



ARTÍCULO ORIGINAL

<https://cu-id.com/2284/v13n1e02>

# Viabilidad económica de diferentes técnicas de riego presurizado a pequeña escala con bombeo fotovoltaico

## *Economical Feasibility of Different Small Scale Pressure Irrigation Techniques with Photovoltaic Pumping*

Dr. C. Roberto Martínez-Varona<sup>1</sup>

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

**RESUMEN.** La técnica de riego utilizada, es uno de los factores de los cuales depende la viabilidad económica de esta práctica con energía solar. El presente trabajo tuvo como objetivo analizar este factor, a partir del diseño y evaluación económica de tres de estas técnicas (goteo, aspersión semiestacionaria y enrolladores) con sus respectivos sistemas fotovoltaicos, utilizando para la misma un área regular de cinco hectáreas con cultivos hortícolas, en condiciones aisladas y con bombeo directo. Los resultados indican que la técnica de riego por goteo, por su menor demanda energética y la mayor factibilidad para mantener en el suelo superiores potenciales de humedad, lo que repercute en mayores rendimientos agrícolas, pudiera ser de hecho la más atractiva económicamente, aunque su alto costo de inversión inicial puede afectar alguno de los indicadores. En correspondencia con esta hipótesis, fue la alternativa de riego por goteo la que mayores utilidades netas después de impuesto (UNDI) obtuvo con valores de 122.3 MCUP/año y relación beneficio-costo (B/C) igual a 1,20, aunque con tiempo de recuperación de la inversión (TR) de 7,54 años, superior a la aspersión semiestacionaria que alcanzó un TR=4,77 años, pero con una UNDI de sólo 95.8 MCUP/año y una relación beneficio-costo (B/C) igual a 1,18. En este caso la alternativa de usar enrolladores no resultó rentable.

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

**ABSTRACT.** Irrigation technique used is one the requirements depending on economic feasibility of this practice with solar energy. The present paper was aimed at analyzing this issue beginning with the design and economical evaluation of three of these techniques (drip, semi stationary sprinkling and gun travelling) with their photovoltaic systems, using for the same regular area of 5ha with horticultural crops in isolation conditions and direct pumping. Results show that drip irrigation because of, its lower energetic demand and upper feasibility to keep the soil in better moisture conditions, which favors greater agricultural yields could be the most attractive option economically, though its expensive initial investment that could affect some indicators. According to this hypothesis, it was drip irrigation the choice of higher net benefits after tax (UNDI) getting values of 122.3 MCUP/year and benefit-cost relation (B/C) equal to 1.20 with recovering time of the investment (TR) of 7.54 years, greater than semi stationary sprinkling achieving a TR = 4.77 years, but with an UNDI of just 95.8 MCUP/year and benefit-cost relation (B/C) equal to 1.18. In this case, the use of gun travelling technique was not profitable.

**Keywords:** Solar Energy, Irrigation, Agriculture Profit.

## INTRODUCCIÓN

El uso de las fuentes renovables de energía y específicamente la fotovoltaica (FV), son sin duda una solución a corto plazo para la limitante de los costos y la 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 bombeo a los sistemas de riego y solo se puede depender directamente de combustibles fósiles (Martínez, 2021). Según Salazar et al. (2016), el uso indiscriminado de combustibles fósiles, así como los procesos industriales usados para producir energía

<sup>1</sup> Autor para correspondencia: Dr. C. Roberto Martínez-Varona, e-mail: roberto.martinez@iagri.minag.gob.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2259-0139>

**Recibido:** 10/03/2022.

**Aprobado:** 09/12/2022.

Martínez-Varona: Viabilidad económica de diferentes técnicas de riego presurizado a pequeña escala con bombeo fotovoltaico

eléctrica, han colaborado con el calentamiento global, por la emisión de CO<sub>2</sub>. El mismo autor plantea, que actualmente 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 energía eléctrica obtenida de materiales fósiles.

Sin embargo, aunque aparentemente las alternativas tecnológicas existentes pueden satisfacer por esta vía la potencia demandada por cualquiera tipo y tamaño de electrobomba, son muchos los factores que deciden la rentabilidad de estas alternativas en el caso del riego solar, por lo que conocer el impacto de cada uno de ellos es fundamental para su diseño e implementación (Martínez, 2021). De acuerdo con Camps & Jabardo (2019), el adecuado dimensionamiento de la producción energética en los paneles solares con las necesidades de riego es 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.

No obstante ser ésta una tecnología de generación eléctrica modular y escalable, que pudiera ser utilizada en cualquiera de las técnicas de riego actuales, existe en algunos casos la tendencia a su utilización principalmente en áreas reducidas con sistemas de riego localizado, lo cual generalmente demanda menores presiones hidráulicas y costos de inversión inicial en los arreglos FV, así como produce determinado incremento de los rendimientos en los cultivos por la alta frecuencia de riego y el mantenimiento de mayores potenciales hídricos en el suelo (Martínez, 2021). Sin embargo el otro componente de la inversión inicial del riego con energía fotovoltaica que es el costo del sistema de riego, en el caso del localizado es uno de los mayores por hectárea, lo cual puede dar al traste con la rentabilidad que es preciso valorar para decidir que alternativa de riego utilizar en los diferentes escenarios.

Aunque no se enumeran todos los factores, la FAO (2018) señala algunos de ellos al plantear que, 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. De igual forma Campana et al. (2015) plantea, que el diseño y la operación adecuada depende de la irradiación solar disponible, los recursos hídricos, la demanda de agua del cultivo y el beneficio correspondiente a la venta del cultivo.

En este sentido, el presente trabajo tiene como finalidad

contribuir al análisis desde el punto de vista económico, de uno de los muchos factores que determinan esta viabilidad, en este caso el tipo de técnica de riego a utilizar en un escenario con bombeo directo y en condiciones aisladas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplir con el objetivo trazado, fueron diseñados tres sistemas de riego presurizados modulares de cinco hectáreas cada uno, alimentados con energía fotovoltaica (FV).

Con el fin de lograr solo el efecto de la técnica de riego utilizada, fueron diseñados los mismos en áreas regulares en que todos los elementos restantes que pudieran influir en la rentabilidad fueran similares. En este sentido:

- Se asumió un área modular de cinco ha (200 m de ancho x 250 m de largo), con una topografía llana y pendiente cero.
- El suelo del lugar, con una textura areno-arcillosa y una pluviometría admisible de hasta 15.0 mm/h.
- Los cultivos escogidos para establecer una rotación que garantizara la necesidad de regar durante la mayor parte del año fueron los mismos para cada sistema. (frijol - maíz - tomate).
- 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 m.
- Todas las tuberías utilizadas fueron de PVC, excepto los laterales donde se utilizó PE y las distribuidoras de SR por goteo, con PN y DN según procediera.
- La velocidad del agua admisible en todas las tuberías conductoras y distribuidoras fue como máximo de 2,2 m/s.
- En todos los casos se asumió el uso de dos regadores por sistema de riego.
- Las bombas utilizadas operaron con voltajes de 220 v ó 380 v en función de las potencias demandadas y las ofertas del mercado. La corriente en todos los casos fue trifásica.
- La forma de instalación del SFV fue en condiciones aisladas, autónoma y con bombeo directo.
- La forma de gestión fue la de un autoconsumo eléctrico, en el cual la energía generada y no consumida se pierde.
- El mercado adoptado para la comercialización de los productos agrícolas fue el nacional.
- La fuente de financiamiento fue el capital propio del empresario.

Las técnicas de riego evaluadas fueron las siguientes:

1. Riego por goteo superficial
2. Riego por aspersión semiestacionario.
3. Riego mediante enrolladores.

### Características de los sistemas de riego diseñados (SR)

En la Tabla 1, se presentan los principales elementos agronómicos e hidráulicos que fueron utilizados para el diseño de las diferentes variantes de técnicas de riego a comparar, en función de conocer la de mayor viabilidad económica con el uso de la energía FV.

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

Técnica de Riego	UM	Goteo	Aspersión SE	Enrollador
Parámetros			Cantidad	
Dosis neta parcial*	m <sup>3</sup> /ha	60,00	240,00	240,00
Eficiencia de aplicación	%	90	85	75
Dosis bruta parcial	m <sup>3</sup> /ha	66,66	282,35	320,00
Intervalo de riego	días	1	4	4
Emisor utilizado		Multibar **	F-46L (7/64 + 3/32)23 <sup>0</sup>	komet ***
Caudal medio	L/h	2,1	752,4	76800,0
Presión de trabajo	m.c.a.	10,0	21.1	65.0
Radio mojado	m	0,5****	11.7	59,1
Espaciamiento	m	0,8 (en hilera)	12 x12	84
Jornada de Riego	hora/día	6	6	6

\*\*Integrado y Autocompensante (ø lateral = 16 mm, K=2,0878, X= 0,0003). CU diseño = 0,90

\*\*\*Modelo: Twin 140 (qe = 76,8 m<sup>3</sup>/h, ø boquilla 28 mm)

\*\*\*\*Referido al bulbo húmedo.

\*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 ultimo valor tomado para los diseños junto con una ETo punta = 5.1 mm/día.

### Características 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 Poly DHP 72 - 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 la estaciones de bombeo, fuera del área de cultivo.

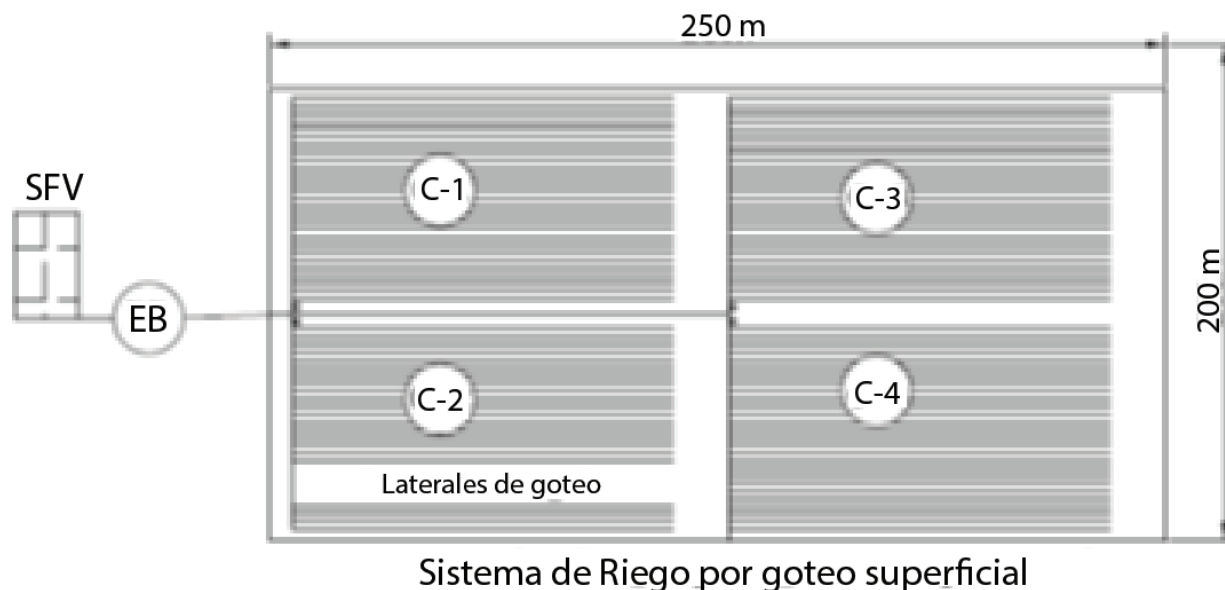
Para el diseño de los sistemas de riego fueron consultadas las metodologías descrita por Rodrigo et al. (1992) y Tarjuelo (2005).

En la Figura 1, se muestran esquemas de las formas en

que fueron diseñados y explotados los diferentes sistemas evaluados.

**TABLA 2. Características físicas y eléctricas del módulo fotovoltaico Poly DHP 72 - 330 utilizadas en la investigación**

Dimensiones	1956 x 992 x 35 mm
Potencia máxima (Pmax)	330 Wp
Corriente de cortocircuito (Isc)	9.38 A
Tensión de circuito abierto (Voc)	46.1 v
Corriente de máxima potencia (Imp)	8.85 A
Tensión de máxima potencia (Vmp)	37.3 v
Eficiencia del modulo	17.02 %
Tolerancia de potencia	0 ~ + 5 W



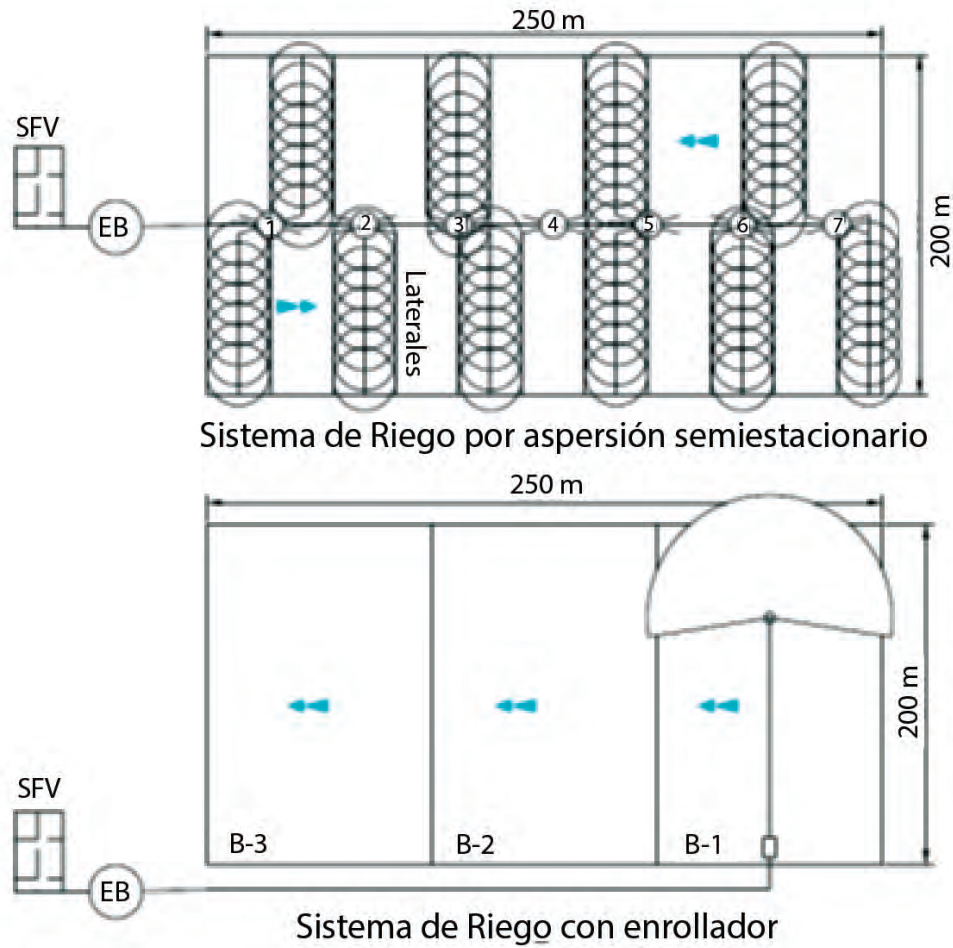


FIGURA 1. Esquemas de explotación de los sistemas evaluados Elaboración propia.

Para el diseño se tomo como referencia del recurso solar el potencial reportado por Mavilio y Sifontes (2013), citados por Díaz et al. (2018), existente en el municipio Cantarrana, de la provincia Cienfuegos, ubicado en los 22.5° de latitud norte y los 80.51° de longitud oeste, mostrados en la Figura 2.

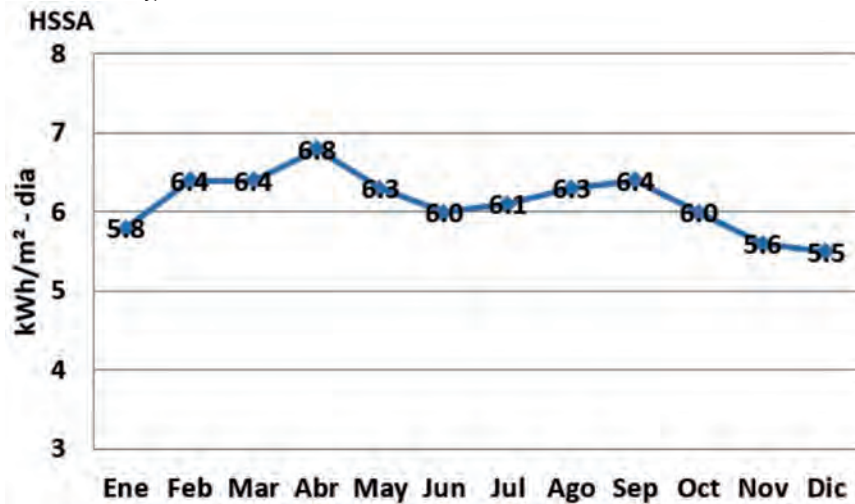


FIGURA 2. Distribución mensual de las horas de sol sobre arreglo (HSSA).

En este caso para el diseño de los SFV fue seleccionado el valor del mes más crítico (diciembre con 5.5 kWh/m² - día).

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

### 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:  
En la Tabla 3 se muestran las partidas y procedimientos para el cálculo de los costos de explotación.

**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 250 CUP/día <sup>(1)</sup> para una hectárea* 24 días de trabajo*10 meses* 2 regadores.
Energía	Fue considerada cero para la operación de los sistemas de riego.
Agua	Gasto instalado (m <sup>3</sup> /día)*días de bombeo*0,008 CUP/m <sup>3</sup> (tarifa para agua bombeada por el cliente para producción agropecuaria) <sup>(2)</sup> .
Mantenimiento del sistema	Fue considerado el 5% de la inv. inicial. para el riego por aspersión, 3% de la Inv. inicial para el goteo (Según Boman (2002) y para los enrolladores el 8% 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 considerada para su cálculo la relación; 20\$US + 0.02\$US/Wp al 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 - 18850 <sup>(3)</sup> CUP/t maíz - 8855 <sup>(3)</sup> CUP/t tomate - 3964 <sup>(3)</sup> CUP/t

<sup>(1)</sup>Salario/día dado a los regadores por los empresarios agrícolas.

<sup>(2)</sup>Fuente: (MFP-Cuba, 2021a) Ministerio de Finanzas y Precios. Resolución 83 (2021)

<sup>(3)</sup>Actualización de los datos a partir de los valores del 2020 (Grupo Agrícola (GAG), citados por Martínez (2021)"volume": "11", "author": [{"family": "Martínez", "given": "V R"}], "issued": {"date-parts": [{"2021"}]}}, "schema": "https://github.com/citation-style-language/schema/raw/master/csl-citation.json", con valores de inflación anual asumidos para los costos de explotación y comercialización del producto del 65%. (Valor anual 2021 = Valor anual 2020 x (1+0.65)<sup>1</sup>).

<sup>(4)</sup>Fuente: Vida útil del SR para estos análisis según, Rodé (2016) y Velasco (2017).

<sup>(5)</sup>Fuente: Vida útil del SFV para estos análisis según; (Lara, 2007).

<sup>(6)</sup>Fuente: Costo de explotación del SFV; (Lara, 2007).

<sup>(7)</sup>Fuente: MFP-Cuba (2021b) Ministerio de Finanzas y Precios. Resolución 84 (2021)

<sup>(8)</sup>Fuente: ONEI-Cuba (2020) Agricultura, ganadería y silvicultura. Edición 2020

En los ingresos brutos solo fueron tenidos en cuenta los correspondientes a la comercialización de los productos agrícolas (en CUP), toda vez que estos 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; 2.3 t/ha y tomate; 11.5 t/ha)<sup>(8)</sup>, por sus respectivos precios oficiales en el mercado nacional (frijol negro vendido a acopio; 26909 CUP/t, maíz seco en grano vendido en almacén del productor; 14156 CUP/t y tomate para la industria vendido en almacén del productor; 5674 CUP/t)<sup>(7)</sup>, valores estos que fueron sumados para obtener el ingreso anual y multiplicados por las cinco hectáreas de cada variante.

Los indicadores económicos utilizados en este trabajo se determinaron a partir de:

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

$$UNDI = UNAI \cdot \frac{(100-I)}{100} \text{ (CUP)} \tag{2}$$

$$B/C = \frac{Bbt}{Ct} \tag{3}$$

$$TR = \frac{Inv.}{UNDI} \text{ (año)} \tag{4}$$

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 (SFV+EB+SR) + agrotecnia;
- I - impuesto por utilidades ( 17.5 % );
- Inv. = Inversión Inicial Total (SFV+EB+SR) (La plantación

se incluyó en la agrotecnia por ser cultivos de ciclo corto y no plantaciones de ciclo largo).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Sistemas de riego

En la Tablas 4 y 5, se presentan los valores de los elementos agronómicos e hidráulicos obtenidos como resultados de los diseños modulares de cinco hectáreas, con riego por goteo, aspersión semiestacionaria y enrolladora, realizados con jornadas de riego de 6 horas diarias.

En la Tabla 4 se observa, como el hecho de tener que acortar las jornadas de riego producto de las horas de sol disponibles y mantener una velocidad del agua no superior a 2,2 m/s en las tuberías conductoras y distribuidoras, obligó a utilizar en las tres técnicas la mayor cantidad de éstas con diámetro de 110 y 125 mm, lo cual no es usual en áreas modulares pequeñas cuando se diseñan para jornadas de 12 horas de riego. Como consecuencia de esto se aprecia en esta misma tabla el peso que tuvo esta parte de la red en el costo total de cada sistema, lo cual influyó en el encarecimiento de las diferentes alternativas de riego sobre todo en la técnica de goteo donde alcanzó los 29.93 MCUP.

**TABLA 4. Características y longitudes de tuberías utilizadas en las conductoras y distribuidoras de los Sistemas de riego modulares diseñados con las diferentes técnicas**

Tuberías	UM	Goteo	Aspersión	Enrollador
TUBERIA PVC PN 6 Ø 50 mm	m		36	
TUBERIA PVC PN 6 Ø 90 mm	m		36	
TUBERIA PEBD PN 6 Ø 110 mm	m		212	
TUBERIA PEBD PN 4 Ø 110 mm	m	400		
TUBERIA PVC PN 6 Ø 125 mm	m	175		
TUBERIA PVC PN 10 Ø 110 mm	m			10
TUBERIA PVC PN 10 Ø 125 mm	m			258
Longitud total de tubería utilizada.	m	575	284	268
Costo de Inversión en tuberías*.	MCUP	29.93	13.25	12.34

\*Sin incluir laterales ni conexiones.

Como resultado de los diseños realizados se muestra en la Tabla 5, las características agronómicas e hidráulicas de las diferentes técnicas empleadas. Independientemente de las diferencias lógicas que existen entre ellas, en la siguiente tabla se presentan de forma comparativa con vista a facilitar su comparación visual.

**TABLA 5. Características agronómicas e hidráulicas de los sistemas de riego modulares diseñados, con las diferentes técnicas**

Técnica de Riego	UM	Goteo	Aspersión	Enrollador
Resultados			Cantidad	
Pluviometría	mm/h		5.25	14,15
Tiempo de aplicación por ciclo	h	5,18	23.32	24,00
Tiempo de cambio	h		0.21	1,00
Tiempo por posición	h	2,59	5.62	7,00
Posiciones de laterales		444	40	3**
Posiciones de laterales por día		444	1	0,85
Campos regados a la vez		2		1**
Numero de campos de riego		4		3**
Posiciones de laterales regando por ciclo		2	4	3
Numero de emisores por lateral		156	8	1
Laterales necesarios regando a la vez		222 *	10	1
Caudal requerido	L/s	20.15	16.80	21.33
Presión de la bomba	m.c.a.	25.41	36.00	86.01
Eficiencia global de la electrobomba		0.75	0.70	0.70
Potencia requerida por la bomba	kW	6.7	8.5	25.7
Tensión demandada	v	220	220	380

\* Cada campo o subunidad de riego tiene 111 laterales, con longitudes de 125 metros.

\*\*Posiciones del enrollador y/o número de bandas

Como resultado de todo esto, se observa que las potencias requeridas por los equipos de bombeo de cada técnica se incrementa a partir del riego por goteo (6,7 kW) hasta el enrollador (25,7 kW), más por la carga necesaria que por el gasto, los cuales no mostraron grandes diferencias.

### Sistemas fotovoltaicos (SFV)

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 cuales según muestra la Tabla 6, incrementaron el número de hileras necesaria de acuerdo con la

potencia demandada por cada sistema de riego, con valores de 5 para el goteo, 6 para la aspersión y 11 para el enrollador, hileras estas que multiplicadas por los 6 paneles en serie necesarios para garantizar la tensión necesaria (220 v) en los dos primeros y 10 paneles en el último (380 v), llevó los números totales de paneles a 30, 36 y 110 respectivamente, con valores totales de Wp instalados de 9900 W (9,9 kW) a 36300 W (36,3 kW). Estas tendencias se corresponde con lo planteado por López et al. (2017), quien señala entre las variables que condicionan de manera mas significativa la demanda de energía, en su caso de invernaderos, está 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 analizados**

Técnica de riego	Goteo	Aspersión	Enrolladores
Potencia mínima a garantizar por el arreglo (kW)*	8.7	11,0	33,4
Número de módulos en serie	6	6	10
Número de módulos en paralelo	5	6	11
Número total de módulos**	30	36	110
Potencia ofertada por el SFV (kW)	9,9	11,9	36,3

\*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 presentan los costos de inversión inicial de los sistemas de riego (incluye la electrobomba y la instalación del sistema), así como de los sistemas fotovoltaicos por separado. Como se puede apreciar de los tres sistemas analizados, fue la técnica de riego por goteo la que **mayor** costo de inversión inicial obtuvo con un valor de 689.8 MCUP producto de su complejidad estructural y el precio unitario de sus componentes, siendo a la vez la de **menor** costo de inversión con respecto al sistema fotovoltaico (189.3 MCUP) por la menor potencia demandada.

**TABLA 7. Costos independientes de inversión inicial por sistemas**

Inversión inicial MCUP (5ha)*	
<b>Goteo</b>	
SR + EB + Inst.	<b>689,8</b>
SFV + Inst.	<b>189,3</b>
Total	879,1
<b>Aspersión SE</b>	
SR + EB + Inst.	229,9
SFV + Inst.	226,5
Total	456,4
<b>Enrollador</b>	
SR + EB + Inst.	550,5
SFV + Inst.	631,0
Total	1181,5

\* A partir de precios unitarios del proveedor (dic. 2019).

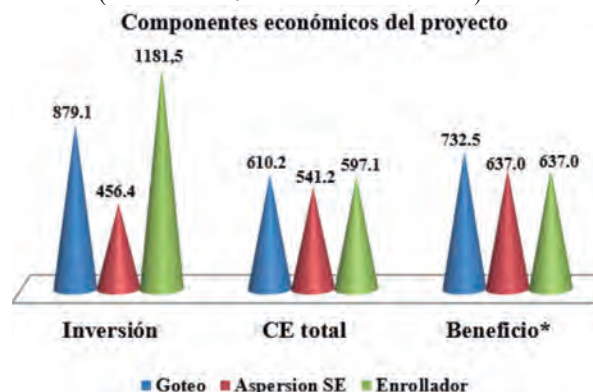
Los valores de los componentes del costo de explotación de las diferentes técnicas presentados en la Tabla 8, muestra al goteo como el de **mayor** costos de explotación con 90.0 MCUP/año, producto de su complejidad estructural, los materiales sintéticos que lo componen y la forma de instalación, que en este caso fue diseñada con laterales superficiales.

**TABLA 8. Valores de los componentes del costo de explotación (MCUP/año)**

	Goteo	Aspersión SE	Enrollador
Agrotecnia	434,00	434,00	434,00
CE - SFV	8,94	10,43	30,09
CE - EB	4,80	6,00	7,60
CE - SR	<b>90,00</b>	26,56	55,11
Costo del agua	17,00	15,00	16,00
Costo de la energía	0,00	0,00	0,00
<b>TOTAL*</b>	<b>554,74</b>	<b>491,99</b>	<b>542,80</b>

\* Sin incluir el 10% de los costos indirectos

En la Figura 2, donde se presentan estos valores de forma integrada, se observa que no fue precisamente la alternativa de riego por goteo la de menor costo de inversión total dentro del escenario analizado, siendo superada en su factibilidad de adquisición por la técnica de riego por aspersión semiestacionaria con una inversión inicial de sólo 456.6 MCUP y un costo de explotación de sólo 541.2 MCUP/año (incluido el 10% de costos indirectos).



**FIGURA 2.** Inversión inicial, costos de explotación e ingresos producidos por el riego FV con las diferentes técnicas utilizadas.

Nota: La inversión incluye los gastos totales iniciales realizados en la adquisición y montaje de los SR+SFV, mientras que los costos de explotación (CE) los gastos efectuados durante la operación y mantenimiento de los SR+SFV+Agrotecnia (que incluye además de todas las labores culturales, las siembras anuales de las especies de ciclo corto seleccionadas para la rotación de cultivo.)

Como resultado de lo antes expuesto se aprecia en la Tabla 9, donde se presentan los indicadores de rentabilidad elegidos para el análisis del presente trabajo, que el riego por goteo no fue el más atractivo desde el punto de vista económico no obstante haber obtenido las mayores utilidades netas después de impuesto (UNDI) con valores de 122.3 MCUP/año y relación beneficio - costo (B/C = 1,20), debido a su mayor tiempo de recuperación (7,54 años) producto de su alto costo de inversión, el cual superó a la aspersión en 2,77 años. Esta diferencia provocó que al final

de su vida útil, la técnica de riego por Aspersión SE fuera la **más atractiva** al acumular 200.2 MCUP más que la alternativa de goteo. En este caso la alternativa de riego por aspersión semiestacionario aunque obtuvo menos UNDI (95.8 MCUP/año) estuvo 5,23 años más obteniendo utilidades sin deudas lo que le permitió alcanzar al final de su Vu de 501.0 MCUP, lo que demuestra la importancia de disminuir durante el diseño y la negociación con los proveedores el costo de inversión inicial de estas tecnologías, además de incrementar las UNDI. El Enrollador no obstante obtener una relación B/C superior a uno (1,07), por su baja UNDI (39.9 MCUP/año) y altos costos de inversión inicial, mostró un tiempo de recuperación de 29,61 años, muy superior a los 25 años, que se plantean como límite de vida útil para los SFV (Lara, 2007).

**TABLA 9. Indicadores de rentabilidad por técnicas de riego**

Técnicas de riego	UNDI (MCUP/año)	B/C	TR (años)	Años posteriores a la amortización	UNDI acumulada hasta el final de la Vu* (MCUP)
Goteo	122.3	1,20	7,54	2,46	300.8
Aspersión SE	95.8	1,18	4,77	5,23	501,0
Enrolladores	39.9	1,07	29,61		

\* Se consideran 10 años de vida útil (Vu) para los análisis económico de las tecnologías de riego, según Rodé (2016) y Velasco (2017).

## CONCLUSIONES

- Aunque el riego por goteo tiende a verse como la técnica más conveniente desde el punto de vista económico para ser usada con sistema fotovoltaico por sus menores demandas energéticas y costos de inversión de los arreglos FV, así como la inducción de mayores ingresos brutos, al facilitar por su alta frecuencia de riego superiores potenciales hídricos en el suelo, los altos costos de inversión inicial que la caracterizan en comparación con el riego por aspersión semiestacionario, conspiran contra su periodo de recuperación en similares condiciones de explotación (2,77 años más en este caso), lo que tiende en ocasiones dependiendo del escenario a hacerla una opción menos atractiva.
- Dentro de las condiciones fijadas en este trabajo el uso del riego con enrolladores se convierte en una tecnología no viable económicamente, por la imposibilidad de su recuperación dentro del periodo de vida útil del sistema fotovoltaico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arceda, R. M., & Hernández, D. A. (2012). 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 [Trabajo monográfico (como requisito para optar al título de Ingeniero Agrícola)]. Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua.
- Boman, B. J. (2002). Water and Florida Citrus: Use, Regulation, Irrigation, Systems, and Management (Edited by Brian Boman). Universidad of Florida, ISBN: 0-916287-38-6.
- Campana, P. E., Li, H., Zhang, J., Zhang, R., Liu, J., & Yan, J. (2015). Economic optimization of photovoltaic water pumping systems for irrigation. *Energy Conversion and Management*, 95, 32-41. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10-1016/J.enconman>
- Camps, F., & Jabardo, M. (2019). Instalaciones de riego por goteo con energía solar. Innovagri. <https://www.innovagri.es> › investigación-desarrollo-innovación › instalación.
- Dávalos, P. J. (2019). Diseño de un Sistema de Bombeo Fotovoltaico para Riego Agrícola en el Caserío La Guayaba, Distrito de Bellavista, Jaén-Cajamarca [Tesis (para optar al título de profesional de Ingeniero mecánico electricista)]. Universidad Nacional de Jaén.
- Díaz, S. R., Castro, F. M., Santos, F. A., & Vilaragut, L. M. (2018). Análisis de la influencia del ángulo de inclinación en la generación de una central fotovoltaica. *Ingeniería Energética*, 39(3), 146-156. [www.researchgate.net/publication/317949936](http://www.researchgate.net/publication/317949936)
- FAO. (2018). Buenas perspectivas para los sistemas de riego con energía solar. FAO. [www.fao.org/news/story/item/icode](http://www.fao.org/news/story/item/icode)
- Lara, Y. F. A. (2007). Diseño de un sistema de riego por medio de energía solar, a través de paneles FV [Trabajo de Diploma (para optar al Título de Ingeniero Mecánico)]. Universidad Austral de Chile.
- López, L. R., Martínez, J., Reza, J., & Ruiz, R. (2017). Análisis de viabilidad y gestión del riego en invernaderos mediterráneos con energía solar fotovoltaica. *Revista Iberoamericana del Agua Ribagua*, 4(2), 74-83.



- Martínez, V. R. (2021). Viabilidad económica del riego por aspersión semiestacionario a pequeña escala utilizando energía fotovoltaica. *Ingeniería Agrícola*, 11(4), 16-24, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- MFP-Cuba. (2021a). Ministerio de Finanzas y Precios: Resolución 83/2021 (p. 2) [Resolución 83/2021]. Ministerio de Finanzas y Precios: (MFP), La Habana, Cuba.
- MFP-Cuba. (2021b). Ministerio de Finanzas y Precios: Resolución 84/2021 (p. 3) [Resolución 84/2021]. Ministerio de Finanzas y Precios, La Habana, Cuba.
- ONEI-Cuba. (2020). Agricultura, ganadería y pesca: "Anuario Estadístico de Cuba 2019 (p. 37) [Anuario Estadístico de Cuba 2019]. Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI), La Habana, Cuba.
- Rodé, G. O. E. (2016). Diseño de sistema de regadío en zona rural con energía solar fotovoltaica [Informe de proyecto de título (para optar al Título de Ingeniero civil)]. Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile.
- Rodrigo, J., Hernández, A. J. M., Pérez, R. A., & González, H. J. F. (1992). Riego Localizado. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Salazar, P. A., Pichardo, S. A., & Pichardo, S. U. (2016). La energía solar, una alternativa para la generación de energía renovable. *Revista de Investigación y Desarrollo*, 2(5), 11-20.
- Tarjuelo, M. J. M. B. (2005). El riego por aspersión y su tecnología (3ra.). Mundi-Prensa, ISBN: 84-8476-225-4, Madrid, España.
- Velasco, C. (2017). Cosecha de energía fotovoltaica para uso en riego. *Redagricola*. [www.redagricola.com](http://www.redagricola.com)

Roberto Martínez-Varona, Dr. C., Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Carretera de Fontanar, km 2 1/2, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. Teléf.: (53) (7) 645-1731; 645-1353 e-mail: [roberto.martinez@iagric.minag.gob.cu](mailto:roberto.martinez@iagric.minag.gob.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.

El 25 de septiembre de 2015, los líderes mundiales adoptaron un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible. Cada objetivo tiene metas específicas que deben alcanzarse en los próximos 15 años. En función de estos objetivos globales y como parte de su misión El instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola trabaja para el logro de los 7 objetivos y metas siguientes:

## OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE



**2.4.** Para 2030, asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción, contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas, fortalezcan la capacidad de adaptación al cambio climático, los fenómenos meteorológicos extremos, las sequías, las inundaciones y otros desastres, y mejoren progresivamente la calidad del suelo y la tierra.



**6.4.** De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua

**6.5.** De aquí a 2030, implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda.



**4.7.** De aquí a 2030, asegurar que todos los alumnos adquieran los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para promover el desarrollo sostenible, entre otras cosas mediante la educación para el desarrollo sostenible y los estilos de vida sostenibles, los derechos humanos, la igualdad de género, la promoción de una cultura de paz y no violencia, la ciudadanía mundial y la valoración de la diversidad cultural y la contribución de la cultura al desarrollo sostenible.



**7.2.** De aquí a 2030, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas.



**5.5.** Asegurar la participación plena y efectiva de las mujeres y la igualdad de oportunidades de liderazgo a todos los niveles decisorios en la vida política, económica y pública

**5.a.** Emprender, reformas que otorguen a las mujeres igualdad de derechos a los recursos económicos, así como acceso a la propiedad y al control de la tierra y otros tipos de bienes, los servicios financieros la herencia y los recursos naturales, de conformidad con las leyes nacionales.



**13.1.** Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países.

**13.2.** Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales.

**13.3.** Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana.



**15.3.** Para 2030, luchar contra la desertificación, rehabilitar las tierras y los suelos degradados, incluidas las tierras afectadas por la desertificación, la sequía y las inundaciones, y procurar lograr un mundo con una degradación neutra del suelo.