

# Riego por goteo con energía solar para el tomate en Cavaco, Benguela, Angola

## *Drip irrigation system with solar energy for tomato in Cavaco, Benguela, Angola*

Ing. Anaclides Rogério Mossandel, Dr.C. Oscar Brown Manrique<sup>1</sup>, Dr.C. Albi Mujica Cervantes<sup>1</sup>, M.Sc. Carlos Mata Rodriguez<sup>2</sup>, Ing. Iván Osorio León<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Gobierno Provincial de Benguela, Angola.

<sup>2</sup> Universidad de Ciego de Ávila (UNICA), Centro de Estudios Hidrotécnicos (CEH), Ciego de Ávila, Cuba.

**RESUMEN.** La seguridad alimenticia depende del mejoramiento del riego de los pequeños agricultores que cultivan la mitad del área agrícola mundial; sin embargo, es necesario el perfeccionamiento de la eficiencia del manejo del agua mediante el riego por goteo que se adapta a los sistemas fotovoltaicos (FV) en pequeñas superficies. Considerándose la disponibilidad de radiación solar y la carencia de fuentes convencionales de energía eléctrica en la República de Angola, se justifica el diseño de un sistema de riego solar fotovoltaico por goteo para la producción de tomate en el valle de Cavaco, Angola en un área experimental de 0,23 ha, donde la estimación de la radiación solar sobre un plano horizontal y la inclinación del panel FV se realizó con los modelos de Hottel y SOLENER. El sistema de riego FV se diseñó para la máxima demanda hídrica del cultivo, mediante los métodos de sistemas autónomos y fotorriego. Los resultados indican que la utilización de un gotero de 4 L•s<sup>-1</sup> permite 2.49 horas de riego en cada subunidad. Los modelos matemáticos estimaron valores de radiación global entre 6 448,32 y 8 320,81 W•m<sup>-2</sup>•día<sup>-1</sup> sobre superficie horizontal y entre 6 775 y 8 710 W•m<sup>-2</sup>•day<sup>-1</sup> sobre la superficie del panel inclinada a 15°. El sistema FV consta de un arreglo de 6 paneles fotovoltaicos que generan una potencia pico de 1814,39 Wp, suficiente para garantizar el funcionamiento de la motobomba seleccionada.

**Palabras clave:** bombeo fotovoltaico, fotorriego, modelación de la radiación.

**ABSTRACT.** Food security depends on improving irrigation for small farmers who grow half the world's agricultural area, but the improvement of the efficiency of water management is needed through photovoltaic (FV) drip irrigation in small surfaces. Considering the availability of solar radiation and the lack of conventional sources of electricity in the Republic of Angola, the design of an Photovoltaic drip irrigation is justified for tomato production in the valley of Cavaco, Angola, in an experimental area of 0.23 ha, where the estimation of the solar radiation on a horizontal plane and the inclination of the FV panel was made with the models of Hottel and SOLENER. The irrigation system was designed to high water demand of the crop by the methods of autonomous systems and solar power irrigation. The results indicate that the use of a dropper of 3.5 L•s<sup>-1</sup> permits 2.49 watering times in each subunit. Mathematical models estimated global radiation values between 6 448.32 and 8 320.81 W•m<sup>-2</sup>•day<sup>-1</sup> on a horizontal surface and between 6 775 and 8 710 W•m<sup>-2</sup>•day<sup>-1</sup> on the surface of the panel tilted at 15°. The FV system consists of an array of 6 photovoltaic panels that generates a peak power of 1 814.39 Wp, sufficient to ensure the functioning of the selected pump.

**Keywords:** Photovoltaic pumping, solar power irrigation, modeling of radiation.

## INTRODUCCIÓN

El agua que se emplea en la actualidad para el riego de tierras agrícolas representa el 70% del consumo de este líquido a nivel mundial (Roldán *et al.*, 2009)<sup>1</sup> y se estima que el 60% de los alimentos extra requeridos para garantizar la alimentación mundial en el futuro tendrán que provenir de la agricultura bajo

riego; donde los países en vías de desarrollo disponen del 75% del área de riego (FAO, 1999).

La seguridad alimenticia del mundo depende del mejoramiento de las técnicas de riego de los pequeños agricultores en países en vías de desarrollo (Barreto y Duffy, 2010)<sup>2</sup>, los cuales

<sup>1</sup> ROLDÁN, J., M. DÍAS, M.; PÉREZ, M.; MORENO, M.: Mejora de la gestión del agua de riego mediante el uso de indicadores de riego, Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo 42(1):107-124, 2009.

<sup>2</sup> BARRETO, C. M.; DUFFY, J. J.: Riego solar-eólico por goteo de bajo costo para pequeños agricultores. IV Conferencia Latino Americana de Energía Solar (IV ISES\_CLA) y XVII Simposio Peruano de Energía Solar (XVII- SPES), 1- 5.11, Cusco, Perú, 2010.

cultivan la mitad del área agrícola mundial; sin embargo el 80% carece de acceso a los servicios eléctricos.

Los sistemas de riego localizados contribuyen al mejoramiento de la eficiencia del manejo del agua; debido a que las dosis relativamente pequeñas multiplican la producción (Solé, 1994; Pastor *et al.*, 1997); pero es evidente la necesidad de perfeccionar el diseño y manejo para que se logre mayor rentabilidad (Lipinski *et al.*, 2002).

El riego por goteo se adapta a las pequeñas áreas de terreno y a los sistemas de riego fotovoltaicos (García, 2002<sup>3</sup>; Van Campen *et al.*, 2000). Esta característica es de gran importancia, debido a que en la actualidad crece la importancia económica de los sistemas FV (Van Campen *et al.*, 2000).

La abundante disponibilidad de la radiación solar y la limitación de fuentes convencionales de energía eléctrica para el funcionamiento de los sistemas de riego en la República de Angola, debido los problemas de infraestructura generado por la pobreza secular en el área rural y las secuelas de la guerra civil que sufrió el país justifican el desarrollo de sistemas fotovoltaicos para el riego del cultivos. El objetivo del trabajo consiste en diseñar un sistema de riego por goteo accionado por energía solar fotovoltaica para la producción de tomate acorde con las necesidades hídricas, agronómicas, edáficas y climáticas de la localidad donde se desarrolló la investigación.

## MÉTODOS

Se diseñó un sistema de riego por goteo accionado por energía fotovoltaica para en el Valle de Cavaco provincia de Benguela en Angola, localizado en la latitud 12° 36' S y la longitud 13° 53' E con una altitud de 26 m sobre el nivel medio del mar. El área experimental ocupa una superficie de 0,23 ha sobre un suelo arcilloso correspondiente a un Luvisolo crómico (WRB, 2007).

El sistema de riego fotovoltaico se diseñó para la máxima

demanda hídrica del cultivo, considerándose sus características edáficas y climáticas para la obtención de una mayor producción (Keller, 1983). La evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) se calculó mediante el método de Penman Monteith (Allen *et al.*, 1998) con datos climatológicos del Instituto Nacional de Meteorología y Geofísica (INAMET, 2013)<sup>4</sup> para los años 2000-2012; luego se determinó la evapotranspiración del cultivo,  $ET_c$  (Doorenbos y Pruitt, 1977; Ferreyra, 2000) que constituye la variable más importante en el diseño de una estrategia de riego en un determinado suelo bajo un régimen climático (López *et al.*, 2005<sup>5</sup>).

El tiempo de riego, intensidad de aplicación del emisor y número de subunidades de riego se calcularon por las ecuaciones que se presentan a continuación:

$$T_R = \frac{N_t}{N_E \cdot q_E} \tag{1}$$

$$I_a = \frac{q_E}{E_E \cdot E_L} \tag{2}$$

$$S = \frac{T_f}{T_R} \tag{3}$$

donde:  $T_R$  es el tiempo de riego (h);  $N_t$  las necesidades totales de riego (mm día<sup>-1</sup>);  $N_E$  el número de emisores por plantas;  $q_E$  el caudal del emisor (L h<sup>-1</sup>);  $I_a$  intensidad de aplicación del emisor (mm h<sup>-1</sup>);  $E_E$  espaciamiento entre emisores (m);  $E_L$  espaciamiento entre laterales (m);  $T_f$  el tiempo de funcionamiento de la subunidad (h); S número de subunidades de riego.

Otros parámetros importantes para el diseño del sistema relacionado con el emisor, el lateral, la tubería terciaria y el área de riego se presentan en la Tabla 1.

**TABLA 1. Parámetros para el diseño del sistema**

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Coefficiente de variación, $C_v$	0,003	Pendiente de la tubería lateral, $S_L$ (%)	0,0025
Coefficiente de uniformidad, CU (%)	90,00	Diámetro de la tubería lateral, $D_L$ (mm)	16,00
Profundidad efectiva, H (mm)	300,00	Longitud de la tubería terciaria, $L_T$ (m)	43,00
Espaciamiento entre laterales, $E_L$ (m)	1,20	Pendiente de la tubería terciaria, $S_T$ (%)	0,0013
Longitud del lateral, $L_l$ (m)	50,00	Diámetro de la tubería terciaria, $D_T$ (mm)	75,00

Se utilizó la cinta de goteo del modelo Uralita con goteros integrados de baja presión de la marca Uragota con diámetro de 16 mm, caudal de 3,5 L/h por emisor y distancia entre emisores de 1,0 m. El coeficiente de gasto K y el exponente de descarga X del emisor fue de 1,471 y 0,514 respectivamente.

Para la estimación de radiación solar sobre un plano horizontal, a nivel de la tierra se utilizó el modelo de Hottel (1976) el cual calcula la radiación transmitida a través de la atmósfera clara, en función del ángulo cenital y la altitud para una atmósfera estándar, además del tipo de clima.

La determinación de la radiación solar en función de la inclinación de la superficie del panel fotovoltaico se realizó mediante el método de SOLENER (Vela, 1999) el cual ha sido utilizado en México y otros países del mundo de forma satisfactoria. Este método parte del conocimiento previo de la radiación global, radiación extraterrestre, radiación directa, radiación difusa sobre una superficie plana. Se modelaron diferentes ángulos para encontrar la inclinación óptima del arreglo fotovoltaico instalado para lo cual se utilizó el método propuesto por Vela (1999)<sup>6</sup>.

<sup>3</sup> GARCÍA, P. E.: Sistema de riego por goteo, Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). Boletín Técnico No. 10, 2002.

<sup>4</sup> INAMET: Boletín informativo de las variables meteorológica. Instituto Nacional de Meteorología y Geofísica. Delegación de Benguela, Angola, 2013.

<sup>5</sup> LÓPEZ, F; MARCOS, A; MORAL, F; SILOS, I; CUADROS, F.: Cálculo informatizado de instalaciones solares fotovoltaicas (fotoriego), para riego de un olivar, pp. 112-122, Escuela de Ingenierías Industriales. Universidad de Extremadura, Badajoz, España, 2005.

<sup>6</sup> VELA, A.: Manual de bombeo fotovoltaico, 20pp. Soluciones energéticas S.A. SOLENER S.A, Cuernavaca, Morelos, España, 1999.

En el diseño del sistema de bombeo fotovoltaico se aplicó el método indicado para sistemas autónomos basado en la menor radiación solar en un día típico, que es la base del cálculo del arreglo fotovoltaico (Sarmiento, 2013; Barreto y Duffy, 2010). También se empleó el fotorriego que integra la tecnología del riego y del bombeo fotovoltaico, optimizando la conexión de ambos sistemas (López *et al.*, 2005; Cuadros *et al.*, 2004). La energía hidráulica para el bombeo del agua y la energía requerida por el generador fotovoltaico se calcularon con las siguientes ecuaciones:

$$E_H = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H_T}{3600} \quad (4)$$

$$E_{GFV} = \frac{E_H + H_f}{F_d \cdot \eta_G \cdot \eta_{MB}} \quad (5)$$

donde:  $E_H$  es la energía hidráulica para el bombeo del agua (kW h día<sup>-1</sup>);  $Q$  el caudal medio (m<sup>3</sup> día<sup>-1</sup>);  $H_T$  la carga total de bombeo (m);  $\rho$  la densidad del agua (kg m<sup>3</sup>);  $g$  la aceleración de la gravedad (m s<sup>-2</sup>);  $E_{GFV}$  la energía requerida por el generador fotovoltaico (kW h día<sup>-1</sup>);  $H_f$  las pérdidas de energía por fricción en las tobarías (kW h día<sup>-1</sup>);  $\eta_G$  el rendimiento del generador fotovoltaico (0,85);  $\eta_{MB}$  el rendimiento de la motobomba (0,43);  $F_d$  la fracción diaria en que la radiación solar está por encima del umbral de funcionamiento de la bomba (0,95) según Lorenzo (1994<sup>7</sup>).

La potencia del generador fotovoltaico, la potencia pico fotovoltaica, el número de paneles fotovoltaicos y el grado de cobertura del arreglo FV se calcularon como sigue:

$$N_{GFV} = \frac{E_{GFV}}{HSP} \quad (6)$$

$$Np_{FV} = 1,10N_{GFV} \quad (7)$$

$$N_p = \frac{Np_{FV}}{N_{pp}} \quad (8)$$

$$G_c = \frac{\sum [E_{RAD}(N_p)]}{N_{pm} \cdot \sum E_{RAD}} \cdot 100 \quad (9)$$

donde:  $N_{GFV}$  es la potencia del generador fotovoltaico (kW);  $Np_{FV}$  la potencia pico fotovoltaica (kWp);  $N_p$  el número de paneles;  $N_{pp}$  la potencia pico de un panel (kWp);  $HSP$  la cantidad de hora solar pico (h);  $E_{RAD}$  la energía radiante (kWp·mes);  $N_{pm}$  el número promedio de paneles fotovoltaicos;  $d_m$  los días del mes;  $G_c$  el grado de cobertura (%).

La selección de la unidad de bombeo se realizó en función de las necesidades de potencia y del tipo de corriente con que se operará.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados fundamentales del diseño agronómico del sistema se muestra en la Tabla 3, pudiéndose observar que con un emisor de 3,5 L s<sup>-1</sup> se logra un diámetro de mojado de un metro, 15,67% de solape, 81,75% de área mojada y 2,49 horas de riego en cada una de las dos subunidades de riego. Se comprobó que la intensidad de aplicación del emisor es de 2,92 mm h<sup>-1</sup> que al compararse con la velocidad de infiltración media del suelo fue notablemente inferior, lo que garantiza la no ocurrencia de sobre humedecimientos del suelo por aportes de agua en exceso desde el emisor (Sandoval, 1983)<sup>8</sup>.

TABLA 3. Parámetros del diseño agronómico del cultivo

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Coefficiente de corrección, $K_r$	1,10	Porcentaje de área mojada, $P_m$ (%)	81,75
Diámetro de mojado, $D_m$ (m)	1,09	Eficiencia del riego, $E_r$ (%)	90,00
Radio del bulbo húmedo, $R_{bh}$ (m)	0,54	Fracción de lavado, $F_L$	0,15
Porcentaje de solape entre bulbos, $P_s$ (%)	15,67	Lamina de riego requerida, $L_r$ (L planta <sup>-1</sup> )	13,97
Área humedecida, $A_H$ (m <sup>2</sup> )	0,84	Tiempo de riego, $T_R$ (h)	2,49
Área mojada por el emisor, $A_e$ (m <sup>2</sup> )	0,92	Intensidad de aplicación, $I_a$ (mm h <sup>-1</sup> )	2,92
Número de emisores por planta, $N_{ep}$	1	Número e subunidades, $S$	2

En la Figura 1 se muestran las curvas correspondientes a la radiación directa, difusa, global y extraterrestre referida a una superficie horizontal construida con los datos obtenidos a partir de la simulación matemática mediante el método de Hottel (1976). Se puede observar el comportamiento de la radiación global en los diferentes meses del año encontrándose valores comprendidos entre los 6448,32 y 8320,81 W m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> que es el rango de energía solar fotovoltaica que se tendrá disponible en la localidad para la generación de energía eléctrica necesaria para el funcionamiento del sistema de riego por goteo accionado con este tipo de energía renovable.

La Figura 2 muestra el comportamiento de la radiación solar global para una inclinación del panel de 12,5°. Se observa que los valores varían entre 3515,79-8789,70 W m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> durante todo el año; correspondiendo la mayor energía solar al mes de mayo; mientras que en diciembre se obtuvo el menor valor. La comparación de este resultado con los obtenidos sobre un plano horizontal permite comprobar que en los meses comprendidos entre septiembre a marzo se produce una reducción de la radiación global, la cual aumenta en los restantes meses (Figura 3).

<sup>7</sup> LORENZO, E.: Electricidad Solar. Ingeniería de los Sistemas Fotovoltaicos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 1994.

<sup>8</sup> SANDOVAL, J. E.: Principios de riego y drenaje, Guatemala., USAC. Facultad de Agronomía, pp. 345, 1983.

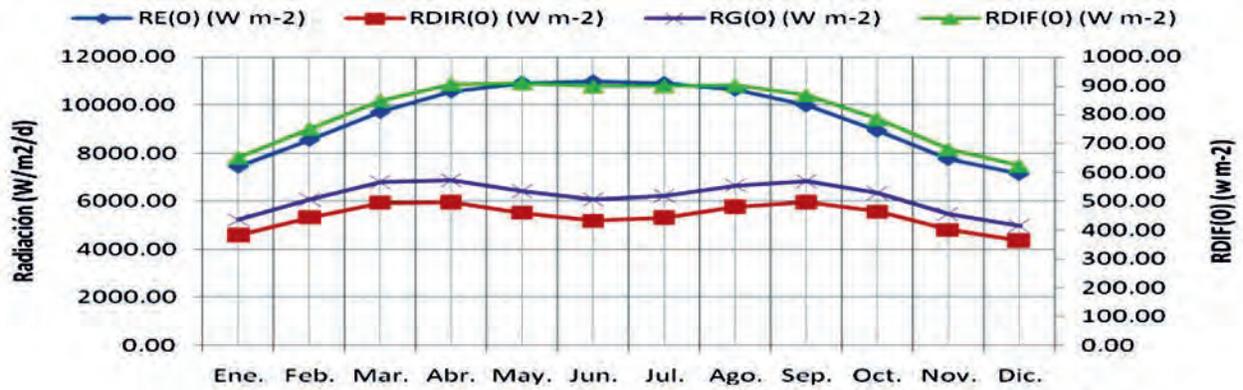


FIGURA 1. Componentes de la radiación solar sobre una superficie horizontal.

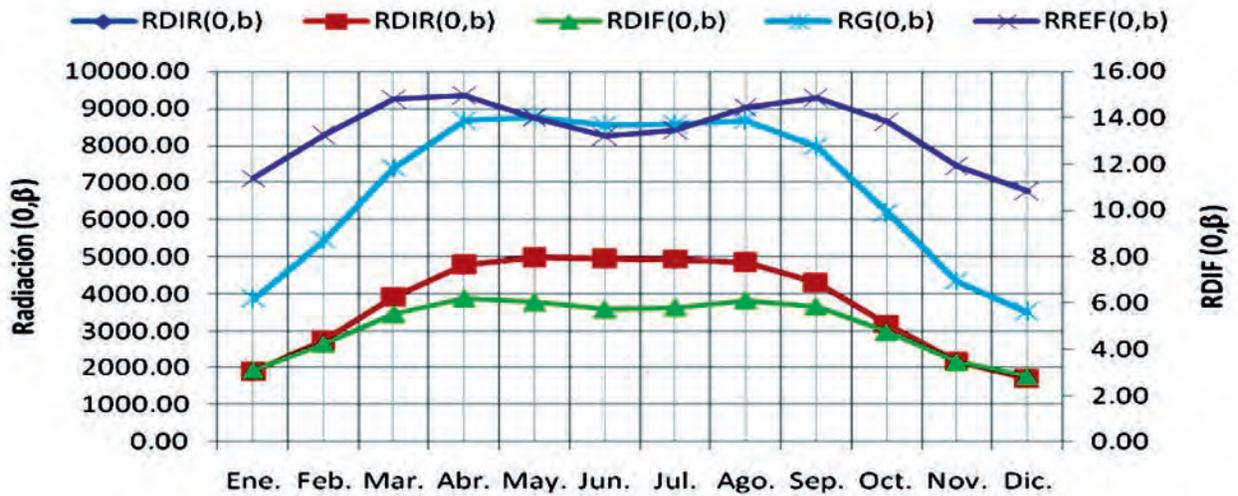


FIGURA 2. Componentes de la radiación con una inclinación de 12.5°.

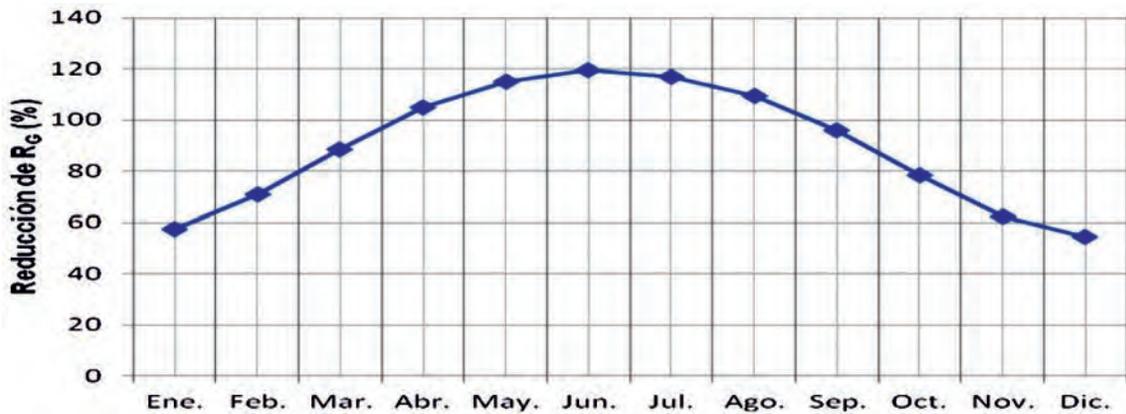


FIGURA 3. Porcentaje de reducción de R<sub>G</sub> con la inclinación de 12.5°.

La estimación de la radiación solar global mediante la modelación matemática es de gran importancia para las condiciones del Valle de Cavaco en la provincia de Benguela, debido a la carencia de instrumentos para la medición de esta variable climática. En este sentido Passamai (2000)<sup>9</sup> y Solartronic (2003) sostienen que

los modelos empíricos pueden ser utilizados para el cálculo de la radiación global y sus componentes directo y difuso con sencillez y relativa facilidad. Por otra parte la aplicabilidad de la modelación matemática ha sido verificada por varios investigadores de diversas regiones del mundo como Duffie y Beckman (1991).

<sup>10</sup> PASSAMAI, V. J.: Comparaciones de medidas obtenidas mediante solarímetros con el método de Hottel, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Argentina, 2000

Lo anterior favorece a muchos países que no poseen estaciones meteorológicas para la medición de los datos de radiación solar requerida en el conocimiento del potencial y el desempeño de los sistemas fotovoltaicos (Lucano y Fuentes, 2010).

En la Figura 4 se corrobora que el incremento del ángulo de inclinación del panel desde 0° hasta 12,5° que es un valor próximo a la latitud del lugar, reduce la magnitud de la radiación solar global entre 4-45%; correspondiendo a los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero los mayores porcentajes; mientras que en abril, agosto y septiembre se produjeron las menores reducciones. Se demostró que las inclinaciones comprendidas entre 0° y 2° lograron las radiaciones más elevadas. Este resultado coincide con el criterio de Vela (1999) consistente

en restar diez unidades al valor absoluto de la latitud del lugar para la obtención del valor óptimo de la inclinación del panel. Se comprobó que las inclinaciones más apropiadas están entre 2,36° y 3,53°; sin embargo la inclinación que se utilizó en esta investigación de 15° orientado hacia el Sur; porque garantiza el drenaje del agua y reduce la acumulación de polvo sobre la superficie del panel (Prado, 2008)<sup>10</sup>.

En la Figura 5 se presentan los valores mensuales de radiación solar global que se asumieron definitivamente para el diseño del sistema de riego por goteo con energía solar FV para el cultivo del tomate. En estos meses del ciclo fenológico del cultivo, la energía alcanzó los valores más bajos; particularmente en diciembre y enero con estimaciones próximas a 7000 W m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>.

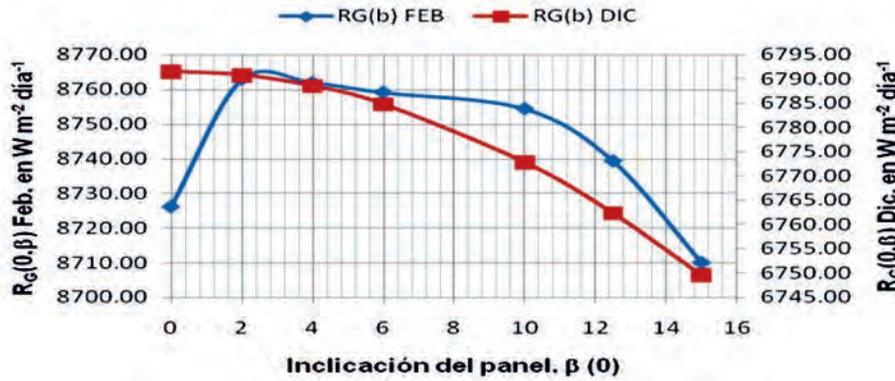


FIGURA 4. Radiación solar global para diferentes inclinaciones.

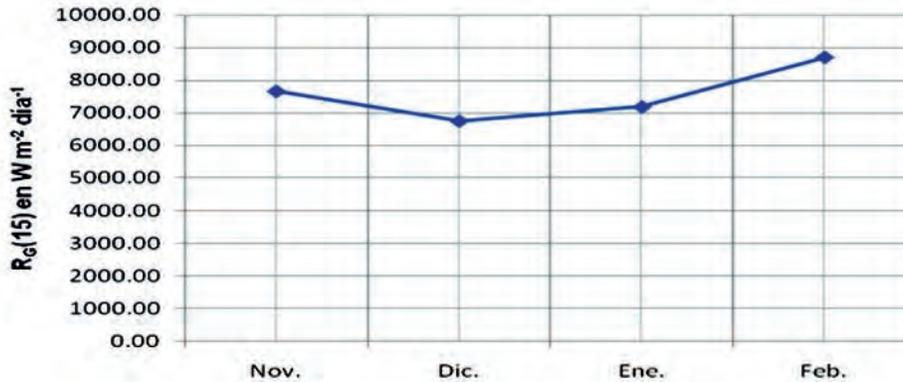


FIGURA 5. Radiación solar global para 15° de inclinación.

En la Tabla 6 se observa que las horas de sol oscilan entre 6.75 a 8.71 horas por día, que permite disponer en todos los meses un volumen diarios de agua superior a 16,20 m<sup>3</sup>. El sistema FV genera en cada mes una potencia de 290 W y una potencia pico de 320 Wp; así como una energía radiante entre 9070-10040 Wp·mes. El grado de cobertura del arreglo FV fue del 98,8% en relación con el volumen diario que es posible obtener durante las horas de sol pico.

TABLA 7. Parámetros del sistema solar fotovoltaico

Mes	HSP h	Q <sub>B</sub> m <sup>3</sup> día <sup>-1</sup>	E <sub>H</sub> kWh día <sup>-1</sup>	H <sub>r</sub> kWh día <sup>-1</sup>	E <sub>GFV</sub> kWh día <sup>-1</sup>	E <sub>RAD</sub> kWp·mes	E <sub>RAD</sub> (N <sub>pm</sub> ) kWp·mes
Nov.	7,66	18,39	0,70	0,070	2,22	9,57	9,72
Dic.	6,75	16,20	0,62	0,062	1,96	9,89	10,04
Ene.	7,19	17,24	0,66	0,066	2,08	9,89	10,04
Feb.	8,71	20,90	0,80	0,080	2,53	8,93	9,07

<sup>10</sup> PRADO, C. R.: Diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico para una comunidad aislada, 99pp., Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica, 2008.

Los resultados de la Tabla 7 permitieron el dimensionamiento de los tres componentes principales del sistema: paneles fotovoltaicos, bomba y motor para un sistema sin baterías (Figura 6), donde se instalaron dos tanques elevados de 8 000 litros por unidad para disponer de una capacidad total de almacenamiento de 16 000. Son tanques cilíndricos horizontales de polietileno de media densidad de la marca Bertotto-Bogliione con base de apoyo integral. Tienen una altura de 1 512 mm y largo total de 3 600 mm, con cabezales elipsoidales. Según Sarmiento (2013) este tipo de sistema es más barato, sencillo y requiere de menos mantenimiento.



FIGURA 6. Componentes del sistema fotovoltaico.

Se instalaron paneles FV de la marca Kyocera, modelo KC 130TM con una potencia por unidad de 54 Wp. Estos poseen superficie de vidrio y celdas solares cristalinas con 20 años de duración. Se escogió una bomba centrífuga sumergible solar del modelo Lorentz y marca HR-20 que trabaja con corriente directa, tensión nominal de 48 vatios de corriente directa (VCD), tensión máxima en circuito abierto de 100 VCD, carga entre 0-30 m, caudal de  $4 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , diámetro de 100 mm y rendimiento de 64%. El motor de la bomba es del modelo ETADRIVE HR 600W/1200W con un controlador de carga PS600/PS1200 para dirigir la electricidad generada en los módulos FV hacia la motobomba en el tiempo de duración de las horas de sol.

Se utilizó el acoplamiento directo para la conexión entre el arreglo fotovoltaico y la motobomba por ser simple y sugerida para sistemas FV de pequeña potencia (Valer, 2011)<sup>11</sup>. Entre el arreglo fotovoltaico y el motor se instaló un convertidor DC/DC que permiten el mejoramiento del rendimiento diario del sistema y la protección ante posibles perturbaciones eléctricas. Se comprobó que la potencia pico del generador FV seleccionado es 6 y 2 veces superior que la potencia pico mínima y máxima requerida por la motobomba respectivamente.

## CONCLUSIONES

- La utilización del sistema de riego por goteo fotovoltaico con goteros de  $3.5 \text{ L s}^{-1}$  produce un metro de diámetro de

mojado con un solape de 15,67 y un área de humedecimiento de 81,75% a partir de 2,49 horas de riego en las dos subunidades con una intensidad de aplicación del emisor de  $2,92 \text{ mm h}^{-1}$  muy inferior a la velocidad de infiltración media del suelo.

- La radiación solar y sus componentes obtenidos mediante la simulación matemática proporcionaron valores de radiación global entre 6448,32- 8320,81  $\text{W m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  sobre superficie horizontal y entre 6 775- 8 710 en superficies del panel inclinadas a  $15^\circ$ ; lo que permite obtener entre 6,75-8,71 horas solar pico (HSP) para el funcionamiento del sistema solar fotovoltaico.
- Las inclinaciones más apropiadas del panel fueron de  $2,36^\circ$  a  $3,53^\circ$  lográndose las radiaciones más altas; sin embargo, la utilización de un ángulo de  $15^\circ$  garantizó la no acumulación de agua y polvo sobre la superficie del generador fotovoltaico.
- El sistema de riego solar fotovoltaico está conformado por 6 paneles FV de la marca Kyocera con 54 Wp por unidad, una bomba centrífuga sumergible solar del modelo Lorentz de corriente directa, carga máxima de 30 m, caudal de  $4 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , diámetro de 100 mm y rendimiento de 64%, un motor de la ETADRIVE HR 600W/1200W, un controlador de carga PS600/PS1200 y dos tanques elevados cilíndricos horizontales de polietileno de media densidad con capacidad de 8000 litros cada uno.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D. & SMITH, M.: *Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements*, 300pp., FAO Irrigation and Drainage Paper 56, ISSN: 0254-5293, FAO, Rome, Italy, 1998..
- CUADROS, F; LÓPEZ, F, MARCOS, A, COELLO, J.: "A procedure to size solar-powered irrigation (photoirrigation) schemes", *Solar Energy*, ISSN: 0038-092X, 76: 465-473, 2004.
- DOOREMBOS, J; PRUIT, W.: *Las necesidades de agua de los cultivos*, 193pp., Serie Riego y Drenaje N° 24. FAO, pp., Roma, Italia, 1977.
- DUFFIE, J. A; BECKMAN, W. A.: *Solar Engineering of Thermal Processes*. John Wiley & Sons. New York, USA, 1991.
- FAO: *Poverty Reduction and Irrigated Agriculture*, FAO, International Programme for technology and research in Irrigation and Drainage. Rome, Italy, 1999.
- FERREYRA, R; SELLÉS, G; PIMSTEIN, A.: "Diseño, manejo y mantención de equipos de riego localizado de alta frecuencia", *Boletín INIA*, ISSN 0717-4829, pp. 55, Chile, 2000.

<sup>11</sup> VALER, L. R.: Utilización de sistemas de bombeo fotovoltaico para el riego de pequeñas propiedades rurales, 157pp., Maestría en Energía, Universidad de Sao Paulo, Brasil, 2011.

- HOTTEL, H. C.: "A simple model for estimating the transmittance of direct solar radiation through clear atmospheres", *Solar Energy*, ISSN: 0038-092X, 18: 129-137, 1976.
- KELLER, J.: *Manual de diseño de sistema de riego por aspersión y goteo*, Utah, Estados Unidos de América, 1983.
- LIPINSKI, V; GAVIOLA, S; GAVIOLA, J. C.: "Efecto de la densidad de plantación sobre el rendimiento de cebolla cv. Cobriza INTA con riego por goteo", *Agricultura Técnica*. 62 (4): 574-582, 2002.
- LUCANO, M. J; FUENTES, I. E.: "Evaluación del potencial de radiación solar global en el departamento de Cochabamba utilizando modelos de sistemas de información geográfica e imágenes satelitales", *Revista boliviana de física*, ISSN 1562-3823, 16: 13-21, 2010..
- SARMIENTO, A.: *Energía solar fotovoltaica. Temas seleccionados*, 102pp., Editorial Académica. ISBN: 978-959-270-278-3, La Habana, Cuba, 2013.
- SOLARTRONIC: *Irradiaciones global, directa y difusa en superficies horizontales e inclinadas así como irradiación directa normal, para la República Mexicana*, 66pp., Solartronic, S.A. de C.V. Departamento de Información Científico y Técnica. SOL/DT-001-03, Cuernavaca, Morelos, México, 2003.
- SOLÉ, M. A.: "Influencia del riego de auxilio por goteo con pequeñas dosis de agua en el olivar de las Garrigas. (cv. Arbequina)", *Fruticultura Profesional*, 62: 24-26, 1994.
- VAN CAMPEN, B; GUIDI, D; BEST, G.: *Energía solar fotovoltaica para la agricultura y desarrollo rural sostenibles*, Documento de Trabajo sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales No. 3. FAO, Roma, Italia, 2000.
- WRB: *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización*, Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103, FAO, Roma, 2007.

**Recibido:** 17/03/2014.

**Aprobado:** 09/12/2014.

**Publicado:** 28/01/2015.

Anaclides Rogério Mossande, Ingeniero agrónomo, Funcionario del Gobierno Provincial de Benguela, Angola, Profesor colaborador de la Universidad Metodista de Angola, Correo electrónico: [ranaclides@yahoo.com.br](mailto:ranaclides@yahoo.com.br)

Nota: 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.



**||| GIAF**