

Diseño de un sistema de riego solar fotovoltaico para la evaluación de la fenología en chile jalapeño

Miguel Ángel Rodríguez-Chiunti * y Adán Vidal-Gamboa

Instituto Tecnológico Superior de Cosamaloapan, Cosamaloapan, Veracruz, México.

* Autor de correspondencia: agromiguelrc@gmail.com; Tel.: 2881164522.

Recibido: 22 de agosto de 2021

Aceptado: 8 de septiembre de 2021

Resumen: La necesidad de una mayor productividad de cultivos por unidad de superficie debido a la creciente población del mundo es una necesidad extrema, uno de los posibles enfoques para cubrir este tipo de necesidades son los sistemas de riego solares fotovoltaicos. Considerándose la disponibilidad de radiación solar y la carencia energía eléctrica en la zona experimental de estudio, se justifica el diseño de un sistema de riego solar fotovoltaico por goteo en un área experimental de 60 m² bajo malla sombra en Cosamaloapan, Veracruz, donde la estimación de la radiación solar se realizó con el modelo proporcionado de acuerdo a la ubicación geográfica por medio del software CROPWAT de la FAO. Para el cálculo de la evapotranspiración se utilizó el método de Penman-Monteith, los datos del coeficiente de cultivo (K_c) se tomaron de la guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos de la FAO y posteriormente estos datos se anexaron al software antes mencionado para su posterior procesamiento en el cálculo del requerimiento hídrico del cultivo. El objetivo principal del presente trabajo fue diseñar un sistema de riego solar fotovoltaico para la evaluación de la fenología en el cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annuum L.*) bajo malla sombra. El análisis de los resultados indica que durante los meses que comprendió el desarrollo de la investigación se presentó un promedio diario de 10.5 MJ/m² (2.91 Kwh/m²) lo que permitió cargar la batería de 9 A y 12 V en un tiempo de 4 horas a una eficiencia de carga del 80 % a través del panel solar utilizado de 50 W. La bomba de riego utilizada de 70 W se hizo funcionar de manera diaria en un tiempo de 16 minutos para cubrir la demanda de agua de cada planta (260 ml).

Palabras clave: energía; sistema; evapotranspiración; solar.

Design of a photovoltaic solar irrigation system for the evaluation of phenology in jalapeño pepper

Abstract: The need for higher crop productivity per unit area due to the growing population of the world is an extreme need, one of the possible approaches to cover this type of needs is photovoltaic solar irrigation systems. Considering the availability of solar radiation and the lack of electrical energy in the experimental study area, the design of a solar photovoltaic drip irrigation system is justified in an experimental area of 60 m² under shade mesh in Cosamaloapan, Veracruz, where the estimation of the solar radiation was carried out with the model provided according to the geographical location by means of the FAO CROPWAT software. For the calculation of evapotranspiration, the Penman-Monteith method was used, the data of the cultivation coefficient (K_c) were taken from the guide for the determination of the water requirements of the FAO crops and later these data were annexed to the aforementioned software for subsequent processing in the calculation of the water requirement of the crop. The main objective of this work was to design a photovoltaic solar irrigation system for the evaluation of phenology in the jalapeño pepper (*Capsicum annuum, L.*) under shade mesh. The analysis of the results indicates that during the months that included the development of the research, a daily average of 10.5 MJ/m² (2.91 Kwh/m²) was presented, which allowed charging the 9 A and 12 V battery in a time of 4 hours at 80 % charging efficiency through the 50 W solar panel used. The 70 W irrigation pump used was operated daily in a time of 16 minutes to cover the water demand of each plant (260 ml).

Keywords: energy; system; evapotranspiration; solar.

Introducción

El sol, fuente de vida y origen de las demás formas de energía que el hombre ha utilizado desde los comienzos de la historia, puede llegar a satisfacer gran parte de las necesidades, si se sabe cómo aprovechar de forma racional la luz que continuamente se irradia sobre el planeta. El empleo de la energía por parte del hombre ha sido una necesidad y un reto, y las energías renovables han jugado un papel importante desde que se ha descubierto su gran potencial. (Comentario personal)

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) y se estima que el 60 % de los alimentos extra requeridos tales como cereales,

frutas y verduras para garantizar la alimentación mundial en el futuro tendrán que provenir de la agricultura bajo riego; donde los países en desarrollo disponen del 75 % del área de riego (FAO, 1999). La seguridad alimenticia del mundo depende del mejoramiento de las técnicas de riego, entre otros factores de los pequeños agricultores en países en desarrollo (Barreto y Duffy, 2010), estos países cultivan la mitad del área agrícola mundial; sin embargo, el 80 % carece de acceso a los servicios eléctricos (Barreto y Duffy, 2010). 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 en un 25 % (Solé, 1994; Pastor *et al.*, 1997); pero es evidente la necesidad de perfeccionar el diseño y manejo de éstos 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; Van Campen *et al.*, 2000).

El riego de manera general se adapta a las pequeñas áreas de terreno y a los sistemas de riego fotovoltaicos (García, 2002; Van Campen *et al.*, 2000). Esta característica es de gran importancia, debido a que en la actualidad crece la importancia económica de los sistemas fotovoltaicos (Van Campen *et al.*, 2000). En este proyecto se plantea el diseño de un sistema de riego solar fotovoltaico para la evaluación de la fenología en el cultivo de chile jalapeño bajo malla sombra en Cosamaloapan, Veracruz; usando como fuente energética la energía solar fotovoltaica, con el fin de contar con una solución sustentable que mejore el rendimiento de la actividad agrícola en la región.

A nivel mundial, ya se han iniciado proyectos que solarizan diferentes tipos de riegos presurizados. En Europa, el proyecto Maslowaten, activo en 4 países, desarrolla 5 demostradores para 5 tipos diferentes de riego y genera un total de 820 KWP; también en Chile ya hay proyectos que utilizan energía solar para alimentar sistemas de riego por goteo (INDAP, 2018); otros países como Colombia también cuentan con proyectos similares (García Moreno *et al.*, 2013), en Argentina, específicamente Buenos Aires se ha presentado un proyecto que utiliza energía solar para alimentar sistemas de riego por goteo aplicados a campos de cebolla alcanzando una eficiencia en el uso del agua del 90 %, superando el 50% alcanzado con riegos por melga, permitiendo además de optimizar el recurso energético (INTA 2018).

Por otro lado, el chile jalapeño (*Capsicum annuum L.*) es una hortaliza de importancia comercial en el país por su alto valor nutritivo y la buena rentabilidad que ofrece al productor, teniéndose zonas agrícolas aptas para su cultivo. El chile jalapeño pertenece a la familia de las solanáceas y es un fruto poco carnoso, hueco, con venas y semillas al interior, de cáscara fina pero resistente, presenta un color verde y con variaciones naranjas a rojizas según va madurando, de olor y sabor característicos sin importar el color (comentario personal). En el sureste de México se cultiva en condiciones de temporal, de humedad residual y con riego por goteo. Una alta proporción del fruto cosechado se comercializa en fresco para consumo directo en el mercado local, nacional e internacional; sin embargo, la demanda de frutos de alta calidad excede la oferta actual de los productores (Moguel *et al.* 2006). El chile jalapeño es una hortaliza de clima caluroso, los intervalos de temperatura en que se desarrolla de forma normal son: mínima 10 °C, máxima 35 °C y óptima de 30 °C. La temperatura menor de 10 °C y mayor a 35 °C limitan el desarrollo del cultivo (Ramírez *et al.* 2006).

Todo lo anterior tuvo como objetivo principal diseñar un sistema de riego solar fotovoltaico para la evaluación de la fenología en el cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annuum, L.*) bajo malla sombra y además entregar una opción limpia, de nulo impacto ambiental para zonas rurales, y a su vez contribuir a una mejora en los sistemas de riego en la zona, como también en la calidad de vida de los lugareños.

Materiales y Métodos

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el área experimental del Instituto Tecnológico Superior de Cosamaloapan (ITSCO), municipio de Cosamaloapan, Veracruz, México, ubicado a 18°21'7.70" de latitud Norte y 95°48'38.42" longitud Oeste a una altitud de 10 m.

Se realizó la siembra del chile jalapeño bajo condiciones de malla-sombra con un porcentaje de filtración de la luz del 30 % en camas de cultivo preparadas de tierra natural, composta y fertilizante orgánico con dimensiones de 10 m de largo y 1.30 m de ancho, las plantas estuvieron distanciadas a 30 cm una de otra a través del marco de plantación real o cuadrado. La siembra se llevó a cabo estableciendo 2 semillas por cavidad en el suelo para asegurar la germinación de una planta. La fertilización se llevó a cabo a partir de la etapa de crecimiento vegetativo cada 2 semanas con una dosis de fertilización de N-P-K utilizando una mezcla física de 17-17-17 conocida como "triple diecisiete". Se registro la

presencia de plagas específicamente mosquita blanca y lepidópteros realizándose el control a través del ingrediente activo bifentrina a una dosis de 0.5 L/ha y presencia de hongos los cuales fueron controlados con el ingrediente activo mancozeb a una dosis de 5 g/L de agua.



Figura 1. Lugar de establecimiento del cultivo de chile jalapeño bajo condiciones de sistema de riego fotovoltaico del trabajo de investigación: (Fuente: Google Earth)

La zona se caracteriza por tener un clima cálido subhúmedo, con lluvias en verano y otoño, con una precipitación de 1659 mm como promedio anual, una humedad relativa promedio de 75-80 % anual, una temperatura media anual de 25.8 °C, una radiación promedio anual al día de 5 Kwh/m², ligeramente extremoso y con una breve sequía de medio verano o canícula; en la temporada invernal hay una ligera baja de temperatura debida a la influencia de masas de aire polar, (comentario personal).

Los datos meteorológicos necesarios para el cálculo de la evapotranspiración de referencia se han obtenido de la estación meteorológica número 30464 ubicada en el municipio de Chacaltianguis, Veracruz a una distancia de 8 km de Cosamaloapan, Veracruz. Para el cálculo de las demandas y programación del riego del cultivo, se utilizó la metodología del coeficiente único propuesta por el manual de FAO 56 (FAO, 1998) y el software de simulación CROPWAT de la FAO versión 8.0 (2021).

Para el diseño del sistema de riego fue necesario determinar la cantidad de agua por regar a cada planta de chile jalapeño de acuerdo a las condiciones climatológicas de la zona de estudio, para ello se utilizó el software CROPWAT de la FAO para determinar la evapotranspiración del cultivo, así como las fechas de riego y la cantidad de agua a utilizar

Determinación de la evapotranspiración

La evapotranspiración es un proceso simultáneo a través del cual un área de cultivo pierde agua por evaporación del suelo y transpiración del follaje, mientras que ET_0 es la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia que

ocurre sin restricciones de agua (Allen *et al.*, 2006). Para el cálculo de la ET_0 la FAO propone el método Penman-Monteith, Ecuación 1:

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \quad (1)$$

donde, ET_0 es la evapotranspiración de referencia diaria (mm); R_n es la radiación diaria neta en la superficie del cultivo (MJ/m^2); G es el flujo del calor de suelo al día (MJ/m^2); T es la temperatura media del aire a 2 m de altura ($^{\circ}C$); u_2 velocidad del viento a 2 m de altura (m/s); e_s la presión de vapor de saturación (kPa); e_a es la presión real de vapor (kPa); $e_s - e_a$ es el déficit de presión de vapor (kPa); Δ es la pendiente de la curva de presión de vapor (kPa); y γ es la constante psicrométrica (kPa).

Dado que solo se conocían los valores de temperatura máxima y mínima, así como los valores de la velocidad del viento e insolación de la zona de estudio, se utilizó el modelo CROPWAT, el cual integra todas las variables que propone el método Penman-Monteith para obtener la ET_0 de cada uno de los meses. En la Tabla 1 se presentan los valores de la ET_0 tomados de la base de datos del modelo CROPWAT realizado.

Tabla 1. Valores promedio de radiación y evapotranspiración de referencia (ET_0) para cada uno de los meses (2021) en la zona de estudio.

Mes	Radiación ($MJ \cdot m^2 / día$)	ET_0 (mm/día)
Febrero	8.9	1.97
Marzo	10.3	2.65
Abril	11.2	2.94
Mayo	11.6	3.10

Coefficientes de cultivo (K_c)

En la Tabla 2 se presentan los valores generales del coeficiente de cultivo (K_c) y los datos fenológicos del cultivo de chile jalapeño. Los datos del coeficiente de cultivo (K_c) se tomaron de la guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos de la FAO y los datos fenológicos fueron los que se observaron a través del método de evaluación en campo en cada una de las etapas del cultivo, empezando por la germinación, seguido del crecimiento vegetativo, reproducción y finalmente la cosecha. Esta información, se anexó al modelo CROPWAT para su posterior procesamiento en el cálculo del requerimiento hídrico del cultivo.

Tabla 2. Valores del coeficiente de cultivo (K_c) y la duración en días de cada una de las fases del cultivo de chile jalapeño establecido en la zona de estudio

Fase	Inicio	Desarrollo	Mediados	Final	Total
K_c	0.80		1.00	0.85	
Días	30	40	30	20	120

Evapotranspiración ET_c del cultivo

El cálculo se realizó con CROPWAT mediante el método del coeficiente único de cultivo (K_c), donde se integran los efectos combinados de la transpiración y evaporación del suelo en la relación:

$$ET_c = K_c * ET_0 \quad (2)$$

donde, ET_c es la evapotranspiración real del cultivo (mm); K_c el coeficiente del cultivo (adimensional); y ET_0 es la evapotranspiración de referencia (mm).

Tabla 3. Valores de la evapotranspiración real del cultivo (ET_c) para cada una de las fases fenológicas del cultivo de chile jalapeño (2021), ciclo primavera.

Fecha	Fase	ET_c (mm/día)
01-10 febrero	Inicio	1.54
11-20 febrero	Inicio	1.58
21-28 febrero	Inicio	1.76
01-10 marzo	Desarrollo	1.97
11-20 marzo	Desarrollo	2.25
21-31 marzo	Desarrollo	2.44
01-10 abril	Desarrollo	2.63
11-20 abril	Mediados	2.78
21-30 abril	Mediados	2.83
01-10 mayo	Mediados	2.89
11-20 mayo	Fin	2.83
21-31 mayo	Fin	2.55

Cálculo de la cantidad de agua por planta

Una vez determinada la evapotranspiración real del cultivo consumida, es necesario calcular la cantidad de agua que necesita cada planta de chile jalapeño en las fechas del calendario de riego y así determinar los tiempos que se emplearan para cumplir con el requerimiento hídrico. La aplicación del agua será a través del sistema de riego solar fotovoltaico establecido. Para el cálculo del volumen de agua necesario por planta se utilizó el método del coeficiente de evapotranspiración a través de la siguiente Ecuación:

$$V = ET_c * S \quad (3)$$

donde, V es el volumen o cantidad de agua requerida por planta (m^3); ET_c es la evapotranspiración real del cultivo (m); y S es la superficie de influencia a regar (m^2). Para realizar el cálculo de la cantidad de agua a aplicar a cada planta se convirtió en primer lugar cada evapotranspiración real del cultivo de milímetros (mm) a metros (m) y se consideró una superficie de influencia a regar de $0.09 m^2$, ya que cada planta se encontraba separada a 30 cm tanto en filas como columnas y dado que también los orificios de la cintilla de riego se encontraban espaciados a 30 cm. Por último, se realizó la conversión del volumen de m^3 a ml para presentar de esta manera la cantidad de agua diaria necesaria en ml.

En la Tabla 4 se observa la cantidad de agua que necesita cada planta de chile jalapeño con las características de establecimiento ya mencionadas anteriormente en cada una de las fechas que comprende el calendario de riego presentado en la zona de Cosamaloapan, Veracruz.

Tabla 4. Necesidad de riego diarias del cultivo de chile jalapeño en la zona de Cosamaloapan, Veracruz, en el ciclo primavera en el año 2021

Fecha	ET_c (mm)	Requerimiento hídrico (ml)
01-10 febrero	1.54	138.6
11-20 febrero	1.58	142.2
21-28 febrero	1.76	158.4
01-10 marzo	1.97	177.3
11-20 marzo	2.25	202.5
21-31 marzo	2.44	219.6
01-10 abril	2.63	236.7
11-20 abril	2.78	250.2
21-30 abril	2.83	254.7
01-10 mayo	2.89	260.1
11-20 mayo	2.83	254.7
21-31 mayo	2.55	229.5

Sistema fotovoltaico

El panel fotovoltaico seleccionado para abastecer de energía a la batería solar, la cual es la que hará funcionar la bomba de riego es el modelo Pro-5012 monocristalino Epcom Power Line de 50 W de potencia, cuyas características se resumen en la Tabla 5.

El ángulo de inclinación óptimo para la instalación del panel solar se determinó según Santamaría y Castejón (2010), teniendo un ángulo de inclinación de 20° y la orientación es sur para maximizar su rendimiento (hemisferio norte). Se utilizó un controlador de carga solar inteligente con protección contra cortocircuito de 30 A de 12-24 V con la finalidad de proteger la batería de los riesgos de sobrecarga y descarga profunda regulando la entrada de corriente proveniente del panel y la salida de corriente a la carga (bomba de riego), evitando que exista una sobrecarga o que se trabaje con voltajes por debajo de lo permitido.

Se empleó una batería Epcom Power Line modelo PL-9-12 que cuenta con una capacidad de 9 Ah y un voltaje de operación de 12 V, esta se acopló al controlador de carga junto con el panel solar y la bomba encargada de distribuir el agua por el sistema de riego.

Tabla 5. Principales características eléctricas del panel fotovoltaico Pro-5012 Epcom Power Line

Variable	Pro-5012
Potencia nominal (Pmax)	50 W
Voltaje máximo (Vmax)	17.9 V
Corriente en el punto de máxima potencia (Imax)	2.79 A
Tensión en circuito abierto (Voc)	22.1 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	2.94 A
Dimensiones del modulo	530X670X25 mm
Peso del modulo	3.6 kg

El sistema de bombeo funciona a partir de la energía que es suministrada por el panel solar fotovoltaico, este sistema es alimentado por un tanque de agua. Se utilizó una bomba de agua de diafragma con una potencia de 70 W y un voltaje de 12 V capaz de entregar de 4 a 6 L/min a una presión de 0.90 MPA.

Para la aplicación del riego se utilizó manguera de polietileno de 1/2" en la cual se realizaron perforaciones a cada 30 cm para colocar los conectores encargados de unir a la cintilla de riego. La cintilla de riego que se utilizó fue Toro modelo Aqua-Traxx Azul de origen estadounidense con un diámetro interior de 5/8" calibre 6000 con una separación a cada 30 cm entre orificio y un caudal de aplicación de 1 L/h.

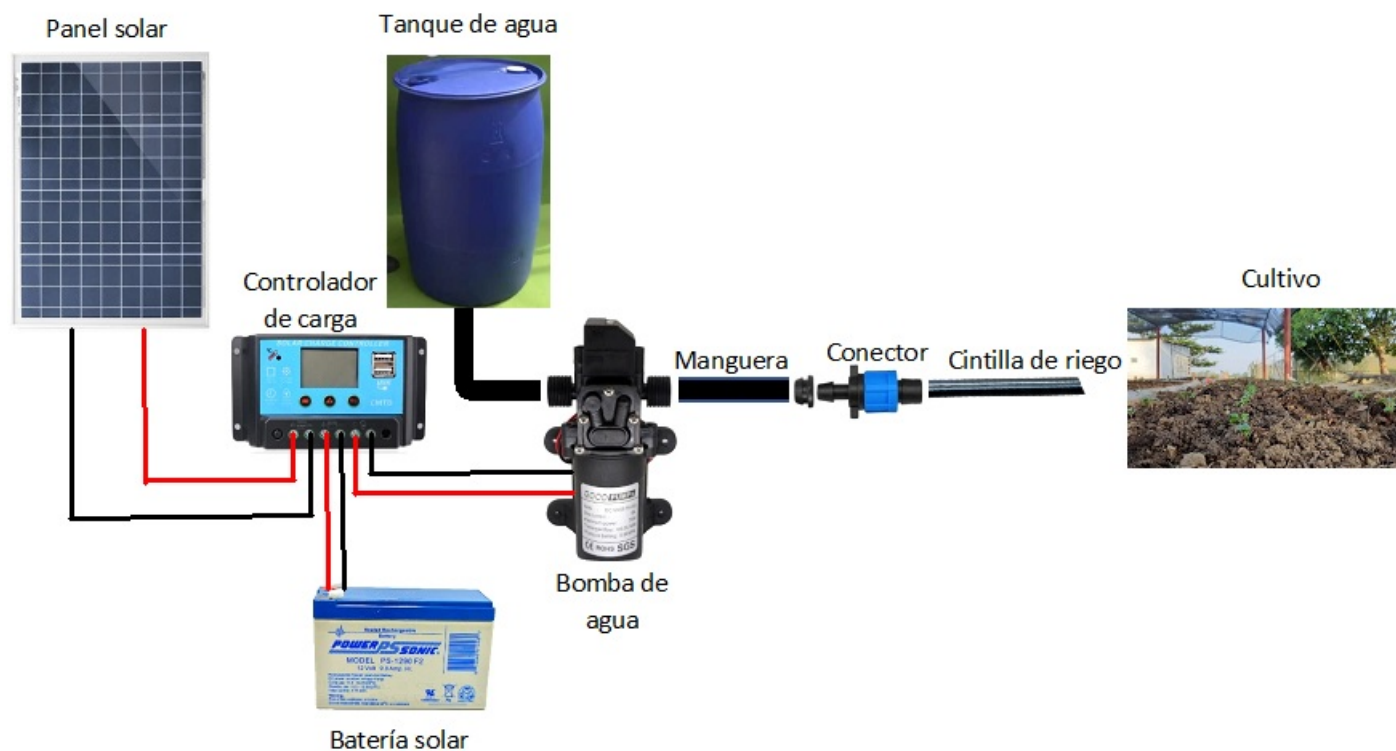


Figura 2. Representación gráfica del sistema de riego solar fotovoltaico. (Elaboración propia, 2021).

Resultados y Discusión.

En Cosamaloapan, Veracruz el comportamiento de la radiación solar permite establecer sistemas solares fotovoltaicos, ya que se cuenta de manera diaria con 8.9 MJ/m² en el mes de febrero, 10.3 MJ/m² en marzo, 11.2 MJ/m² para el mes de abril y 11.6 MJ/m² en mayo, en este sentido fue posible diseñar el sistema de riego solar fotovoltaico aplicado al cultivo de chile jalapeño para evaluar cada una de sus etapas fenológicas.

La Tabla 6 resume la Radiación diaria en la zona de Cosamaloapan, Veracruz, así como también la evapotranspiración de referencia (E_{to}), el coeficiente de cultivo (K_c), la evapotranspiración potencial (E_{Tc}), el requerimiento hídrico por planta y el tiempo de riego al día.

Tabla 6. Demandas del cultivo de chile jalapeño establecido bajo un sistema de riego solar fotovoltaico

Meses	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Radiación diaria (MJ/m ²)	8.9	10.3	11.2	11.6
E _{To} diaria (mm)	1.97	2.65	2.94	3.10
K _c	0.80		1.00	0.85
E _{Tc} diaria (mm)	4.88	6.66	8.24	8.27
Requerimiento hídrico por planta (ml)	439.2	599.4	741.6	744.3
Tiempo de riego al día (min)	9	12	15	15

Se obtuvieron los datos climáticos de la zona de estudio para los meses en los que se llevó a cabo este trabajo de investigación para poder calcular la evapotranspiración y se pudo determinar que la necesidad hídrica del chile jalapeño promedio para el mes de febrero es de 439.2 ml, 599 ml en marzo, en lo que respecta a abril es de 741.6 ml y finalmente para el mes de mayo es de 744.3 ml, de acuerdo a otras investigaciones sobre el requerimiento hídrico del chile jalapeño estos consumos de agua son aceptables ya que (Aceves *et al.*, 2008) menciona que el chile jalapeño requiere una cantidad de lluvia entre 500 y 600 ml bien distribuidos en cada etapa fenológica, durante su ciclo productivo. Esta

cantidad de agua diaria fue posible aplicarla a través del sistema de riego establecido, la bomba encargada de hacer fluir el agua hasta la zona del cultivo se encendió 9 minutos al día en el mes de febrero, 12 minutos en los días de marzo y para los meses de abril y mayo que fue donde se requirió una mayor cantidad de agua se encendió 15 minutos al día, con estos tiempos de riego se permite ahorrar el recurso hídrico a los productores ya que únicamente se estará aplicando la cantidad de agua necesaria que el cultivo de chile jalapeño necesita en la zona de Cosamaloapan, Veracruz. En lo que respecta a la batería utilizada para proporcionar la energía que se requirió para hacer funcionar la bomba de diafragma con una potencia de 70 W y un voltaje de 12 V de acuerdo al tiempo de operación se logró determinar que la carga de la batería de 9 Ah que corresponde al 100 % bajaba a un 82 %, consumiéndose 1.6 A. Esta pérdida de carga de la batería fue compensada diariamente por la energía proporcionada por el panel solar el cual contaba con una corriente en el punto de máxima potencia (I_{max}) de 2.79 A. En el caso que la batería se llegara a descargar por completo el tiempo necesario para reponer toda esa carga perdida sería de 3 horas con 52 minutos con una eficiencia de carga del 80%, de acuerdo a las características eléctricas del panel solar y la batería, tiempo suficiente para aprovechar la radiación solar de la zona de estudio que en promedio son 8 horas de luz solar al día. Por otro lado, la utilización de sistemas de riego solares fotovoltaicos permiten la utilización de fuentes de energía renovables con el fin de contar con una solución sustentable que mejore el rendimiento de la actividad agrícola en la región y el uso racional del agua en un 30 % con respecto al riego tradicional con energía eléctrica o combustibles.

Los cálculos de un diseño de riego solar fotovoltaico para riego agrícola demuestran que la energía fotovoltaica es una opción viable para las poblaciones de las regiones rurales que se dedican a la agricultura y no tienen acceso a las redes eléctricas, además la energía solar fotovoltaica, por tratarse de una de las energías menos contaminantes, que aprovecha un recurso renovable existente en el sitio y sin costos de energía eléctrica, de fácil operación y mantenimiento no ocasiona ningún impacto negativo para los seres humanos ni para el entorno.

Conclusiones

De acuerdo al objetivo principal de este trabajo de investigación el cual fue diseñar un sistema de riego solar fotovoltaico para la evaluación de la fenología en el cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annuum L.*) bajo malla sombra se permitió analizar la demanda hídrica en cada una de las etapas de crecimiento del cultivo mencionado haciendo el uso de energías alternas como la energía solar fotovoltaica disminuyendo los efectos contaminantes de las fuentes de energías tradicionales, además el uso de paneles solares permite aprovechar la radiación solar en zonas en las que el promedio de horas luz es el óptimo para la alimentación de las cargas de las baterías y su uso posterior en una infinidad de aplicaciones. En el caso de los sistemas de riego solares fotovoltaicos su funcionamiento está directamente determinado en función del correcto dimensionamiento de todos los componentes: panel solar, controlador de carga, batería, bomba y conexiones de agua.

Finalmente, como recomendación hacia los productores de chile jalapeño en la zona de Cosamaloapan, Veracruz se puede mencionar que con la implementación de un sistema de riego solar fotovoltaico al utilizar energía renovable existente en el sitio se permite minimizar los costos de energía eléctrica, mejorar la operación del riego al poderse automatizar y mejorar las labores de mantenimiento ya que no se ocasiona ningún impacto negativo en el entorno. El modelo realizado puede ser usado para analizar nuevos trabajos experimentales o teóricos, permitiendo un marco conceptual en la interpretación de los resultados obtenidos en diferentes ambientes, como un medio de mejora en el manejo de este tipo de sistemas en la región.

Bibliografía

- Doorembos, J., Pruit, W. Las necesidades de agua de los cultivos, 193pp., Serie Riego y Drenaje Número 24. FAO, pp., Roma, Italia, 1977.
- FAO, 1998. Manual de Riego y Drenaje. Número 56. Evapotranspiración del Cultivo. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. ISBN 92-5-304219-2. 353 pág.
- Instalación Solar Fotovoltaica para el Bombeo de Agua para Riego. Tutorial número 193. 2020. <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn193.html> [consultado el 14 de agosto de 2021]
- Keller, J. Manual de diseño de sistema de riego por aspersión y goteo, Utah, Estados Unidos de América, 1983.
- Lopez, R., Hernandez, A., Perez R., Gonzales J. 1992. Riego Localizado. Centro Nacional de Tecnología de los regadíos, España. 405 p.
- POWER Data Access Viewer. Radiación solar. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> [consultado el 27 de julio de 2021]
- Santamaría y Castejón, 2010. Instalaciones solares fotovoltaicas. Editorial Editex SA, España, 192 pág. ISBN 9788497716550.
- Sarmiento, A. Energía solar fotovoltaica. Temas seleccionados, 102pp., Editorial Académica. ISBN: 978-959-270-278-3, La Habana, Cuba, 2013.

- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2014). Ficha técnica del cultivo de chile jalapeño. <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Paquetes2012/143.pdf> [consultado el 12 de agosto de 2021]
- 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.
- 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.
- Villalpando, J. y Ruiz, A. C. 1993. Observaciones agrometeorológicas y su uso en la agricultura. Editorial Limusa, México. 133 p.