

Evaluación del rendimiento de dos sistemas solares para bombeo de agua, en el valle del Yeguate, Honduras

**María de los Ángeles Almeida Zambrano
Andrea Paola Elvir Flores**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**
Noviembre, 2014

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Evaluación del rendimiento de dos sistemas solares para bombeo de agua, en el valle del Yeguaré, Honduras

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingenieros Agrónomos en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por:

María de los Ángeles Almeida Zambrano
Andrea Paola Elvir Flores

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2014

Evaluación del rendimiento de dos sistemas solares para bombeo de agua, en el valle del Yeguare, Honduras

Presentado por:

María de los Ángeles Almeida Zambrano
Andrea Paola Elvir Flores

Aprobado:

Francisco Álvarez, M.A.E.
Asesor Principal

Renán Pineda, Ph.D.
Director
Departamento de Ciencia y
Producción Agropecuaria

Dafne Serrano, Ing.
Asesor

Raúl H. Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

Evaluación del rendimiento de dos sistemas solares para bombeo de agua, en el valle del Yeguaire, Honduras

María de los Ángeles Almeida Zambrano
Andrea Paola Elvir Flores

Resumen. Los sistemas solares para bombeo de agua son una alternativa sostenible, con la idea de utilizar la energía solar para su funcionamiento. Las bombas solares son un proyecto desarrollado por Caritas Suiza, ennos GmbH e iDE, quienes distribuyeron 200 bombas alrededor del mundo. Los objetivos de este estudio fueron: determinar la correlación entre la radiación solar y volumen para dos sistemas solares para bombeo de agua, de 80 y 120 W; determinar el rendimiento de los dos sistemas de bombeo en L/h y L/día para recomendar usos agrícolas y domésticos a iDE y pequeños productores. Los datos de radiación solar se obtuvieron con la estación climatológica de Zamorano y se midió el volumen durante 40 días en los meses de enero a marzo, en un período de siete horas diarias, en intervalos de media hora. Existe una correlación significativa entre las variables radiación solar y volumen para ambos sistemas solares de bombeo, sin embargo es baja. Debido a que los sistemas no tuvieron un comportamiento uniforme a lo largo de la investigación, no podemos recomendar su uso, sin embargo se encontró diferencia significativa para volumen entre los sistemas solares de bombeo. Con una radiación solar promedio de 590 W/m^2 , el sistema de 120W bombeó 910 L/h en promedio y el sistema de 80W bombeó de 455 L/h en promedio.

Palabras clave: CEPiRS, energía renovable, panel solar

Abstract. Solar water pumping systems are a sustainable alternative, with the idea of using solar energy to function. Solar pumps are a project developed by Caritas Switzerland, ennos GmbH and iDE, which tested 200 pumps worldwide. Solar pumps are a type of electric pump designed for pumping small amounts of water. The objectives of this study were to determine the correlation between the volume and the solar radiation of two solar water pumping systems of 80 and 120 W, to determine the yield in L/h and L/day of two solar water pumping systems to recommend agricultural and domestic uses to iDE and small farmers. Solar radiation data was collected from the weather station located in Zamorano and the volume was measured during 40 days from January to March, seven hours per day in half hour intervals. A significant correlation between solar radiation and volume was found for both solar pumping systems, however it is low. Because the systems did not have a uniform behavior throughout the investigation we cannot recommend its use, however significant difference for the volume was found between the solar pumping systems. With radiations averaging 590 W/m^2 the 120 W system pumped an average of 910 L/h and the 80 W system pumped an average of 455 L/h.

Key words: CEPiRS, renewable energy, solar panel

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de cuadros.....	v
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	11
4 CONCLUSIONES	18
5 RECOMENDACIONES	19
6 LITERATURA CITADA.....	20

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadros	Página
1. Materiales para el sistema solar para bombeo de agua de 80 W.....	9
2. Materiales para el sistema solar para bombeo de agua de 120 W.....	10
3. Promedio del volumen de agua bombeado (L) en una hora con base en radiación solar (W/m^2).....	14
4. Volumen de agua bombeado (L) en una hora con base en radiación solar (W/m^2).....	15
5. Cálculo del volumen promedio según la radiación solar promedio con base en la ecuación de regresión lineal en intervalos de dos horas.....	16
6. Promedio diario quincenal del volumen (L) con radiación solar (W/m^2) promedio durante ocho horas de enero a marzo.....	17

Figuras	Página
1. Ubicación de los sistemas solares para bombeo de agua.....	3
2. Carga estática del sistema solar para bombeo de agua.....	7
3. Diseño del sistema solar para bombeo de agua.....	8
4. Radiación solar promedio (W/m^2) y volumen de agua bombeado (L) en una hora por el sistema de 80 W.....	11
5. Radiación solar promedio (W/m^2) y volumen de agua bombeado (L) en una hora por el sistema de 120 W.....	12
6. Promedio total del volumen (L) y radiación para ambos sistemas con radiación solar promedio de $590 W/m^2$	14
7. Promedio diario quincenal del volumen (L) con radiación solar (W/m^2) promedio durante ocho horas de enero a marzo.....	17

1. INTRODUCCIÓN

Más de tres cuartas partes de la energía utilizada en el mundo provienen de fuentes combustibles fósiles. Este consumo tiene como consecuencia una creciente emisión de gases de invernadero. Por lo tanto para reducir nuestro impacto en el efecto invernadero debemos reducir dichas emisiones. Más del 70% de esta energía la consumen los países ricos cuyos habitantes apenas representan el 20% de la humanidad (Toharia, 2006).

Es innegable que la energía es igual al desarrollo, por lo tanto es inconcebible que un país pobre salga de la miseria sin energía. Esto nos demuestra que no solo debemos incrementar la eficiencia y hacer una reducción en el uso de combustibles fósiles sino sobre todo fomentar otras fuentes de energía, preferiblemente renovables y que no incidan sobre el efecto invernadero (Toharia, 2006).

Para la región Centroamericana, las tecnologías de energía renovable a pequeña escala representan una alternativa económica y ambiental factible para la provisión de energía a comunidades rurales remotas y para la expansión de la capacidad eléctrica instalada, ya sea por medio de sistemas aislados o por proyectos conectados a la red eléctrica. La región cuenta con suficientes recursos para desarrollar sistemas hidráulicos, solares, eólicos y de biomasa. (BUM-CA, 2002).

La energía solar consiste en el aprovechamiento de la radiación que nos llega del sol, la cual podemos transformar en energía solar fotovoltaica o energía solar térmica. La energía solar es la fuente de energía alternativa que más beneficios puede aportar a la agricultura en bien del desarrollo y bienestar socioeconómico de cualquier región. Entre las principales aplicaciones podemos destacar los bombeos directos, y la electrificación de explotaciones agrícolas y ganaderas (Araque, 2000).

Zamorano, en conjunto con la organización sin fines de lucro International Development Enterprises (iDE), crean el Centro para la Producción e Innovación Rural Sostenible (CEPiRS) el cual es manejado por la unidad de Maquinaria y Riego del departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria. El CEPiRS promueve, innova y evalúa tecnologías para el uso eficiente del agua de bajo costo, que están al alcance de productores de escasos recursos económicos (EAP, 2012).

El CEPiRS cuenta con nuevas tecnologías de riego, entre ellas sistemas de riego por goteo, bombas de pedal, bombas solares y fertiriego, para ser mostradas a productores, profesionales y estudiantes por medio de cursos o talleres (EAP, 2012).

Entre 2011 y 2012, Caritas Suiza, iDE con el apoyo de Swiss Agency for Development and Coperation (SDC) y ennos GmBh distribuyeron 200 bombas solares alrededor del mundo, su mayoría en Honduras, Ghana, Nepal, Bangladesh y Estados Unidos (ennos-GmBh, 2013).

Las bombas solares son un tipo de bomba eléctrica diseñadas para bombear pequeñas cantidades de agua utilizando la energía solar. La energía es captada por módulos fotovoltaicos (paneles solares) y es transferida a un motor eléctrico que esta acoplado a la bomba permitiendo mover el agua de un punto a otro. Esta tecnología nos permite bombear agua en lugares donde no hay acceso a electricidad y/o combustibles fósiles (Vargas, 2013).

El volumen diario bombeado depende de la altura de elevación, de la potencia de los paneles, la potencia de la bomba, de la cantidad de luz solar incidente (radiación solar) a lo largo del día. El sistema funciona aún en días nublados, aunque con menor producción. El frío o viento intensos no afectan la productividad (NUCLEO-SISTEMAS).

Los objetivos del estudio fueron: determinar la correlación entre la radiación solar y volumen para dos sistemas solares para bombeo de agua, de 80 y 120 W y determinar el rendimiento de los dos sistemas de bombeo en L/h y L/día, para recomendar usos agrícolas y domésticos a iDE y pequeños productores.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio. El estudio se llevó a cabo en la unidad de Maquinaria y Riego, ubicada en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, en el valle del río Yeguaré, a 30 km de Tegucigalpa, carretera a Danlí, Honduras. El sitio está a una altura de 800 msnm.



Figura 1. Ubicación de los sistemas solares para bombeo de agua.

Cuadro 1. Promedios mensuales de enero a marzo de 2014, para diferentes factores ambientales en Zamorano, Honduras.

Mes / Factor	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Viento (m/s)	Precipitación (mm)	Radiación Solar (W/m ²) [§]
Enero	20.4	76.5	0.1	23.8	324.6
Febrero	22.2	69.4	0.2	9.4	435.3
Marzo	24.0	63.1	0.2	11.0	529.7

[§]Los datos de radiación solar son un promedio de 6:00 a.m. a 18:00 p.m.

Descripción del estudio. El estudio consistió en evaluar dos sistemas solares para bombeo de agua para determinar la cantidad de agua diaria que bombea cada sistema. Los sistemas consistieron de una bomba de 80 y 120 W. Cada bomba extrajo agua desde un reservorio que fue llenado con agua de la quebrada “El Gallo”, la cual recorre los linderos de Zamorano de oeste a este. Un reservorio de agua (tanque) fue llenado continuamente con agua de la quebrada.

Se tomaron datos de radiación solar y volumen durante 40 días entre los meses de enero a marzo, durante siete horas diarias, distribuidas en dos períodos de 7:00 a 10:30 a.m. y de 12:30 a 4:00 p.m. en intervalos de media hora. Se eliminaron los datos de las 7:00 am y las 12:30 pm debido a que en estos lapsos la bomba necesitaba acumular una cantidad específica de energía para vencer la inercia y operar.

Para el diseño del sistema se tomaron en cuenta las recomendaciones dadas por el fabricante las cuales son: una altura estática de succión menor a siete metros y altura estática de descarga menor a 20 m.

Las herramientas que se utilizaron para la toma de datos fueron: reloj, libreta, lápiz, regleta calibrada en centímetros y la estación climatológica de Zamorano.

Variables a medir

Radiación Solar. Los datos de la radiación solar (W/m^2), se obtuvieron de la base de datos de la estación climatológica de Zamorano, marca Davis, modelo Vantage Pro 2 Plus. La estación hace el cálculo del promedio de la radiación solar que hubo en intervalos de 30 minutos a lo largo de todo el día.

Volumen. Se cuantificó el volumen (L) cada 30 minutos a través del método volumétrico. Para la medición del agua bombeada se utilizó una regleta calibrada en centímetros, la cual se introdujo en cada reservorio de agua y se midió el nivel del agua de cada reservorio. Luego con base en las medidas de cada reservorio se calculó el volumen de agua cosechado durante el día.

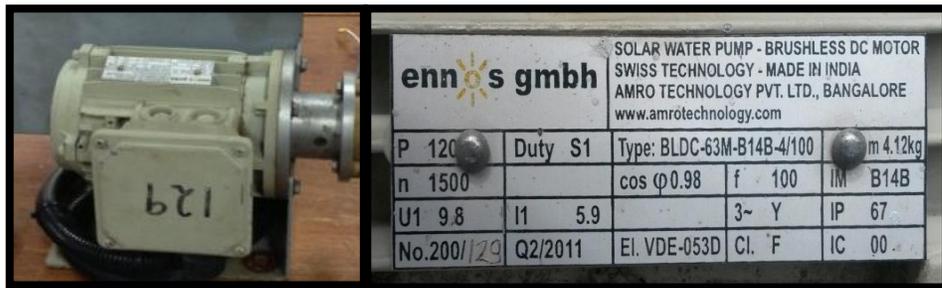
Componentes del sistema de bombeo y conducción:

Sistema de motobomba

Bomba: la bomba realiza un desplazamiento positivo y está formada por paletas axiales montadas en un rotor que giran en una cavidad. La bomba es un modelo fabricado en China.



Motor: las bombas utilizan un motor de corriente continua de tres fases conocidas como Brushless o BLDC. El motor es un modelo fabricado en India.



Componente electrónico: se encarga de maximizar la entrada de potencia del panel y controla la salida de potencia del motor. El componente electrónico es un modelo fabricado en Suiza.



Sistema fotovoltaico. Debido a que los paneles solares no tienen una eficiencia del 100%. El sistema de 80 W utilizó un panel de 110 W para asegurar su demanda. El sistema de 120 W utilizó dos paneles de 40 y 110 W, sumando 150 W para asegurar su demanda. La distancia entre los paneles solares y el motor fue de seis metros. Se utilizó cable AWG calibre 8 para evitar una caída de tensión.



Sistema de conducción (tubería). La carga estática es la sumatoria de la altura estática de succión (AES) y la altura estática de descarga (AED). La AES es la altura que hay entre la fuente de agua y el centro de la bomba y la AED es la altura que hay del centro de la bomba hasta el punto más alto del sistema.

Tubería de succión: se usó tubería PVC, SDR 26, 1.5" de diámetro nominal y longitud de 12 m. La AES fue de seis metros.

Tubería de descarga: se usó tubería PVC, SDR 26, 1.0" de diámetro nominal y longitud de 71 m de recorrido. La AED fue de siete metros.

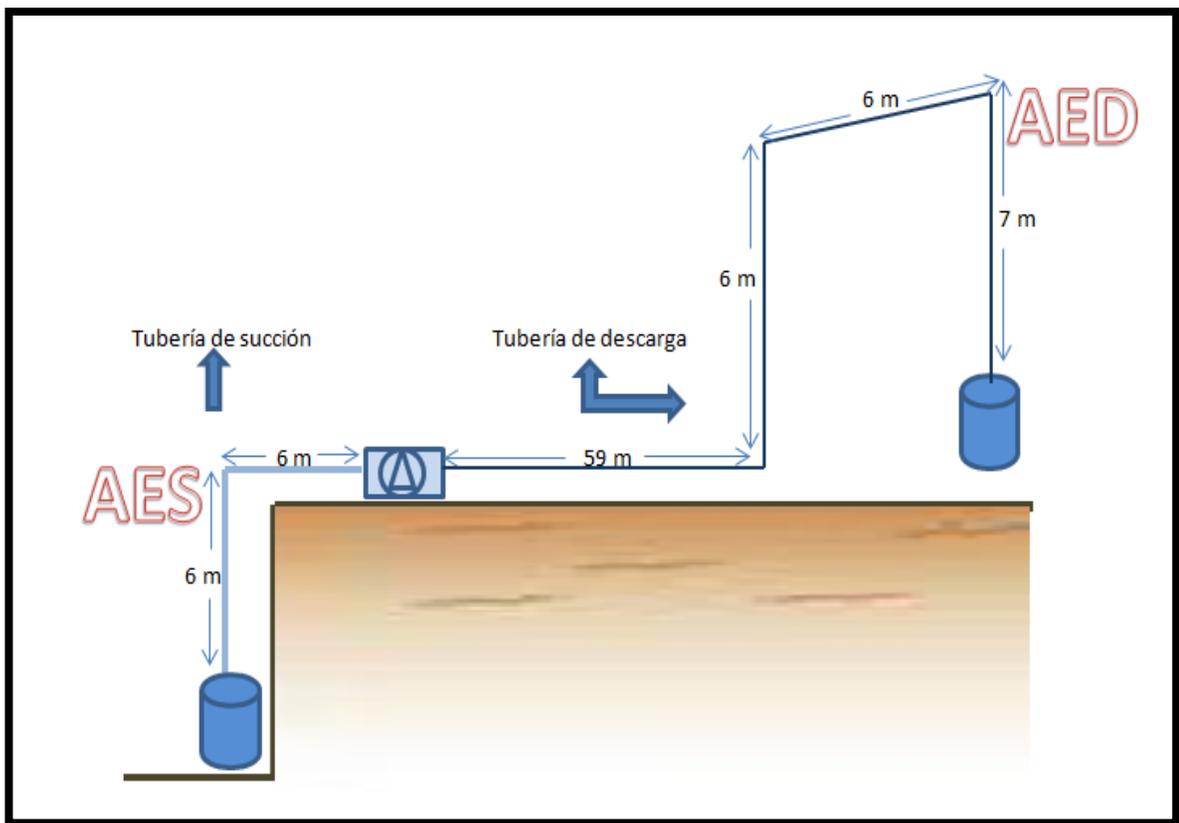


Figura 2. Carga estática del sistema solar para bombeo de agua.

Sistema de almacenamiento de agua. Se desvió el agua de la quebrada “El Gallo” a un reservorio de 250 L y luego fue conducida a dos reservorios para la descarga, con capacidad de 1000 L.

Diseño del sistema

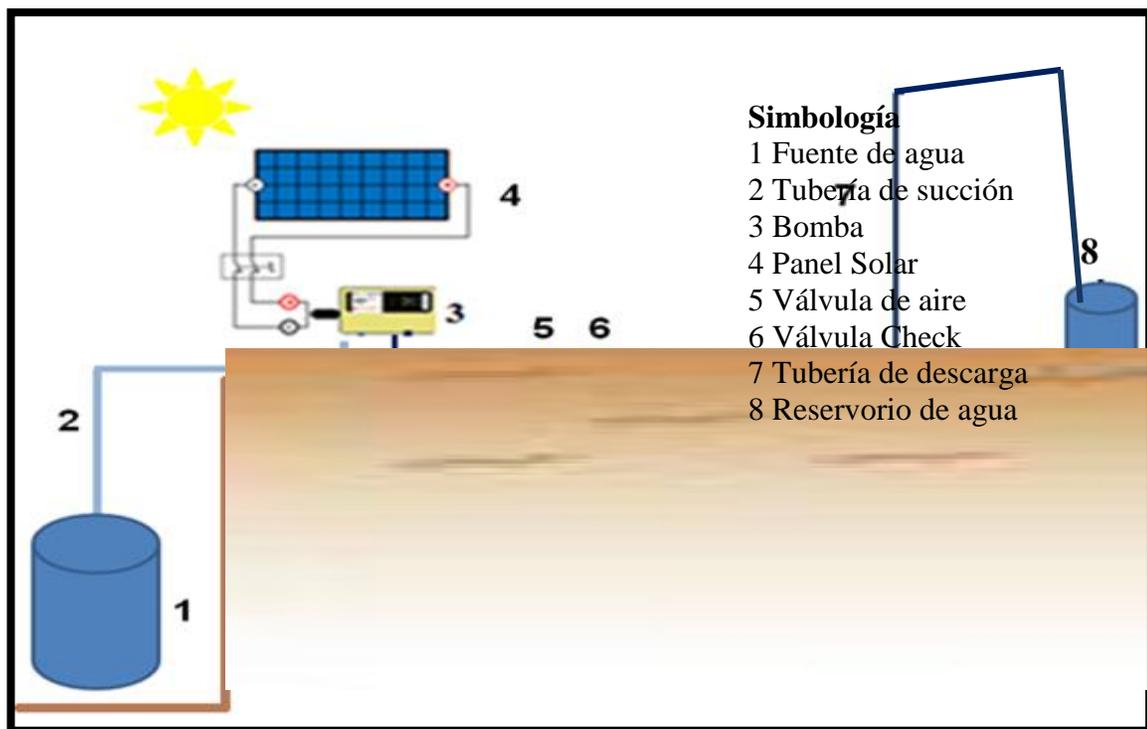


Figura 3. Diseño del sistema solar para bombeo de agua.

Materiales para el sistema

En el siguiente cuadro se detallan los materiales que se utilizaron para la instalación del sistema individual.

Cuadro 2. Materiales para el sistema solar para bombeo de agua 120 watts.

Materiales	Unidad de medida	Cantidad
Motobomba 120 W	c/u	1
Panel solar 110 W	c/u	1
Panel solar 40 W	c/u	1
Tubo PVC, SDR 26, 1.0", 6m	metro	72
Tubo PVC, SDR 26, 1.5", 6m	metro	12
Codo PVC, 45°, 1"	c/u	1
Codo PVC, 90°, 1"	c/u	1
Unión universal PVC, 1"	c/u	1
Abrazaderas de metal 2"	c/u	1
Tapón de rosca PVC, 2"	c/u	1
Adaptadores Hembra PVC, 1"	c/u	3
Adaptadores Macho PVC, 1"	c/u	6
Válvula de aire PVC, 1"	c/u	1
Válvulas Check PVC, 1"	c/u	1
Terminal macho ¼ amarilla	c/u	2
Terminal hembra ¼ amarilla	c/u	2
Cable AWG calibre 8	metro	1
Cinta aislante rollo	c/u	1
Mesa de madera	c/u	2

Cuadro 3. Materiales para el sistema solar para bombeo de agua 80 watts.

Material	Unidad de medida	Cantidad
Motobomba 80 W	c/u	1
Panel solar 110 W	c/u	1
Tubo PVC, SDR 26, 1.0", 6m	metro	12
Tubo PVC, SDR 26, 1.5", 6m	metro	2
Codo PVC, 45°, 1"	c/u	1
Codo PVC, 90°, 1"	c/u	1
Unión universal PVC, 1"	c/u	1
Abrazaderas de metal 2"	c/u	1
Tapón de rosca PVC, 2"	c/u	1
Adaptadores Hembra PVC, 1"	c/u	3
Adaptadores Macho PVC, 1"	c/u	6
Válvula de aire PVC, 1"	c/u	1
Válvulas Check PVC, 1"	c/u	1
Terminal macho ¼ amarilla	c/u	2
Terminal hembra ¼ amarilla	c/u	2
Cable AWG calibre 8	metro	1
Cinta aislante rollo	c/u	1
Mesa de madera	c/u	1

Diseño Experimental. Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con medidas repetidas en el tiempo.

Análisis Estadístico. Los resultados se analizaron utilizando un análisis de varianza (ANDEVA) y un Modelo Lineal General (GLM). Para la separación de medias se utilizó el método Duncan, con la diferencia de medias LSMEANS y la ayuda del programa estadístico "Statistical Analysis System" (SAS[®] versión 9.1.3). El nivel de probabilidad exigido fue de $P \leq 0.05$.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relación radiación solar: volumen.

Existe una gran dispersión de los datos en la relación que hay entre la radiación solar y el volumen acumulado en una hora para los dos sistemas solares de bombeo. Para el sistema de 80 W (Figura 8) se obtuvo un R^2 de 0.15 y un coeficiente de variación del 54%. Para el sistema de 120 W (Figura 9) se obtuvo un R^2 de 0.24 y un coeficiente de variación del 46%. Esto demuestra que ambos sistemas no tienen un comportamiento uniforme a lo largo de la investigación.

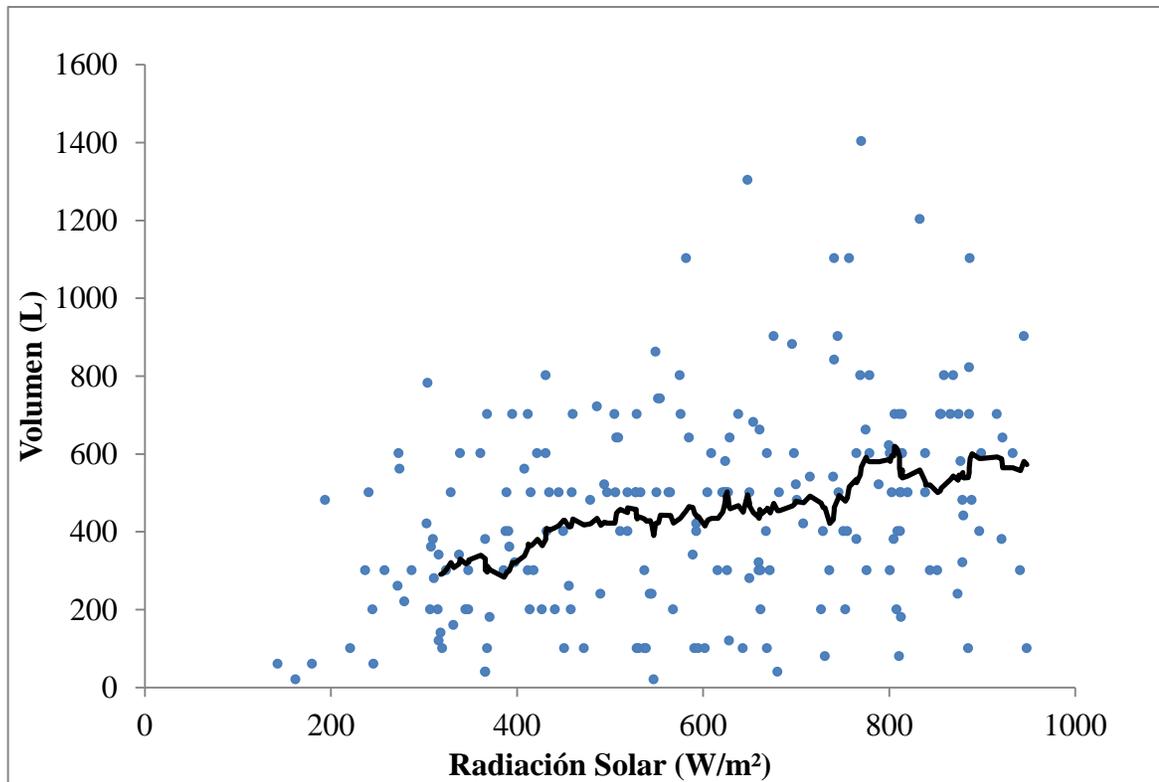


Figura 4. Radiación solar promedio (W/m^2) y volumen de agua bombeado (L) en una hora por el sistema de 80 W.

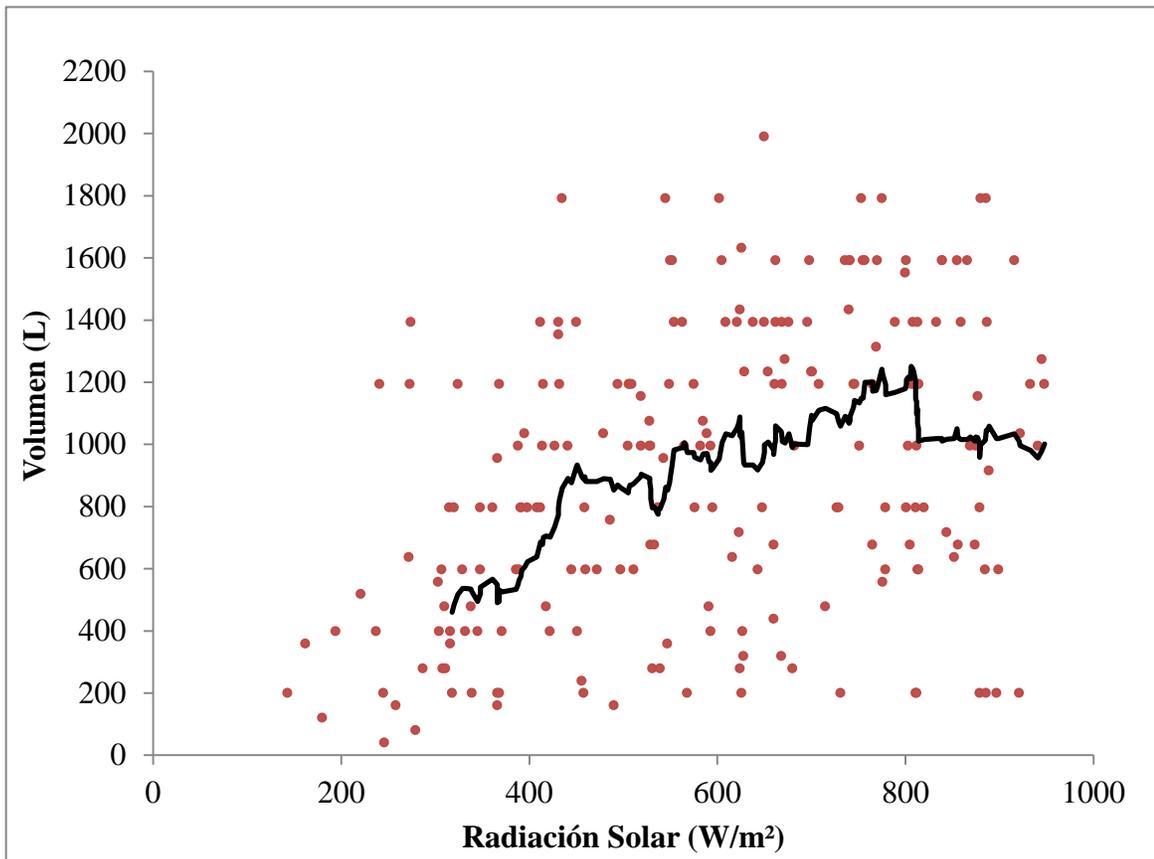


Figura 5. Radiación solar promedio (W/m^2) y volumen de agua bombeado (L) en una hora por el sistema de 120 W.

Correlación entre radiación solar y volumen. Existe una correlación baja entre las variables radiación solar y volumen bombeado para los dos sistemas de bombeo, siendo de 0.34 para el sistema de 80 W (Cuadro 3) y de 0.37 (Cuadro 4) para el sistema de 120 W. Aun cuando las correlaciones son bajas, son estadísticamente significativas para ambos sistemas de bombeo. Ambas correlaciones son positivas lo que significa que a medida que aumenta la radiación solar aumenta el volumen.

Promedio total de volumen. Se obtuvo diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre los dos sistemas de bombeo para la variable volumen, la cual se refiere al promedio del volumen (L) bombeado en una hora a lo largo de la investigación. Con una radiación solar promedio de 590 W/m^2 el sistema de 80 W bombeó 455 L y el sistema de 120 W bombeó 910 L. El sistema de 120 W bombeó un mayor volumen ya que este tiene una mayor potencia.

Rangos de radiación solar. Se agrupó la radiación solar en rangos de 50 W/m², para un total de 16 rangos (Cuadro 4). Comenzando desde 150 W/m², radiación solar en la cual ambos sistemas están funcionando hasta 950 W/m², radiación solar máxima que presentó durante la toma de datos. Con base en estos rangos se calcularon 16 promedios de volumen de agua bombeada por cada sistema en una hora.

Debido a que el sistema de 120 W tiene una mayor potencia, éste bombea más agua para cada uno de los rangos. En términos generales la relación entre radiación solar y volumen es ascendente, sin embargo muestra inconsistencia en determinados rangos.

Cuadro 4. Promedio del volumen de agua bombeado (L) en una hora con base en rangos de radiación solar (W/m²).

Rango	Valor (W/m²)	B80W(L)	B120W (L)
1	150 - 200	155	270
2	200 - 250	235	470
3	250 - 300	375	625
4	300 - 350	310	515
5	350 - 400	360	680
6	400 - 450	450	1050
7	450 - 500	390	600
8	500 - 550	410	940
9	550 - 600	520	950
10	600 - 650	475	1065
11	650 - 700	460	1100
12	700 - 750	530	1110
13	750 - 800	630	1220
14	800 - 850	505	1030
15	850 - 900	580	960
16	900 - 950	520	1070

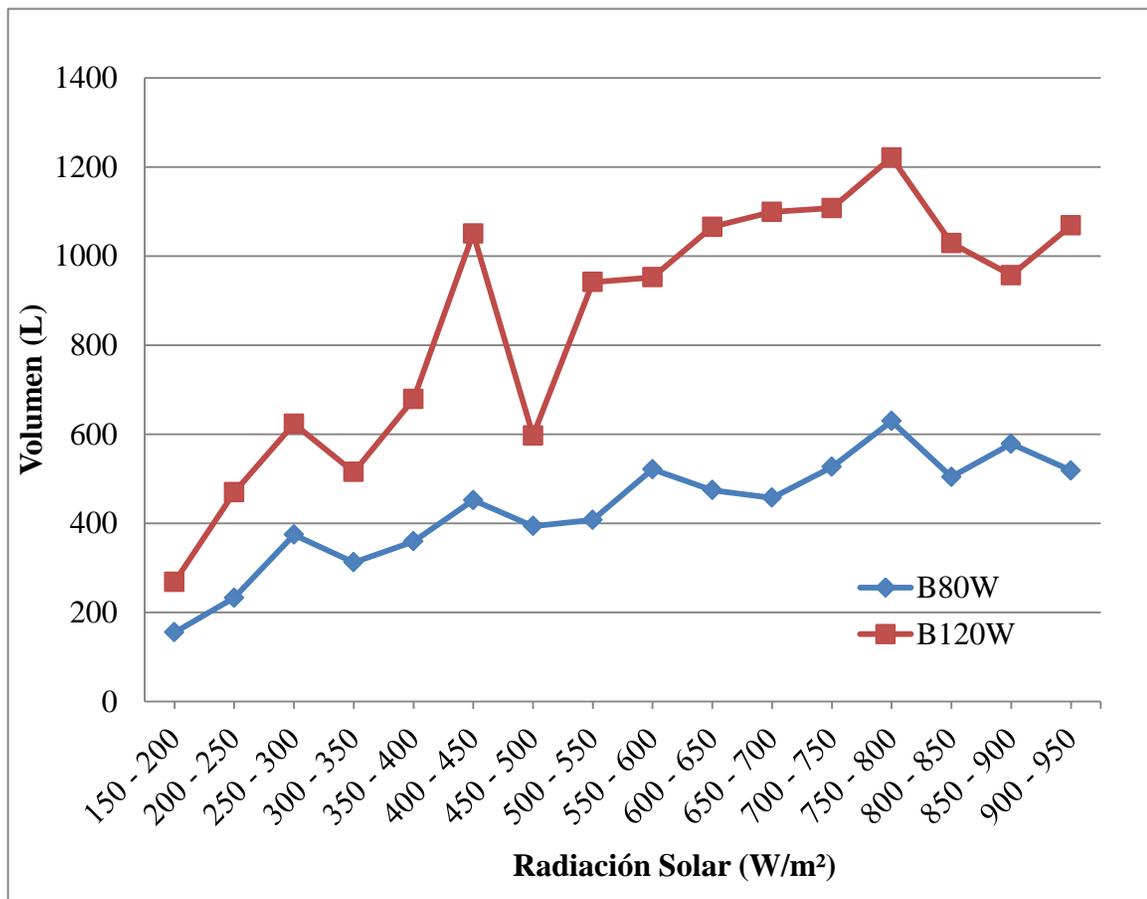


Figura 6. Promedio del volumen de agua bombeado (L) en una hora con base en rangos de radiación solar (W/m^2).

No se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre sistemas con radiación solar menor a $300 W/m^2$, ni con radiación solar de $450 - 500 W/m^2$. Hay diferencias significativas ($P \leq 0.05$), entre los sistemas con radiación solar de $300 - 450 W/m^2$ y de $500 - 950 W/m^2$. El sistema de $120 W$ bombeó un mayor volumen debido a que tiene una mayor potencia.

Cuadro 5. Volumen de agua bombeado (L) en una hora con base en radiación solar (W/m^2).

	Rangos de Radiación solar							
	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	400-450	450-500	500-550
B80W	155 ^a	235 ^a	375 ^a	310 ^b	360 ^b	455 ^b	395 ^a	410 ^b
B120W	270 ^a	470 ^a	625 ^a	515 ^a	680 ^a	1050 ^a	600 ^a	945 ^a
C.V. [¶]	85	96	82	52	54	41	58	48

^{a,b} Medias seguidas con la misma letra y en la misma columna son estadísticamente diferentes ($P > 0.05$).

[¶]C.V.= Coeficiente de variación.

Continuación del cuadro 5.

Cuadro 5. Volumen de agua bombeado (L) en una hora con base en radiación solar (W/m^2).

	Rangos de Radiación solar							
	550-600	600 - 650	650 - 700	700 - 750	750 - 800	800 - 850	850 - 900	900 -950
B80W	525 ^b	475 ^b	455 ^b	530 ^b	630 ^b	505 ^b	580 ^b	520 ^b
B120W	955 ^a	1065 ^a	1100 ^a	1100 ^a	1225 ^a	1030 ^a	960 ^a	1070 ^a
C.V. [¶]	47	58	46	47	43	45	53	45

^{a,b}Medidas seguidas con la misma letra y en la misma columna son estadísticamente iguales ($P>0.05$).

[¶]C.V.= Coeficiente de variación.

Ecuaciones

Se obtuvo una ecuación de regresión lineal para calcular el volumen con base en la radiación solar para los sistemas de bombeo de 80 y 120 W. Ambas son significativas, sin embargo solo se adaptan al 11% ($R^2=0.11$) y 13% ($R^2=0.13$) de los datos, respectivamente.

- **Sistema de bombeo de 80 W**

$$\begin{aligned} \text{Volumen} &= \beta_0 + \beta_1 X_1 \\ &= 198 + 0.43 (\text{radiación solar}) \end{aligned} \quad [1]$$

- **Sistema de bombeo 120 W**

$$\begin{aligned} \text{Volumen} &= \beta_0 + \beta_1 X_1 \\ &= 390.6 + 0.87 (\text{radiación solar}) \end{aligned} \quad [2]$$

Dónde:

β_0 = intercepto

X_1 = radiación solar

Cálculo de volumen con base en ecuación de la radiación solar. Para demostrar la aplicabilidad de estas ecuaciones se calculó el promedio de la radiación solar de los meses de enero a marzo del 2014. Se dividió los meses en quincenas, para cada quincena se calculó el promedio de la radiación solar de un periodo de ocho horas diarias, en intervalos de dos horas.

Se utilizó la ecuación de cada sistema de bombeo para calcular la producción de agua en litros cada dos horas, si se mantuviera constante la radiación solar promedio durante las dos horas.

Cuadro 6. Cálculo del volumen promedio según la radiación solar promedio con base en la ecuación de regresión lineal en intervalos de dos horas.

Fecha	Hora	Radiación Solar (W/m²)	B80W (L)	B120W (L)
1-15 enero	08:00 a.m. - 10:00 a.m.	390	735	1470
	10:00 a.m. - 12:00 p.m.	545	865	1735
	12:00 p.m. - 14:00 p.m.	460	790	1585
	14:00 p.m. - 16:00 p.m.	330	680	1360
16-31 enero	08:00 a.m. - 10:00 a.m.	355	700	1405
	10:00 a.m. - 12:00 p.m.	560	880	1765
	12:00 p.m. - 14:00 p.m.	550	870	1745
	14:00 p.m. - 16:00 p.m.	390	730	1465
1-14 febrero	08:00 a.m. - 10:00 a.m.	470	800	1605
	10:00 a.m. - 12:00 p.m.	655	960	1930
	12:00 p.m. - 14:00 p.m.	685	985	1980
	14:00 p.m. - 16:00 p.m.	430	795	1530
15-28 febrero	08:00 a.m. - 10:00 a.m.	510	835	1680
	10:00 a.m. - 12:00 p.m.	755	1045	2105
	12:00 p.m. - 14:00 p.m.	685	985	1980
	14:00 p.m. - 16:00 p.m.	550	870	1745
1-15 marzo	08:00 a.m. - 10:00 a.m.	525	850	1705
	10:00 a.m. - 12:00 p.m.	885	1155	2330
	12:00 p.m. - 14:00 p.m.	835	1115	2245
	14:00 p.m. - 16:00 p.m.	575	890	1790
16-31 marzo	08:00 a.m. - 10:00 a.m.	565	880	1770
	10:00 a.m. - 12:00 p.m.	875	1145	2310
	12:00 p.m. - 14:00 p.m.	880	1155	2325
	14:00 p.m. - 16:00 p.m.	590	905	1815

Mediante la sumatoria de los volúmenes de cada dos horas, se obtuvo el promedio diario quincenal del volumen (L) producido en un periodo de ocho horas, por cada sistema de bombeo, con una radiación solar promedio durante las ocho horas.

Cuadro 7. Promedio diario quincenal del volumen (L) con radiación solar (W/m^2) promedio durante ocho horas de enero a marzo.

Fecha	Radiación Solar (W/m^2)	B80W (L)	B120W (L)
1-15 Enero	430	3070	6150
16-31 Enero	465	3180	6380
1-14 Febrero	560	3540	7045
15-28 Febrero	625	3735	7510
1-15 Marzo	705	4010	8070
16-30 Marzo	730	4085	8220

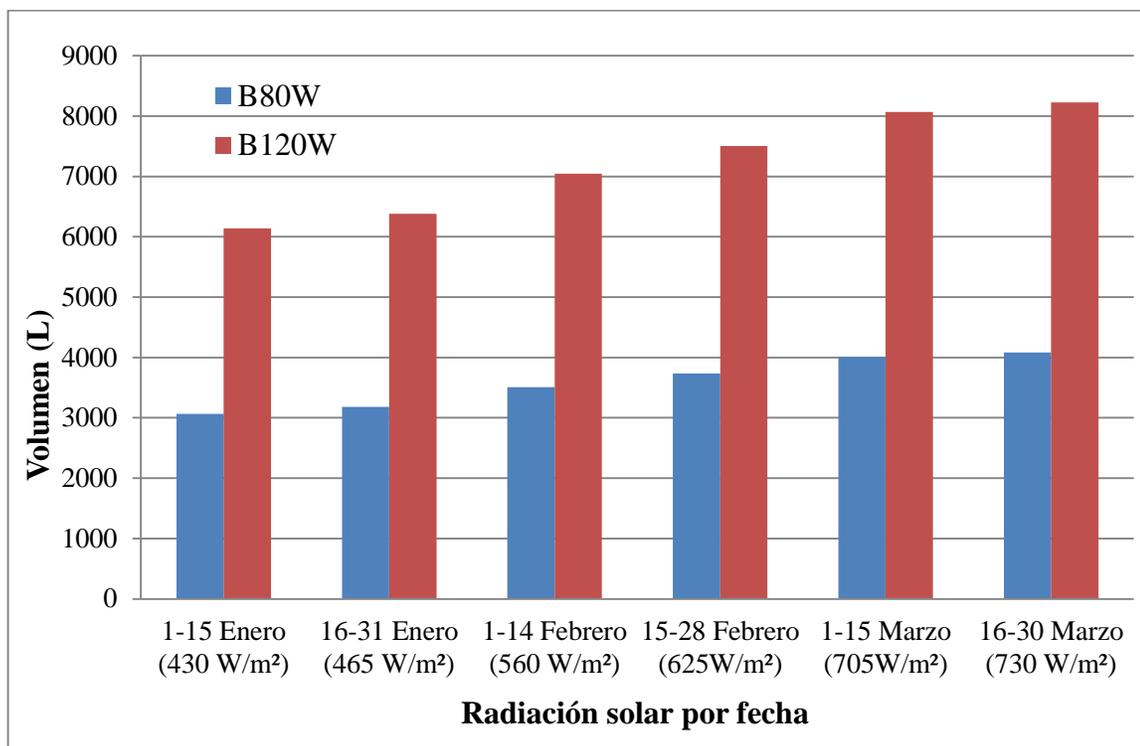


Figura 7. Promedio diario quincenal del volumen (L) con radiación solar (W/m^2) promedio durante ocho horas de enero a marzo.

4. CONCLUSIONES

- Existe una correlación significativa entre las variables radiación solar y volumen para ambos sistemas solares de bombeo, sin embargo es baja.
- El comportamiento del sistema de bombeo de 80 W es muy variable, teniendo un R^2 de 0.15 y un CV de 54% por lo tanto no podemos hacer recomendaciones para su uso.
- El comportamiento del sistema de bombeo de 120 W es muy variable, teniendo un R^2 de 0.24 y un CV de 46% por lo tanto no podemos hacer recomendaciones para su uso.
- Se encontró diferencia significativa para la variable volumen entre los sistemas solares de bombeo con una radiación solar promedio de 590 W/m². El sistema de 120 W, bombeó un caudal de 910 L/h en promedio y el sistema de 80 W, bombeó de 455 L/h en promedio.

5. RECOMENDACIONES

- Aumentar el número de unidades de evaluación para cada sistema de bombeo.
- Realizar este mismo estudio tomando datos durante todas las horas luz del día.
- Medir directamente la radiación solar en el lugar donde estén ubicados los paneles solares.
- Añadir al estudio un testigo que contenga una batería, para evaluar el comportamiento de los sistemas al suministrársele una potencia constante.
- Determinar las fallas mecánicas y electrónicas que existen en ambos sistemas solares de bombeo.

6. LITERATURA CITADA

[En línea] / aut. RAE. - <http://lema.rae.es/drae/srv/search?id=xJqcIMbfrDXX25t5Z6tO>.
El clima: el calentamiento global y el futuro del planeta [Libro] / aut. Toharia Manuel. -
Barcelona, España : Random House Mondadori, S.A., 2006.

Energía Solar y Agricultura [Libro] / aut. Araque Inocente Garcia. - España : S.A.P.T
Publicaciones técnicas, S.L., 2000.

Evaluación de bombas solares [Informe] / aut. Vargas Amilcar. - Tegucigalpa : [s.n.],
2013.

Manuales sobre energía renovable: Biomasa [Libro] / aut. BUM-CA. - San José, Costa
Rica : [s.n.], 2002.

Núcleo Solar [En línea] / aut. NUCLEO-SISTEMAS. - Agosto de 2014. -
<http://www.nucleosolar.com.ar/1/bombeo.htm>.
Suelo Solar. - 2008.

Swiss solar water pump drive [En línea] / aut. Vezzini Prof. Dr. Andrea. - Noviembre de
2011. - 2014 de Octubre. -
[http://rwsnforum.files.wordpress.com/2011/11/8_andrea_vezzini-
ennos_solar_water_pump_drive.pdf](http://rwsnforum.files.wordpress.com/2011/11/8_andrea_vezzini-ennos_solar_water_pump_drive.pdf).

The low power water pumps [En línea] / aut. ennos-GmbH. - Julio de 2013. - octubre de
2014. -
http://www.bfh.ch/fileadmin/docs/newsmeldungen/2013/Brochure_SolarWaterPump_BFH_2013.pdf.

Zamorano [En línea] / aut. EAP. - 31 de Octubre de 2012. - 29 de Agosto de 2013. -
[http://www.zamorano.edu/2012/10/zamorano-e-ide-promueven-la-produccion-rural-
sostenible/](http://www.zamorano.edu/2012/10/zamorano-e-ide-promueven-la-produccion-rural-sostenible/).

