FAO: Buenas perspectivas para los sistemas de riego con energía solar, [en línea], FAO, abril de 2018, Disponible en: [www.fao.org/news/story/item/icode](http://www.fao.org/news/story/item/icode), [Consulta: 24 de noviembre de 2019].
- LARA, Y.F.A.: Diseño de un sistema de riego por medio de energía solar, a través de paneles FV, Universidad Austral de Chile, Trabajo de Diploma (para optar al Título de Ingeniero Mecánico), Chile, 149 p., 2007.
- LÓPEZ, L.R.; MARTÍNEZ, J.; RECA, J.; RUIZ, R.: “Análisis de viabilidad y gestión del riego en invernaderos mediterráneos con energía solar fotovoltaica”, Ribagua, 4(2): 74-83, 2017, ISSN: 2386-3781.
- LORENZO, N.C.; TEVES DE ALMEIDA, R.H.; MARTÍNEZ, N.M.; NARVARTE, F.L.; CARRASCO, M.L.M.: “Viabilidad económica de sistemas de riego fotovoltaico de alta potencia en la región de ECOWAS”, En: XVI Congreso Ibérico y XII Congreso Iberoamericano de Energía Solar, 20-22 junio, 2018, Madrid, España, 2018.
- MARTÍNEZ, V.R.; CISNEROS, Z.E.: “Viabilidad económica del riego localizado en el cultivo del café”, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 25(2): 44-50, 2016, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- MFP (MINISTERIO DE FINANZAS Y PRECIOS): Ministerio de Finanzas y Precios: Resolución 421/2012, Inst. Ministerio de Finanzas y Precios, La Habana, Cuba, 17 p., 2012.
- MOSSANDE, A.R.; BROWN, M.O.; MUJICA, C.A.; MATA, R.C.; OSORIO, L.I.: “Riego por goteo con energía solar para el tomate en Cavaco, Benguela, Angola”, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 24(2): 11-17, 2015, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- RODÉ, G.O.E.: Diseño de Sistema de Regadío en zona rural con energía solar fotovoltaica, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Informe de proyecto de título (para optar al Título de Ingeniero Civil), Chile, 88 p., 2016.
- SALAZAR, P.A.; PICHARDO, S.A.; PICHARDO-S, S.U.: “La energía solar, una alternativa para la generación de energía renovable”, Revista de Investigación y Desarrollo, 2(5): 11-20, 2016.

Revista Ingeniería Agrícola, ISSN-2306-1545, E-ISSN-2227-8761, Vol. 11, No. 4 (octubre-noviembre-diciembre, pp. 16-24), 2021  
STOLIK, N.D.: "Influencia de los costos de capital en el costo del kWh FV. Actualización 2015", Publicación CITMA-MINEM, Boletín informativo «Renovable.cu», No.3, 3: 1-4, marzo de 2015, ISSN: 2219-619.  
TARJUELO, J.M.M.B.: El riego por Aspersión y su Tecnología, Ed. Mundi-Prensa, 3ra. ed., Madrid, España, 2005, ISBN: 84-8476-225-4.  
VELASCO, C.J.: Cosecha de energía fotovoltaica para uso en riego, [en línea], Redagricola, febrero de 2017, Disponible en: [www.redagricola.com](http://www.redagricola.com), [Consulta: 9 de diciembre de 2019].

*Roberto Martínez-Varona*, Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: [roberto.martinez@boyeros.iagric.cu](mailto:roberto.martinez@boyeros.iagric.cu) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2259-0139>

El autor de este trabajo declara 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

