

# Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para un ozonificador de agua empleado en el riego agrícola



## Colaboración

Jonathan Granados Santos; Merit Cisneros González; Marco Antonio Arjona López; Darío Cisneros Arreola; Manuel Ismael Mata Escobedo, Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana

Fecha de recepción: 03 mayo de 2023

Fecha de aceptación: 05 de diciembre de 2023

**RESUMEN:** La región norte de México posee un elevado potencial de energía solar, ya que la mayor parte de los estados que la componen presentan en promedio 5 horas pico solar al día. Esto se traduce en una región con las condiciones óptimas para la implementación de sistemas de generación de energía por medio de la radiación solar.

Es por ello que se determinó la viabilidad de la implementación de un sistema fotovoltaico para abastecer el dispositivo ozonificador presentado en este trabajo. Ya que este sistema permitirá que el aparato sea portable y pueda ser utilizado en cualquier sistema de riego sin importar si se tiene o no acceso a una fuente de energía eléctrica. Además, brindará la oportunidad de ofrecer una alternativa que no represente un costo extra en cuanto al consumo de energía eléctrica del productor. Es así, que, con base a lo mencionado, con la implementación de este sistema de abastecimiento, se asegura que el productor pueda maximizar los beneficios que se obtienen a través del uso del ozono. Dentro de dichos beneficios destacan el control de enfermedades, disminución del uso de fertilizantes y pesticidas, aceleración del ciclo del cultivo, entre otros. Lo anterior, sin importar las condiciones de sus instalaciones de cultivo.

**PALABRAS CLAVE:** Energía fotovoltaica, Ozono, Agricultura.

**ABSTRACT:** The northern region of Mexico has a high solar energy potential, since most of the states that compose it have an average of 5 solar peak hours per day. This translates into a region with optimal conditions for the implementation of energy generation systems using solar radiation.

For this reason, the feasibility of implementing a photovoltaic system to supply the ozonator device presented in this work was determined. This system will allow the device to be portable and can be used in any irrigation system regardless of whether or not there is access to an electric power source. In addition, it will provide the opportunity to offer an alternative that does not represent an extra cost in terms of the producer's electrical energy consumption. Thus, based on the above, the implementation of this supply system ensures that the producer can maximize the benefits obtained through the use of ozone. These benefits include disease control, reduction in the use of fertilizers and pesticides, acceleration of the crop cycle, among others. The above, regardless of the conditions of their cultivation facilities.

**KEYWORDS:** Photovoltaic energy, Ozone, Agriculture.

## INTRODUCCIÓN

La demanda de alimentos ha aumentado exponencialmente de la mano del crecimiento poblacional. Por lo que, mientras más habitantes existan en el planeta, la cantidad de áreas disponibles para la realización de actividades como el cultivo, la ganadería, entre otras, disminuirá considerablemente. En ese sentido, ha surgido un nuevo reto para la sociedad, aumentar el rendimiento de los cultivos sin requerir mayor espacio para ello.

Como respuesta a esta nueva necesidad se han desarrollado productos químicos que permiten maximizar los rendimientos de los cultivos. Sin embargo, la mayoría representan un riesgo para la salud y medio ambiente, puesto que sus componentes resultan perjudiciales y contaminantes. Por lo que en este trabajo se plantea el desarrollo de un sistema de generación de ozono para riego agrícola, con el cual se pueda minimizar el uso de fertilizantes y/o pesticidas, maximizar los rendimientos de los cultivos y emplear fuentes de energía renovables con el objetivo de no representar un riesgo para la salud o el medio ambiente.

En los últimos años, la implementación de sistemas de generación de energía mediante fuentes de energía alternativas, ha cobrado relevancia en el desarrollo de nuevas tecnologías y sistemas que permitan mejorar la productividad de los procesos agroindustriales. Esto con el fin de ayudar a disminuir el impacto ambiental de los mismos y también algunos costos fijos propios de sus actividades [1].

Es con base a lo anterior, que el llevar a cabo un estudio previo que ayude a determinar qué tipo de sistema resulta más adecuado para la región en la que se planea implementar el sistema es de suma importancia. Por lo que esto permitirá evaluar los factores importantes para el diseño de un sistema de generación por energías alternativas, el cual en el caso de este trabajo es la solar fotovoltaica.

Los parámetros más importantes para la determinación de la factibilidad de un sistema fotovoltaico son: la inclinación y las horas pico solar. Estos definirán los requerimientos de instalación y si existe o no el potencial solar necesario para que la aplicación del sistema sea viable [2].

El realizar este estudio de factibilidad en el caso del presente proyecto, es uno de los factores más importantes para la viabilidad de la implementación del aparato ozonificador. Puesto que, al equipar de un sistema fotovoltaico a dicho ozonificador, este brindará la capacidad de trabajar sin depender de la existencia de una fuente de energía eléctrica cercana. Lo que permite que pueda ser utilizado en cualquier zona.

Lo anterior permitirá ofrecer los numerosos beneficios de la aplicación de ozono en los cultivos, aún en zonas remotas en donde carezcan de acceso a la red eléctrica.

Dentro de los beneficios mencionados se encuentran: la mejora en el rendimiento de los cultivos, aumento en la calidad del fruto cosechado, disminución de enfermedades y entre otros [3], [4].

## MATERIALES Y MÉTODOS

La creciente demanda de alimentos a nivel mundial ocasionada por el crecimiento poblacional y las proyecciones hacia el 2050 donde se espera que la población mundial sea de 11 mil millones de habitantes, ha generado que se deban implementar sistemas complementarios a los procesos de producción agrícola [5]. Esto, con la finalidad de poder mejorar los rendimientos de los cultivos, ya que derivado de este crecimiento al menos en México, las zonas destinadas al cultivo han disminuido considerablemente [6]. Situación que ha llevado a plantear el empleo de nuevas tecnologías que permitan lograr este objetivo.

Sin embargo, el utilizar nuevas tecnologías en el campo se ve limitado a la viabilidad de la aplicación de la mismas. Puesto que también se debe tomar en cuenta que en México hay una gran diferencia entre las instalaciones de los productores en cuanto a tecnificación y acceso a servicios como la energía eléctrica.

Así mismo, debe de considerarse el tema económico y en este sentido la aplicación de nuevas tecnologías en el campo que debe de ir de la mano con el empleo de tecnologías limpias, las cuales aprovechen los recursos naturales renovables para convertirlos en energía eléctrica. Esta situación conlleva a que se deba tomar en cuenta la viabilidad técnica de la aplicación de estas tecnologías a los cultivos de mayor importancia dentro de una región dada.

Es por ello, que es de suma importancia realizar un estudio previo que ayude a determinar qué tipo de sistema de generación de energía resulta más viable para la región donde se implementarán las tecnologías. Lo cual permitirá ofrecer al productor un dispositivo que coadyuve a mejorar sus procesos, otorgando mayores beneficios económicos al aumentar la calidad de su producción.

En respuesta a estas necesidades se plantea el desarrollo de un sistema de generación de ozono, equipado con una fuente de energía alternativa que logrará que pueda trabajar sin depender de la red eléctrica. Lo que se traducirá en que se ofrezca a los productores sin importar el estado de sus instalaciones, es decir, que pueda ser implementado tanto en el invernadero más austero, así como en el más automatizado.

Con base a lo ya mencionado, para la selección del sistema de generación de energía más adecuado para el ozonificador, existen varias opciones (en cuanto a las energías alternas). Dentro de las que se destacan dos de ellas, la energía eólica y la solar, siendo estas principales en México y las que se consideran de mayor potencial.

Las dos opciones mencionadas tienen la capacidad de abastecer de energía al ozonificador y para definir cuál es la más adecuada, se debe entonces considerar la complejidad tanto de operación, mantenimiento e instalación de los sistemas. Esta situación permite desestimar la opción de la energía eólica, ya que el objetivo principal del proyecto es dotar al aparato de la capacidad de ser portable y en ese sentido las turbinas deben colocarse a una altura mayor a los 10 metros de altura, para que se puedan aprovechar las ráfagas de viento constante.

Por lo tanto, la opción más adecuada como fuente de energía es la solar, puesto que el desarrollo de esta tecnología ha ido avanzando y actualmente se pueden conseguir paneles solares fotovoltaicos de una gran variedad de potencias. Además, se pueden encontrar en el mercado módulos que son flexibles y el tamaño de los mismos es cada vez más pequeño. Estas condiciones se adecuan a los requerimientos del sistema, debido a que permitirán cubrir la demanda de energía y mantener un sistema portable y con requerimientos mínimos en cuanto a la complejidad de instalación.

Determinación del potencial solar en la región norte de la república mexicana.

Después de realizar la selección de la alternativa de generación de energía más adecuada para abastecer al dispositivo, se debe analizar el potencial disponible en cuanto al recurso solar en la zona. Esto porque que de ello dependerá que el sistema fotovoltaico logre cubrir los requerimientos del ozonificador.

Tomando en cuenta que la región en la que se planea utilizar el dispositivo es la zona norte del país, se debe realizar un estudio del potencial solar disponible, el cual está dado por las horas pico solar (HPS). Dicho parámetro representa la cantidad de horas al día en que la radiación solar se encuentra en valores iguales o superiores a los 1000 W/m<sup>2</sup>.

Para realizar el estudio del potencial solar se consultó la aplicación del Centro de Capacitación Eléctrica y Energías Alternas (CCEEA) denominada Solar App. Esto con el objetivo de analizar el comportamiento del recurso solar a lo largo del año. La Fig. 1 muestra la ventana principal de la aplicación.

Con los datos obtenidos se desarrolló la Tabla 1 en la cual se escribieron los valores de las horas pico solar mensuales, para después obtenerse un promedio de las mismas para el Estado de Durango, además de que se capturó su inclinación. Una vez realizado esto, se obtuvo la Tabla 2, que muestra únicamente a los estados del norte de la república mexicana que fueron analizados y el promedio de HPS de cada uno, con su respectiva inclinación.

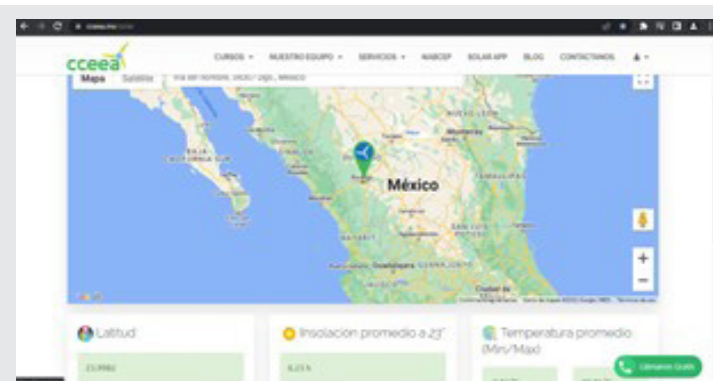


Figura 1.- Captura de pantalla de la aplicación Solar app de la CCEEA.

Fuente: imagen tomada de <https://ccea.mx/solar>

Tabla 1.- Horas pico solar (HPS) mensuales en el Estado de Durango.

Durango		
Mes	INCLINACION	HPS
Enero	23°	5.85
Febrero	23°	6.87
Marzo	23°	7.4
Abril	23°	7.35
Mayo	23°	6.81
Junio	23°	5.85
Julio	23°	5.34
Agosto	23°	5.56
Septiembre	23°	5.4
Octubre	23°	6.37
Noviembre	23°	6.14
Diciembre	23°	5.76
Promedio anual		6.23

### Estudio de viabilidad técnica del sistema fotovoltaico como alternativa de generación de energía.

Como se puede observar en las Tablas 1 y 2, el potencial de la región en cuanto a recurso solar es elevado. Esto permite establecer que la implementación de un sistema fotovoltaico como fuente de energía para el sistema, es viable desde el punto de vista del diseño.

Continuando con el análisis de la viabilidad de la aplicación de un sistema de este tipo, se tiene que considerar la variable económica. Esto debido a que, al ofertar el producto en el mercado, debe competir con las alternativas que se encuentren disponibles. En este sentido el ofrecer un sistema ozonificador de bajo costo que proporcione importantes beneficios como: mejora de la calidad

del fruto cosechado, disminución del tiempo que el cultivo tarda en producir frutos, minimización en el uso de fertilizantes y pesticidas y lo más importante, el control de plagas y enfermedades. Lo que asegurará que dicho sistema se logre colocar entre los productores como una opción atractiva por encima de otros productos agrícolas.

**Tabla 2. - Promedio de horas pico solar (HPS) anuales por estado de la zona norte.**

Horas Pico Solar Zona Norte		
Estado	Inclinación	HPS/ año
Durango	23°	6.23
Sinaloa	24.79°	6.12
Zacatecas	22.74°	6.25
Sonora	29.06°	6.53
Chihuahua	28.58°	6.31
Tamaulipas	23.69°	5.54
Nuevo León	25.68°	5.68
B.C. Norte	32.57°	6.5
B.C. Sur	24.1°	5.92
<b>Promedio</b>		<b>6.12</b>

Es por ello que, como parte del estudio primero se debe de realizar un análisis del consumo de energía eléctrica del sistema de generación de ozono. En la Tabla 3 se muestra un análisis de las cargas de cada uno de los componentes del ozonificador, así como también los voltajes de trabajo de cada uno de ellos.

**Tabla 3. - Análisis de cargas del ozonificador.**

Análisis de las cargas del ozonificador			
Componente	Voltaje	Corriente (mA)	Consumo (kW/h)
Bomba de aire	127 Vca	2.7	0.0035
Reactor de efecto corona	127Vca	118	0.015
Tarjeta ESP32	5 Vcc	180	0.001
Arduino UNO	5Vcc	460	0.0023
<b>Totales</b>		<b>760.7</b>	<b>0.0218</b>

Como se puede observar en la Tabla 3 hay diferentes voltajes de trabajo de los componentes del ozonificador. Esto se debe de tomar en cuenta para el dimensionamiento fotovoltaico, porque los componentes del sistema de automatización tienen un voltaje de trabajo diferente al de los demás componentes.

Así mismo, de este análisis se pueden obtener varias conclusiones en cuanto a la variable económica del sistema, ya que al observar el consumo de energía en kW/h se tiene un consumo menor a 0.5 kW/h. Esto se traduce en un sistema fotovoltaico de bajo costo y en cuanto a requerimiento de espacio, la superficie será reducida.

Con base a estos resultados, se puede determinar que el implementar un sistema fotovoltaico resulta viable para abastecer de energía al sistema de ozonificación, porque permitirá cubrir los requerimientos de energía del aparato y la implementación del mismo no representará un aumento considerable en el costo final.

**Dimensionamiento del sistema fotovoltaico (SFV).**

Después de analizar el consumo de los componentes y de establecer los requerimientos del sistema, se procedió a realizar el dimensionamiento del SFV. Cabe mencionar que se dimensionó un sistema capaz de abastecer al ozonificador y al mismo tiempo poder cubrir el consumo de energía de otros aparatos que el productor pueda utilizar, como lo pueden ser cargadores para baterías de celular, taladros inalámbricos, modem WiFi, entre otros que no representen cargas elevadas.

Para comenzar con el dimensionamiento del SFV, el paso siguiente fue calcular la cantidad de paneles necesarios para cumplir con la demanda de energía del ozonificador. Por este motivo se desarrolló la Tabla 4 en la cual se relacionan los consumos de energía con las horas de trabajo diarias del dispositivo, obteniendo el consumo diario y después mensual del aparato [7].

Después de obtener los datos de consumo en kWh por día, se debe buscar el tipo de panel con el que se planea trabajar, ya que de este mismo se obtendrán los datos que se requieren para continuar con el dimensionamiento. En el caso de este diseño, el panel fotovoltaico seleccionado fue un panel solar de 150 W y una corriente de 10 A, con un voltaje de salida de 12 Vcc.

Un punto importante a destacar para la selección de este panel es que posee la característica de tener una salida USB de 5 V y 3 A. Además, este panel viene en un kit con terminales y un controlador de carga para SFV aislados. Dichas características lo vuelven

la opción más viable para el propósito requerido, aunado a que su costo es aproximadamente \$1,000.00 MXN.

Tabla 4.- Cálculo del consumo diario y mensual de ozonificador.

Consumo diario y mensual de los componentes del ozonificador de agua de riego agrícola			
Componente	Potencia (kW)	Tiempo de trabajo (horas)	Consumo (kWh)
Bomba de aire	0.0035	1	0.0035
Reactor de efecto corona	0.015	1	0.015
Tarjeta ESP32	0.001	1	0.001
Arduino UNO	0.0023	1	0.0023
<b>Consumo diario</b>			0.0218
<b>Consumo mensual</b>			0.6649

Para continuar con el cálculo del SFV y después de haber obtenido el consumo diario de energía del dispositivo y conocer las especificaciones del módulo solar con el que se va a trabajar. Como siguiente paso es llevar a cabo el dimensionamiento como se muestra en la Tabla 5. En esta Tabla se relaciona el consumo diario del dispositivo con las variables de diseño del SFV, es decir con las HPS, la potencia del panel. Mediante la fórmula mostrada en la Ec. 1.

$$\text{Número de Paneles} = \frac{\text{Consumo diario (kWh/día)}}{\text{HPS} * \text{Potencia panel (kW)}} \quad \text{Ec. (1)}$$

En la Tabla 5 se muestra el dimensionamiento del sistema. Es importante mencionar que las HPS del diseño se establecieron en 5.6 ya que se trabaja con una disminución de 10% por concepto de pérdidas en el sistema, las cuales tienen que ver con longitud del cable, eficiencia del inversor y del controlador de carga, entre otras más.

Como se puede observar en la Tabla 5, se requiere una cantidad menor a un panel, sin embargo, no es posible dividir el panel, razón por la cual el sistema estará conformado únicamente por un módulo fotovoltaico, controlador de carga, batería y el inversor. La Figura 2 muestra el esquema básico de un SFV de este tipo y que es utilizado en este trabajo.

Para continuar con el proceso de dimensionamiento del SFV, se debe considerar que será de

Tabla 5.- Número de paneles del SFV.

Generación del SFV y número de paneles	
Consumo diario (4 h de uso)	0.0872
Horas Pico Solar (HPS)	5.6
Potencia del panel (kW)	0.15
Generación diaria	0.84
Número de paneles empleados	1

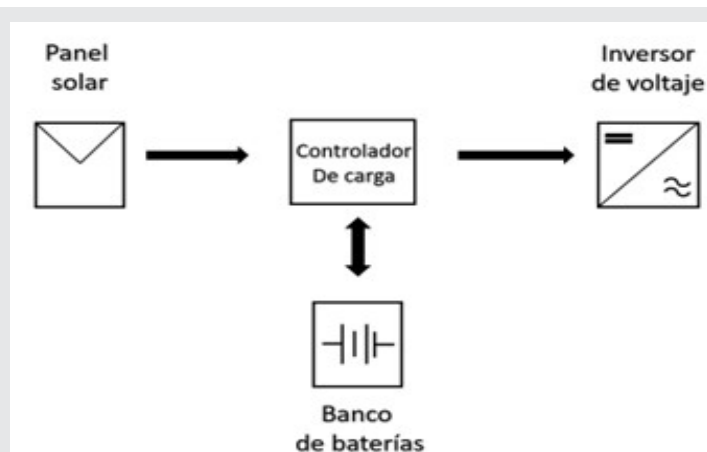


Figura 2.- Esquema de un sistema fotovoltaico aislado

tipo aislado, lo que significa que deberá tomarse en cuenta que se requerirá una batería y un controlador de carga. Esto debido a que ambos componentes son indispensables para el correcto funcionamiento de un sistema de estas características, por lo tanto, se deberá hacer un cálculo de la corriente en Amperios por hora (Ah), los cuales representan la corriente consumida por cada uno de los componentes del sistema durante el tiempo de trabajo del mismo.

En la Tabla 6 se muestra el consumo de corriente de cada componente. Como parte del cálculo, se deben de tomar en cuenta las pérdidas del sistema, las cuales en este caso se considerarán de alrededor de un 20% por concepto de las pérdidas ya mencionadas anteriormente, esta consideración es conocida como factor de seguridad [8].

Los Ah necesarios para el funcionamiento del sistema son 0.9132 Ah (considerando el 20% del factor de seguridad). Cabe mencionar que el sistema trabaja por periodos de una hora por aplicación y

se realizan aplicaciones una vez por semana. En ese sentido, el sistema se encuentra sobredimensionado, lo que permite tener una fuente de energía para otros dispositivos de bajo consumo.

Por lo tanto, se tomó la decisión de utilizar una batería que otorga 7 Ah y que permite con ello poder cumplir con el objetivo antes planteado, así mismo, se tendrá un respaldo de energía para realizar varias aplicaciones del ozono. Se debe mencionar que el empleo de esta batería no supone un costo extra elevado y sus dimensiones (7.5 x 15 x 10cm) permiten que pueda ser colocada como un módulo en la estructura del ozonificador, situación que permite que se siga cumpliendo el objetivo de mantener un dispositivo portable y de bajo costo.

**Tabla 6. - Consumo de corriente total del ozonificador.**

<b>Consumo de corriente</b>			
<b>Componente</b>	<b>Corriente (A)</b>	<b>Tiempo de trabajo (h)</b>	<b>Consumo de corriente (Ah)</b>
<b>Bomba de aire</b>	0.0027	1	0.0027
<b>Reactor de efecto corona</b>	0.118	1	0.118
<b>Tarjeta ESP32</b>	0.18	1	0.18
<b>Arduino UNO</b>	0.46	1	0.46
<b>Total</b>			<b>0.761</b>

En cuanto al inversor para este sistema aislado, se debe de utilizar un inversor que pueda cubrir la demanda de potencia del ozonificador. Es por ello que se toma en cuenta que el inversor soporte una potencia mínima de 0.0218 kW, es decir 21.8W, más un margen de 30% por conceptos de potencias de arranque de los componentes del sistema ozonificador [9]. Sin embargo, se consideró también el uso de un inversor de mayor potencia, para poder abastecer de energía a otros dispositivos como ya se ha mencionado.

En este caso el inversor seleccionado es un inversor de corriente directa a alterna marca TRUPPER de 400W, debido a que posee dos salidas USB que al igual que el panel brindan 5 V y 3 A en corriente directa. Esto permite alimentar el sistema de automatización del ozonificador sin requerir de un componente extra para la adaptación del voltaje.

Así mismo y también al igual que el panel solar y la batería su costo es de alrededor de los \$1000.00

MXN y sus dimensiones permiten que se pueda colocar también como un módulo en el ozonificador de agua.

**Impacto económico, social y medioambiental de la aplicación del dispositivo**

La implementación del SFV al dispositivo representa una mejora invaluable para los alcances del generador de ozono, ya que a través de esta adición puede ser ofrecido a cualquier productor en la región sin importar donde estén ubicadas sus instalaciones.

Aunado a lo anterior, se puede mencionar que, según el análisis realizado durante el periodo de pruebas del sistema generador de ozono, uno de los mayores problemas de los productores al momento de iniciar un nuevo ciclo de cultivo es: las enfermedades y plagas que se pueden presentar desde el momento en que se están germinando las semillas y al momento del trasplante.

Por lo tanto, para prevenir estos problemas, desde esta etapa del ciclo del cultivo se comienzan a utilizar complementos químicos. Cuyos componentes no solamente representan un riesgo para la salud de los que los manejan, sino que también existen repercusiones medio ambientales y económicas. Estas últimas, relacionadas con el costo los productos y la periodicidad del uso de los mismos.

Además, al utilizar dichos productos químicos en los frutos cosechados que son ofrecidos en el mercado ya sea local, nacional o internacional, representarán un riesgo para la salud a futuro debido a su uso.

En este sentido se ha comprobado mediante las diferentes pruebas realizadas con el ozonificador, que posee la capacidad de controlar y erradicar plagas y enfermedades, como es el caso de los nematodos, el fusarium y el mildiu. Los cuales pueden llegar a comprometer el rendimiento de los cultivos e incluso acabar con los mismos.

Al hablar de los beneficios que ofrece el ozono a los cultivos, es importante mencionar el impacto en el desarrollo sustentable (Medio ambiente, economía y sociedad en equilibrio), ya que como se mencionó en el párrafo anterior, tiene la capacidad de controlar plagas y enfermedades, lo que se traduce en una disminución considerable del uso de pesticidas. Pero también tiene la capacidad de acelerar el desarrollo de los cultivos, situación que ocasiona que no se requieran las mismas cantidades de fertilizantes.

Lo anterior se traduce en una disminución de los costos de producción de los cultivos, la cual varía según el tipo de cultivo, extensión del terreno de cultivo y tipo de ciclo (medio ciclo o ciclo completo). En cuanto al factor medio ambiental, la disminución

del uso de los productos ya mencionados se traduce en la disminución de la huella de contaminación de este proceso.

Por último, en cuanto al factor social, los beneficios se dan en el sentido de la calidad de los productos que se ofrecerán al mercado, ya que los mismos tendrán un menor contenido de productos riesgosos para la salud y habrá una mayor cantidad de productos de primera calidad a su disposición.

### **Costo del producto en el mercado y como competirá**

El costo final del dispositivo será competitivo desde el punto de vista de los beneficios que se ofrecen y el tiempo de vida útil del mismo. Debido a que, el costo del dispositivo rondará entre los \$5,000 a \$7,500 MXN, según las necesidades del cliente, pero su vida útil se prolongará durante varios ciclos de cultivo, mientras que los pesticidas y fertilizantes solamente son utilizados durante un ciclo de cultivo e incluso algunos solamente tienen la cantidad necesaria para una aplicación y sus costos finales superan con un amplio margen los precios estimados para el generador de ozono.

### **RESULTADOS**

Se logró dimensionar un sistema fotovoltaico que permita abastecer al dispositivo, dotándolo de autonomía para realizar su trabajo, así mismo el sistema puede abastecer otros dispositivos del productor, con la condición de que sean de bajo consumo de energía, como lo pueden ser cargadores de celular o de taladros inalámbricos, módem Wifi, entre otros dispositivos.

El diseño final del dispositivo con el SFV incluido posee unas dimensiones de 50 x 25 x 15 cm, debido a que el componente principal del SFV (el panel solar) mide 30 x 20 x 0.05 cm y la batería, el inversor y el controlador de carga son módulos que se colocan a los lados del dispositivo y entre ellos complementan las medidas del aparato final.

En cuanto a la autonomía de carga del dispositivo, se ha logrado realizar 7 aplicaciones de ozono sin consumir más del 15% de la batería disponible. También se han realizado aplicaciones con dos dispositivos de ozonificación extras sin que los mismos presenten fallas en el funcionamiento y sin consumir más del 50% de la carga de la batería.

Es posible entonces proyectar al menos 15 servicios de ozonificación sin consumir la batería por completo, traduciéndose en una autonomía de 15 semanas (únicamente utilizando los ozonificadores). Sin embargo, el panel solar está recargando continuamente el sistema, lo que ayuda a que la carga siempre se encuentre al 100%.

Con respecto al uso del dispositivo como fuente de energía para otros aparatos, se ha probado el sistema con cargadores de baterías para taladros inalámbricos, cargadores de celular y bocinas bluetooth. En ese sentido, la carga de la batería se consumió después de 2 cargas de las baterías de los taladros, pero en el caso de las bocinas y cargadores de celular, después de 10 cargas la batería solamente perdió el 75% de la energía.

En lo concerniente al sistema final, se logró obtener un diseño modular que permite que el SFV se encuentre integrado al ozonificador, lo que permite que pueda ser transportado y colocado en cualquier sistema de riego, sin importar sus condiciones.

En relación a los beneficios del uso del dispositivo en la agricultura y tal como se ha mencionado con anterioridad, el ozono permite mejorar los rendimientos de los cultivos, controlar enfermedades y plagas, acelerar los tiempos de producción y disminuir el uso de fertilizantes y pesticidas. Y en ese sentido, la utilización del SFV maximiza el alcance del aparato, ya que el costo final se mantendrá accesible y permite que este sea utilizado en cualquier tipo de invernadero o cultivo a cielo abierto (En este tipo de cultivo si requiere un grado de tecnificación determinado en cuanto al sistema de riego).

### **CONCLUSIONES**

La implementación del sistema fotovoltaico (SFV) como alternativa para el abastecimiento de energía eléctrica para el dispositivo de ozonificación de agua, resulta viable ya que como se ha mencionado en el presente trabajo. A través de un análisis del potencial solar de la región norte del país, se pudo observar que la misma posee un promedio mayor a 5 HPS, lo cual se traduce en que sea una zona con condiciones óptimas para la implementación de SFV.

Así mismo el uso de un SFV como fuente de energía permite que el dispositivo pueda ser utilizado sin la necesidad de que los productores tengan acceso a la red eléctrica, lo que se traduce en que pueden adquirir el ozonificador de agua sin importar el grado de tecnificación de sus instalaciones.

También se estableció viabilidad del uso de este dispositivo, ya que como se ha mencionado a lo largo de este artículo, la aplicación de ozono en el agua de riego trae consigo muchos beneficios para el cultivo y el medio ambiente. Además de que a través de dichos beneficios se está ayudando a cumplir con los objetivos de desarrollo sustentable y de disminución de uso de productos riesgosos para el medio ambiente.

De la misma forma, desde el punto de vista de los planes de desarrollo nacional, el desarrollo e im-

plementación del dispositivo ayuda a cumplir con los objetivos planteados en cuanto a desarrollo sustentable del país, así como también los objetivos establecidos en la estrategia nacional para disminuir el uso de fertilizantes y pesticidas.

Existen también trabajos futuros en cuanto a la mejora continua del dispositivo, como lo son el estudio de los beneficios de utilizar el ozono de manera foliar, así como analizar su interacción con productos orgánicos creados para maximizar el rendimiento de los cultivos. Del mismo modo, será vital para el desarrollo el mantenerse a la vanguardia en cuanto al desarrollo de nuevos SFV, que puedan traducirse en la realización de dispositivos cada vez más compactos.

### BIBLIOGRAFÍA

[1] A. Alvarado, "Energías alternativas en la actualidad: una aproximación al impacto social del nuevo modelo energético," *Gestión I+D*, vol. II, nº 2, pp. 131-148, 2017.

[2] C. Pilar, L. Vera, C. Martínez y Á. Poladian, "Estudio de factibilidad de instalación de sistemas fotovoltaicos en viviendas tipo de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires," *Arquitecno*, No. 13, pp. 25-34, 2019.

[3] J. Granados S., M. Cisneros G., D. Cisneros A., M. I. Mata E. y O. G. Alaniz V., "Desarrollo de un dispositivo generador de ozono (O<sub>3</sub>) alimentado por fotoceldas para su uso en la agricultura," *Aristas*, vol. IX, No. 17, pp. 13-18, 2022.

[4] S. L. Ricaurte G., "Ozonoterapia, una opción para el sector agropecuario," *REDVET*, vol. VII, No.10, pp. 1-16, 2006.

[5] ONU, "Creciendo a un ritmo menor, se espera que la población mundial alcanzará 9,700 millones en 2050 y un máximo de casi 11.000 millones alrededor de 2100: Informe de la ONU," *United Nations Department of Public Information*, Nueva York, 2019.

[6] A. Sosa B. y G. Ruiz I., "La disponibilidad de alimentos en México: Un análisis de la producción agrícola de 35 años y su proyección para 2050," *papeles de población*, No. 93, pp. 207-230, 2017.

[7] L. P. Viñas, "Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos," *Universidad Politécnica de Cataluña*, Cataluña, 2011.

[8] A. C. A. Fajardo, "Análisis, diseño y simulación de sistema solar fotovoltaico para suministro eléctrico en apoyo a programa nutricional en la escuela rural el Cardonal, Tibaná (Boyacá)

– Colombia.," de *Proyecto de grado para obtener el título de Magister en ingeniería con énfasis en energías alternativas*, Bogotá, *Universidad Libre Colombia*, 2016, p. 138.

[9] M. Serrano Hernández, "Research Gate," 04 01 2019. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/330141118\\_Dimensionado\\_de\\_Sistemas\\_FOTOVOLTAICOS\\_Aislados](https://www.researchgate.net/publication/330141118_Dimensionado_de_Sistemas_FOTOVOLTAICOS_Aislados). [Último acceso: 23 01 2023].