



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO

**INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DE DURANGO**

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE  
POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



**INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DEL VALLE DEL GUADIANA**



**“DESARROLLO DE UN PROTOTIPO GENERADOR DE  
OZONO (O<sub>3</sub>) ALIMENTADO POR FOTOCELDA PARA SU  
USO EN LA AGRICULTURA”**

**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

**Maestría en Ingeniería**

**Presenta:**

I.E.R Jonathan Granados Santos

**Director de tesis:**

Dra. Merit Cisneros González

**Co-Director:**

Dr. Manuel Ismael Mata Escobedo

Durango, Dgo. México, MAYO, 2023.





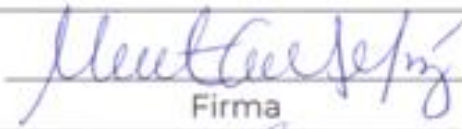



**Desarrollo de un dispositivo de generación de ozono (O<sub>3</sub>) alimentado por fotocelda para su uso en la agricultura**

**Presenta:**

I.E.R. JONATHAN GRANADOS SANTOS

**COMITÉ TUTORIAL**

**COMITÉ TUTORIAL**

<u>Dra. Merit Cisneros González</u> Director	 Firma
<u>Dr. Manuel Ismael Mata Escobedo</u> Codirector	 Firma
<u>Mtro. Darío Cisneros Arreola</u> Asesor	 Firma
<u>Mtro. Oscar Gilberto Alaniz Villanueva</u> Asesor	 Firma

M.C. Norma Alicia García Vidaña



**Coordinadora del programa de la Maestría en Ingeniería.**

M.C. Adriana Eréndira Murillo



**Jefa de la División de Estudios de Posgrado e Investigación**

Durango, Dgo. México

mayo de 2023





**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Durango  
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Victoria de Durango, Dgo., a **01/Junio/2023.**

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
DEPI / C / 231 / 23.

**ASUNTO:** Autorización de Tema de Tesis de Maestría.

**C. JONATHAN GRANADOS SANTOS**  
**No. DE CONTROL G20790152**  
**P R E S E N T E .**

Con base en el Reglamento en vigor y teniendo en cuenta el dictamen emitido por el Jurado que le fue asignado, se le autoriza a desarrollar el tema de tesis para obtener el **Grado de Maestro en Ingeniería** cuyo título es:

**“DESARROLLO DE UN PROTOTIPO GENERADOR DE OZONO (O<sub>3</sub>) ALIMENTADO POR FOTOCELDA PARA SU USO EN LA AGRICULTURA”**

**CONTENIDO:**

	RESUMEN
CAPÍTULO I	INTRODUCCIÓN
CAPÍTULO II	MARCO TEÓRICO
CAPÍTULO III	MATERIALES Y MÉTODOS
CAPÍTULO IV	CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES
CAPÍTULO V	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**ATENTAMENTE.**

Excelencia en Educación Tecnológica®  
“La Técnica al Servicio de la Patria”

*C. Adriana Eréndira Murillo*

**C. ADRIANA ERÉNDIRA MURILLO**  
**JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE**  
**POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



AEM'ammc.



Fecha de Inicio: 2018.12.21  
Fecha de Última Actualización: 2022.12.21  
Fecha de Revisión: 2022.12.21  
Fecha de Terminación: 2022.12.21  
RSGC 997

Av. Felipe Pescador #1620 Ote. Col. Nueva Vizcaya C.P. 34060 Durango, Durango.  
Tel. (612) 2290900 e-mail: [dir\\_itdurango@tecnm.mx](mailto:dir_itdurango@tecnm.mx) [tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [itdurango.edu.mx](http://itdurango.edu.mx)



2023  
AÑO DE  
**Francisco**  
**VILLA**



Victoria de Durango, Dgo., a **01 / Junio / 2023.**

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
DEPI / C / 232 / 23.

**ASUNTO:** Autorización de Impresión de Tesis de Maestría.

**C. JONATHAN GRANADOS SANTOS**  
**No. DE CONTROL G20790152**  
**PRESENTE.**

De acuerdo al reglamento en vigor y tomando en cuenta el dictamen emitido por el jurado que le fue asignado para la revisión de su trabajo de tesis para obtener el **Grado de Maestro en Ingeniería**, esta División de Estudios de Posgrado e Investigación le autoriza la impresión del mismo, cuyo título es:

**“DESARROLLO DE UN PROTOTIPO GENERADOR DE OZONO (O<sub>3</sub>) ALIMENTADO POR FOTOCELDA PARA SU USO EN LA AGRICULTURA”**

Sin otro particular de momento, quedo de Usted.

**ATENTAMENTE.**

*Excelencia en Educación Tecnológica®*  
*“La Técnica al Servicio de la Patria”*

**C. ADRIANA ERÉNDIRA MURILLO**  
**JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



AEM'ammc.





## RESUMEN

El crecimiento poblacional y las proyecciones del mismo hacia el año 2050, ha ocasionado un aumento drástico en la demanda de alimento por parte de la sociedad, situación por la cual han comenzado a presentar problemas de desabasto y un alza considerable en el precio de los productos alimenticios. Considerando esta situación y con la intención de ofrecer una alternativa que permita ayudar a solucionarla, se plantea el desarrollo de un sistema de generación de ozono diseñado para ser utilizado en sistemas de riego agrícolas, lo que permitirá ofrecer a los productores un dispositivo que ayuda a aumentar el rendimiento de sus cultivos sin requerir más espacio para ellos, considerando que existe una disminución del área destinada para este fin. Así mismo, la implementación de un sistema fotovoltaico para abastecer al dispositivo, permitirá que este pueda ser utilizado en cualquier zona de cultivo sin importar si tiene o no acceso a la red eléctrica. La utilización de este sistema traerá consigo beneficios tangibles para los productores, de entre los cuales se destacan la disminución del empleo de pesticidas y fertilizantes, además de un incremento notable en la calidad del fruto. Del mismo modo, se determinó que su implementación resulta viable tanto económica como técnicamente, ya que representa una sola inversión y puede ser utilizado durante varios ciclos de cultivo, y en cuanto a su utilización, solamente requiere una sencilla capacitación y su mantenimiento es sencillo y económico.



## **ABSTRACT**

Population growth and its projections for the year 2050 have caused a drastic increase in the demand for food by society, a situation that has led to problems of shortages and a considerable increase in the price of food products. Analyzing this situation and with the objective of offering a solution for it, the development of an ozone generation system for use in agricultural irrigation systems is sought. This will allow offering the producers a device that will give them the capacity to increase the yield of their crops while complying with the requirement of not increasing the space they have, since the aforementioned problem has caused a decrease in the cultivation areas. On the other hand, the need to supply energy to the device by means of a photovoltaic system was detected and therefore it can be used in any irrigation system. The use of this system will bring tangible benefits to growers, including a reduction in the use of pesticides and fertilizers, as well as a significant increase in the quality of the fruit. Likewise, it was determined that its implementation is economically and technically feasible, since its use represents a low cost compared to other technologies, and its maintenance is simple and economical. As for the complexity of use, it can be operated by any person after a brief training.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	i
ABSTRACT .....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
INDICE DE FIGURAS .....	v
INDICE DE TABLAS .....	vi
LISTA DE NOMENCLATURA.....	vii
DEDICATORIA .....	viii
AGRADECIMIENTOS.....	viii
CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN .....	9
1.1 Antecedentes. ....	9
1.2 Justificación. ....	9
1.3 Objetivos. ....	10
1.3.1 Objetivo general.....	10
1.4 Delimitación. ....	11
CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO.....	12
2.1 El ozono y sus generalidades.....	12
<b>2.2 Generación de Ozono</b> .....	13
2.3 Agricultura.....	14
<b>2.3.1 Tipos de agricultura</b> .....	16
2.4 Sistemas fotovoltaicos. ....	18
<b>2.4.1 Dimensionamiento Fotovoltaico.</b> ....	21
2.5 Ahorro de energía .....	24
CAPITULO 3 MATERIALES Y MÉTODOS .....	27
3.1 Diseño del ozonificador.....	29
3.2 Metodología para las pruebas de funcionamiento del ozonificador .....	32

<b>3.2.1 Pruebas en campo.</b> .....	32
<b>3.2.2 Pruebas en sistemas hidropónicos.</b> .....	33
<b>3.2.3 Pruebas en cultivo de tomate</b> .....	33
3.3 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico. ....	42
<b>3.3.1 Determinación de las horas pico solar (HPS).</b> .....	42
<b>3.3.2 Tabla de dimensionamiento del sistema fotovoltaico.</b> .....	48
<b>3.3.3 Sistema fotovoltaico aislado para el generador de ozono.</b> .....	50
3.4 Escalamiento del sistema. ....	54
<b>3.5 Determinación de ozono optimo.</b> .....	54
CAPITULO 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	58
CAPITULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	61
ANEXOS .....	65
ANEXO I .....	65
Imágenes de la prueba en invernadero. ....	65



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Estructura de la molécula de ozono.....	12
Figura 2.- producción de ozono.....	13
Figura 3.- Generación de ozono a través del efecto corona. ....	14
Figura 4.- Generación y degradación del ozono mediante rayos UV.....	14
Figura 5.- Fibras textiles provenientes del algodón. ....	15
Figura 6.- Inicios de la agricultura. ....	15
Figura 7.- Desarrollo tecnológico de la agricultura a través del tiempo. ....	16
Figura 8.- Ejemplo de agricultura protegida. ....	17
Figura 9.- Invernadero de tipo gótico con paredes de malla anti áfidos. ....	18
Figura 10.- Invernadero tipo túnel con paredes de plástico. ....	18
Figura 11.- Proceso de generación de energía a través de sistemas fotovoltaicos. ....	19
Figura 12.-SFV de tipo aislado.....	20
Figura 13.- SFV de tipo interconectado a la red.....	21
Figura 14.- Comparativa del consumo eléctrico en las diferentes tecnologías de iluminación..	25
Figura 15.- Tipos de energías alternativas. ....	26
Figura 16.- Esquema básico de un generador de efecto corona.....	29
Figura 17.- Sistema de generación de ozono seleccionado. ....	31
Figura 18.- modelo 3D del generador de ozono. ....	31
Figura 19.- Interior del invernadero durante las primeras semanas. ....	34
Figura 20.- Raíz de la plántula de tomate durante la primera semana después del trasplante al invernadero.....	36
Figura 21.- Raíz de la planta después del riego con agua ozonificada.....	37
Figura 22.- Tomate cosechado del invernadero. ....	38
Figura 23.- Medidor de grados Brix con una muestra de jugo del tomate cosechado.....	39
Figura 24.- Medición de grados brix de tomate cosechado.....	39
Figura 25.- Plantas de tomate durante la sexta semana del ciclo, donde aún se regaba todo el invernadero con agua ozonificada.....	40
Figura 26.- Plantas de tomate durante el cuarto mes del cultivo.....	41
Figura 27.- Panel solar para el sistema fotovoltaico.....	51
Figura 28.- Controlador de carga para el sistema fotovoltaico.....	51
Figura 29.- Batería para el sistema fotovoltaico.....	52

Figura 30.- Inversor de corriente para el SFV.....	52
Figura 31.- Sistema Fotovoltaico para abastecer de energía al generador de ozono.....	53
Figura 32.- Plantas durante la segunda semana después del trasplante.....	65
Figura 33.- Planta de tomate regada con ozono.....	65
Figura 34.- Planta de tomate durante la 4ta semana, comienza la floración. ....	66
Figura 35.- Primeros frutos en el cultivo (Semana 7 después del trasplante). ....	67

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Variables de decisión.....	28
Tabla 2.- HPS mensuales en Durango, Dgo y su promedio anual. ....	43
Tabla 3.- HPS mensuales en Culiacán y su promedio anual. ....	44
Tabla 4.- Horas pico solar anuales en Zacatecas, Zacatecas. ....	44
Tabla 5.- Horas pico solar en Hermosillo, Sonora. ....	45
Tabla 6.- Horas pico solar en Chihuahua, Chihuahua.....	45
Tabla 7.- Horas pico solar en Ciudad Victoria, Tamaulipas. ....	46
Tabla 8.-Horas Pico solar en Monterrey, Nuevo León. ....	46
Tabla 9.- Promedio de horas pico solar anuales de la región norte y el promedio general de dicha zona. ....	47
Tabla 10.- Consumos individuales del ozonificador.....	48
Tabla 11.- Variables de diseño del sistema fotovoltaico.....	49
Tabla 12.- Dimensionamiento fotovoltaico.....	49
Tabla 13.- cálculo de la cantidad de agua u ozono para el cultivo.....	55
Tabla 14.- Tabla para calcular la cantidad de ozono a inyectar en agua de riego. ....	55
Tabla 15.- Calculo del tiempo de trabajo en función de los litros de agua.....	56
Tabla 16.-Calculo del número de reactores para el generador de ozono.....	56
Tabla 17.- Calculo de componentes necesarios. ....	57

## LISTA DE NOMENCLATURA

<b>Abreviatura</b>	<b>Significado</b>
<i>3D</i>	Tercera dimensión
<i>8vo.</i>	Octavo
<i>A/a</i>	Amperaje
<i>Acc</i>	Amperes de corriente continua
<i>Aca</i>	Amperes de corriente alterna
<i>CA</i>	Corriente Alterna
<i>CC</i>	Corriente Continua
<i>CFE</i>	Comisión Federal de Electricidad
<i>Dgo.</i>	Durango
<i>HP</i>	Horse Power (Caballos de fuerza)
<i>HPS</i>	Horas Pico Solar
<i>L</i>	Litros
<i>LED</i>	Light Emitting Diode (Diodo emisor de luz)
<i>m<sup>2</sup></i>	metro cuadrado
<i>mg</i>	Miligramos
<i>NMX</i>	Normas Mexicanas
<i>No.</i>	Número
<i>SFV</i>	Sistema Fotovoltaico
<i>UV</i>	Ultra Violeta
<i>V</i>	Voltaje
<i>Vcc</i>	Voltaje de corriente continua
<i>Vca</i>	Voltaje de corriente alterna
<i>W</i>	Watts

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto lo quiero dedicar de manera especial a las personas más importantes en mi vida mi papá el Lic. en Biología José de Jesús Granados Barba y mi mamá la Contadora Pública Ma. Concepción de los Ángeles Santos Pérez. Este trabajo es el reflejo de todo el esfuerzo que han puesto en mí, gracias por todos y cada uno de los ejemplos que me han dado.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer de manera especial a las dos personas que después de mis padres son las más importantes de mi vida, a mi tía la M.R.I. Olga Catalina Santos Pérez y mi tío el Mtro. Alberto Martínez Godínez quienes a lo largo de mi vida han sido como mis segundos padres y que al igual que mis progenitores han sido una parte sumamente importante en mi vida y en el camino que hoy me lleva a conseguir esta meta en mi vida.

También quiero hacer una mención especial para el Ing. Arturo Fragoso Corral ya que fue uno de mis principales formadores académicos y a quien agradezco haber observado un potencial en mí que yo mismo desconocía, ya que sin su orientación no hubiera seleccionado una carrera a la cual le tomara tanto gusto y que me termino llevando hasta la búsqueda de esta maestría.

Así mismo quiero agradecer al M.E.R Iván Alejandro López Zumarán el cual a lo largo de mi formación universitaria fue uno de los docentes que más apoyo me otorgo y que durante esta etapa me ayudo a mejorar varias de mis habilidades y adquirir nuevos conocimientos.

Agradezco también de manera especial al M.C.G.A Oscar Gilberto Alanís Villanueva ya que sin el apoyo incondicional que me brindo tanto técnico como personal no hubiera logrado obtener los resultados que he obtenido de este proyecto.

Agradezco así mismo al CONACYT por el apoyo que se nos brinda como estudiantes de posgrado, ya que nos permite a través de estos apoyos desarrollar proyectos con un gran impacto social y ambiental, tal como el que he desarrollado en esta maestría.

Para culminar quisiera hacer un especial reconocimiento para la Dra. Merit Cisneros González mi directora de tesis, ya que puso su voto de confianza en mi persona y sobre todo que me otorgo un proyecto sumamente atractivo. Muchas gracias por todos los conocimientos que me ha transmitido y este logro es en gran parte gracias a usted.

# CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes.

El crecimiento poblacional que se ha presentado durante los últimos años y la tendencia del mismo hacia el año 2050 en el cual según ONU (2019) se espera que la humanidad alcance los 9.7 mil millones de habitantes, ha ocasionado que la demanda alimenticia haya incrementado exponencialmente. Sin embargo, junto con este aumento ha existido una disminución en las zonas destinadas para la producción de alimentos, debido a que se ha comenzado a cambiar el uso de las tierras para convertirlas en zonas de desarrollo urbano. Dicha situación en el ámbito nacional ha generado una disminución del 35% del área disponible para cultivos, sin embargo, la explosión demográfica se ha traducido en incremento en la demanda de alimentos, por lo que se presentó un aumento de un 117% en la producción de alimentos, lo que se traduce en una mayor producción con una menor superficie para cultivos (Sosa Baldivia & Ruíz Ibarra, 2017).

## 1.2 Justificación.

Observando la tendencia de crecimiento poblacional y la situación en la que se encuentra México, el aumento del 117% de la producción de alimentos (Sosa Baldivia & Ruíz Ibarra, 2017) se ha dado mediante la mejora en los procesos de producción y la búsqueda de alternativas que les permitan obtener más productos por hectárea. Esto debido a que conforme transcurran los años, la superficie disponible para actividades agrícolas será cada vez menor, lo cual comprometerá el abasto de alimentos derivados de esta actividad, lo que generará grandes problemas ya que de lo que se obtiene de la agricultura derivan una gran cantidad de productos de primera necesidad.

En base a lo ya mencionado, la generación de alternativas viables que permitan ayudar a incrementar el rendimiento de las cosechas brindará a los productores de la capacidad de aumentar el rendimiento de los cultivos sin requerir más espacio para ello. Sin embargo, se debe asegurar que estas alternativas además de generar beneficios en el proceso productivo, no generen nuevas fuentes de contaminación.

Por lo tanto, generar alternativas que ayuden tanto a mejorar la calidad de los productos cosechados, así como disminuir la contaminación de sus procesos productivos, le otorgará al productor beneficios económicos. Además, podrá obtener productos que puedan ser catalogados con las certificaciones que lo avalen como alimentos orgánicos libres de químicos.

Estas mejoras irán de la mano con impactos positivos en el mercado, ya que además de tener la capacidad de cubrir la demanda de alimento, también aumentara el flujo de efectivo y por lo tanto la economía comenzará a crecer, y además en el tema de la salud habrá beneficios al no consumir productos que contengan químicos que pueden generar problemas al ser humano.

En la actualidad se ha incentivado la creación de nuevas alternativas que ayuden a mejorar las condiciones de los cultivos y favorezcan el desarrollo sostenible de la región. En este sentido, se debe de considerar el ozono como una opción viable para cubrir dichas necesidades, debido a que la utilización de dicho gas no representa riesgos medio ambientales para la región, así mismo favorece los procesos celulares y con ello al desarrollo de la planta.

Es por ello que la aplicación de un dispositivo generador de ozono se vuelve una alternativa viable, ya que permite aumentar el rendimiento de las cosechas mejorando la salud de la planta y acortando los tiempos en que el cultivo llega a su etapa productiva. De la misma forma generará beneficios económicos y al medio ambiente al disminuir la necesidad de uso de fertilizantes y pesticidas en el cultivo.

### **1.3 Objetivos.**

#### **1.3.1 Objetivo general.**

Desarrollar un dispositivo de generación de ozono alimentado por fotoceldas para su empleo en la agricultura.

#### **1.3.2 Objetivos específicos.**

- Determinar el método de generación de ozono más adecuado para el sistema.

- Desarrollar un prototipo de generación de ozono funcional y de bajo consumo de energía.
- Realizar el dimensionamiento fotovoltaico para determinar el sistema que se requiere.
- Evaluar el funcionamiento del generador de ozono.

#### **1.4 Delimitación.**

El presente proyecto abarcara la etapa de diseño y pruebas de un dispositivo de generación de ozono adaptado para ser utilizado en sistemas de riego agrícola y culminará con el desarrollo de tablas para el dimensionamiento del dispositivo, de manera que pueda ser escalado fácilmente en función del volumen de agua a ozonificar.

## CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 El ozono y sus generalidades.

El ozono es una molécula compuesta por tres átomos de oxígeno (Fig.1), es una forma alotrópica de este elemento y cabe mencionar que es un gas que es altamente tóxico al alcanzar ciertas concentraciones. Este compuesto se encuentra en su gran mayoría en forma gaseosa, sin embargo, bajo ciertas condiciones se puede encontrar en forma líquida e inclusive en estado sólido (Ribeiro, 2015).

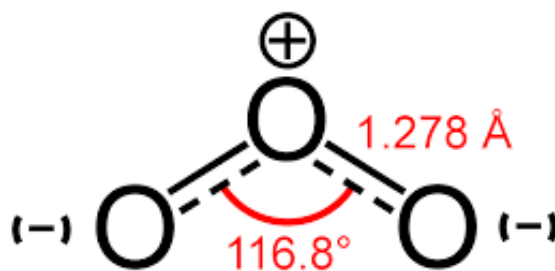


Figura 1.- Estructura de la molécula de ozono.

En el planeta el ozono es un gas que se encuentra en la atmósfera terrestre, el cual ayuda a bloquear los rayos UV provenientes del sol ya que estos ocasionan (a través de la energía y calor que generan) que las moléculas de oxígeno se exciten y comiencen a interactuar entre sí (como se muestra en la Figura 2), ocasionando que se genere y también causan su degradación en un proceso inverso al de su generación (Portolés, 2001).





*Figura 2.- producción de ozono*

De lo mencionado anteriormente se logra concluir que el ozono puede ser generado por medio de radiación ultra violeta, y que esta misma lo degrada. Sin embargo, ser una barrera para los rayos UV no es la única aplicación que puede tener el ozono, ya que su estructura molecular compuesta por tres átomos de oxígeno lo dotan de características muy interesantes, de las cuales destaca su gran poder desinfectante.

## 2.2 Generación de Ozono

El ozono puede ser generado a través de las descargas eléctricas tal como sucede naturalmente durante las tormentas eléctricas, las cuales al generar un alto voltaje ionizan el aire a su alrededor (Chicon, 2014). Este proceso puede ser replicado por medio de un sistema que contenga dos conductores de alta tensión, separados unos milímetros por un material dieléctrico (regularmente vacío), para después hacer circular aire por este espacio, lo que ocasiona que las moléculas de oxígeno ( $\text{O}_2$ ) presentes se combinen con otras generando un compuesto distinto conformado por tres átomos de este mismo elemento, la Figura 3 muestra el esquema de un sistema de este tipo. (Dobeic, 2012).

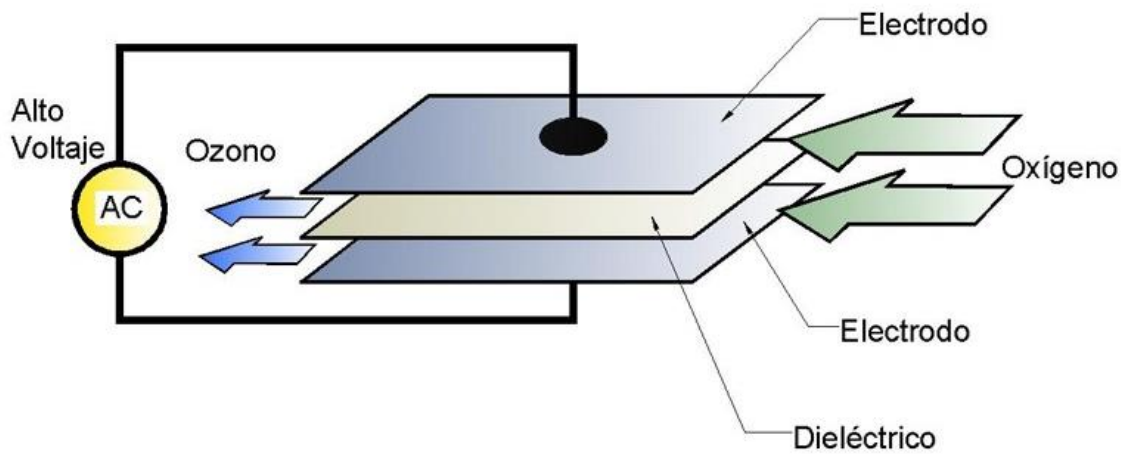


Figura 3.- Generación de ozono a través del efecto corona.

Así mismo el ozono puede ser generado a través de la interacción con los rayos UV, los cuales excitan los átomos de la molécula de  $O_2$  ocasionando que se divida y se una con otras para generar el  $O_3$ . Cabe mencionar que la radiación UV también sirve para degradar el ozono y volverlo a convertir en  $O_2$ , generando así un ciclo de generación y degradación ininterrumpido (Chicon, 2014).

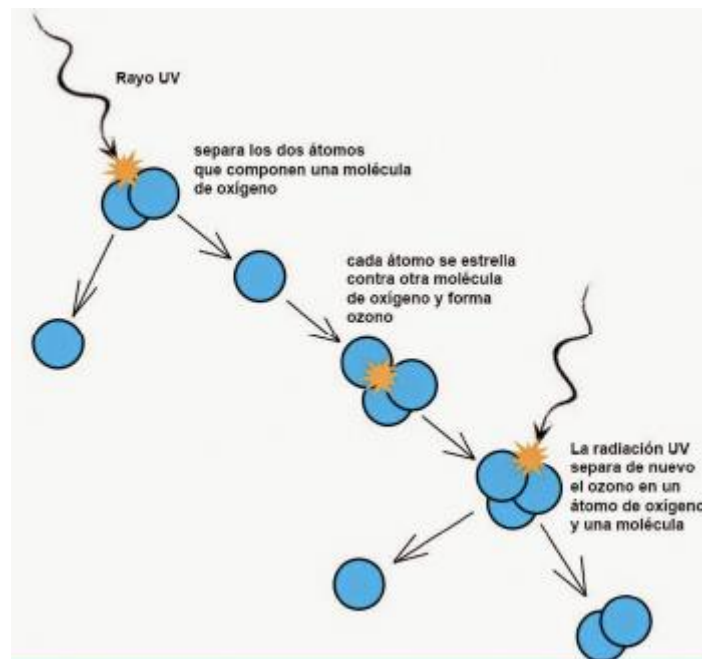


Figura 4.- Generación y degradación del ozono mediante rayos UV.

### 2.3 Agricultura.

La agricultura es uno de los principales sectores productivos de cada una de las naciones que componen el planeta, ya que de ella se obtienen materias primas para la industria, alimentos de consumo humano y suministros para los sectores ganaderos. Dichos productos pueden ser utilizados de manera directa, como las frutas o verduras, o pueden ser empleados como materia prima en la industria para obtener productos como fibras textiles tal como se observa en la Figura 5 o aceites, entre otras.



*Figura 5.- Fibras textiles provenientes del algodón.*

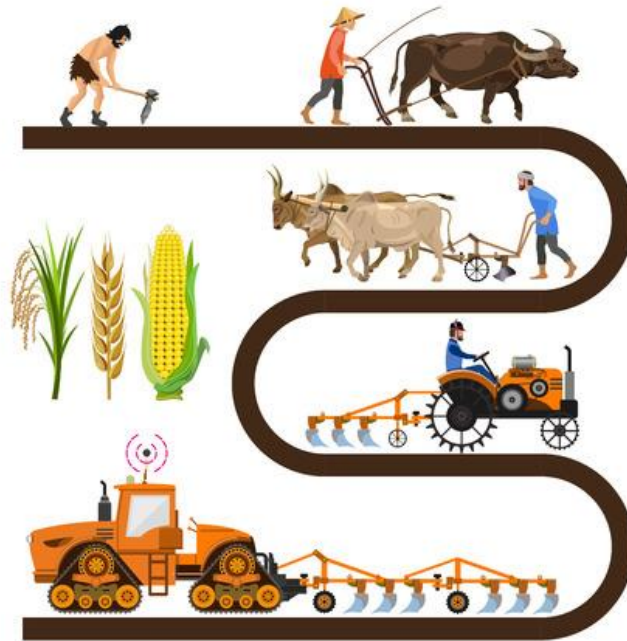
Así mismo se puede considerar que es uno de los principales descubrimientos que en conjunto permitieron que la raza humana pasara de ser nómada a sedentaria (Figura 6), ya que con esta actividad tenían la capacidad de producir su alimento y con los conocimientos que ya poseían almacenarlo para su consumo posterior.



*Figura 6.- Inicios de la agricultura.*

También se puede considerar uno de los principales detonadores del desarrollo tecnológico, ya que a través de ella se comenzaron a desarrollar nuevas herramientas como se

observa en la Figura 7, así mismo, se comienzan a observar las primeras muestras de intercambios comerciales, entre otros sucesos importantes que terminarían conduciendo al ser humano a convertirse en lo que hoy en día conocemos (Guillén, 2010).



*Figura 7.- Desarrollo tecnológico de la agricultura a través del tiempo.*

### **2.3.1 Tipos de agricultura**

En la actualidad se pueden encontrar diferentes formas en las que se lleva a cabo la actividad agrícola, las cuales derivan de las técnicas ancestrales, pero que se han ido modificando con el objetivo de mejorar con cada iteración la cantidad de productos que se obtienen de ella. Además, se han desarrollado tecnologías que han facilitado esta práctica y que como consecuencia de ello se hayan modernizado hasta llegar a lo que podemos observar hoy en día.

El constante desarrollo tecnológico y el constante crecimiento de la población mundial y con ello la demanda de alimentos son los dos factores que han detonado la tecnificación antes mencionada. Esto, ha permitido mejorar los procesos y aumentar los rendimientos de los

cultivos, lo que ha llevado a la sociedad a buscar alternativas que le permitan controlar cada vez más los factores que intervienen en el desarrollo de los cultivos (Carpio S., 2018).

### ***2.3.1.1 Agricultura protegida.***

La necesidad del humano de controlar todas las variables que influyen en el desarrollo de un cultivo le ha llevado a desarrollar espacios que le otorguen la capacidad de manejar dichos factores y poder alterarlos en base a los requerimientos del tipo de cultivo que seleccionen para un ciclo, lo que les permite aspirar a obtener mayores beneficios.

Una de las alternativas desarrolladas con el fin de controlar los factores como la temperatura, la humedad, presencia de plagas y enfermedades ha sido la utilización de invernaderos, los cuales permiten tener un control más preciso de estas variables y con ello obtener rendimientos mayores a los que se tendrían en un cultivo a cielo abierto.



*Figura 8.- Ejemplo de agricultura protegida.*

### **2.3.1.2 Invernaderos**

Un invernadero es una estructura que brinda protección a los cultivos en cuanto a radiación solar, cambios de temperatura, lluvias, cambios en la humedad ambiental, así como también permite controlar la presencia de organismos que pueden afectar el rendimiento final.



*Figura 9.- Invernadero de tipo gótico con paredes de malla anti ácidos.*

La estructura de los mismos puede variar en cuanto a diseño (Figura 8, Figura 9 y Figura 10), pero todos poseen la misma característica principal la cual los identifica como tales, es decir, todos están compuestos por una estructura recubierta por plástico que le permite brindar protección al cultivo y que dentro de ella propicia que se presente un microclima completamente diferente al del exterior (Martín & Alarcón H., 2010).



*Figura 10.- Invernadero tipo túnel con paredes de plástico.*

#### **2.4 Sistemas fotovoltaicos.**

Un sistema fotovoltaico es aquel que aprovecha la energía proveniente del sol para generar electricidad. Este proceso se lleva a cabo cuando a través de un panel solar se capta la radiación solar, estos paneles están formados por pequeñas celdas hechas de materiales

semiconductores con impurezas, los cuales reaccionan con la incidencia de luz, generando pequeñas corrientes eléctricas, están conectadas de manera especial para formar un módulo final, el cual genera energía eléctrica (la Figura 11) (Arencibia, 2016).

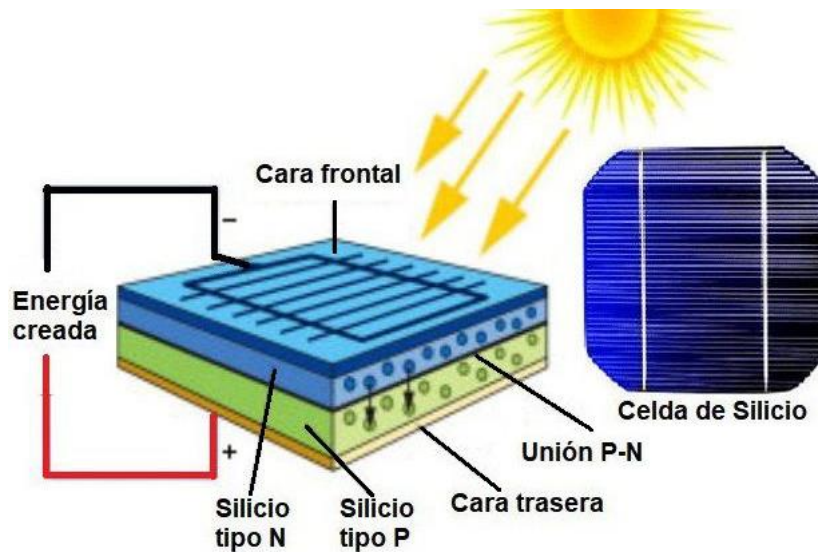


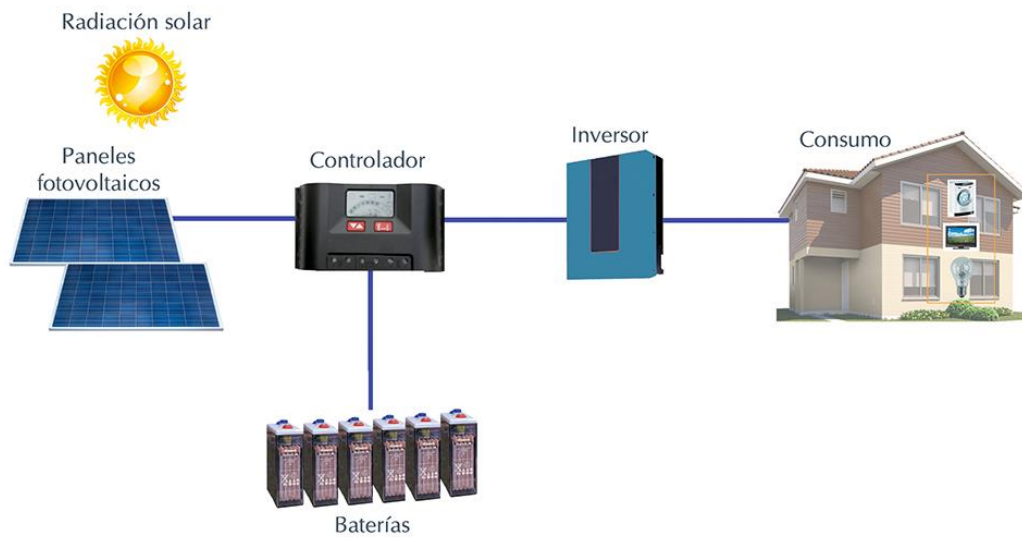
Figura 11.- Proceso de generación de energía a través de sistemas fotovoltaicos.

Después de captar la energía a través del panel solar, se debe de convertir la energía generada, ya que de los paneles se obtiene voltaje y corriente de tipo continua, la cual no puede ser utilizada en los dispositivos que se utilizan cotidianamente, ya que los voltajes de trabajo de estos aparatos son en su mayoría de corriente alterna (debido a que la transmisión de energía de las centrales a los hogares se realiza en este modo). Este proceso se lleva a cabo en un inversor de carga, el cual convierte la corriente continua en corriente alterna.

El sistema fotovoltaico hasta este punto sería funcional, sin embargo, por disposiciones de los organismos reguladores de energía a nivel mundial, un sistema debe contar con protecciones para asegurar la seguridad de la red eléctrica. En este caso existen dos tipos de sistemas fotovoltaicos, los aislados de la red eléctrica y los interconectados a ella. Del tipo de sistema dependerán las protecciones necesarias.

En caso de un sistema aislado (Figura 12), se deben de considerar el uso de baterías de respaldo para el sistema fotovoltaico. Esto debido a que la energía únicamente se genera durante el día y con el uso de estas baterías se requiere un controlador de carga, el cual llevara a cabo el control de carga y descarga del banco de baterías, para evitar cualquier problema

relacionado a una descarga total de las pilas, esto a través del censo del porcentaje de carga del banco.



*Figura 12.-SFV de tipo aislado.*

Cuando el sistema es de tipo interconectado a la red eléctrica (Figura 13), se deben de tener interruptores para el sistema fotovoltaico, tanto en corriente continua, como en corriente alterna, es decir en la entrada de los inversores y un centro de carga antes interruptor principal o del medidor bidireccional. Así mismo se requieren inversores que cumplan con los requerimientos de los diferentes organismos reguladores de energía a nivel mundial, dentro de los que destacan los controles de frecuencia, voltaje y protecciones en caso fallas en la red eléctrica (anti isla) (Zumaran, 2013).



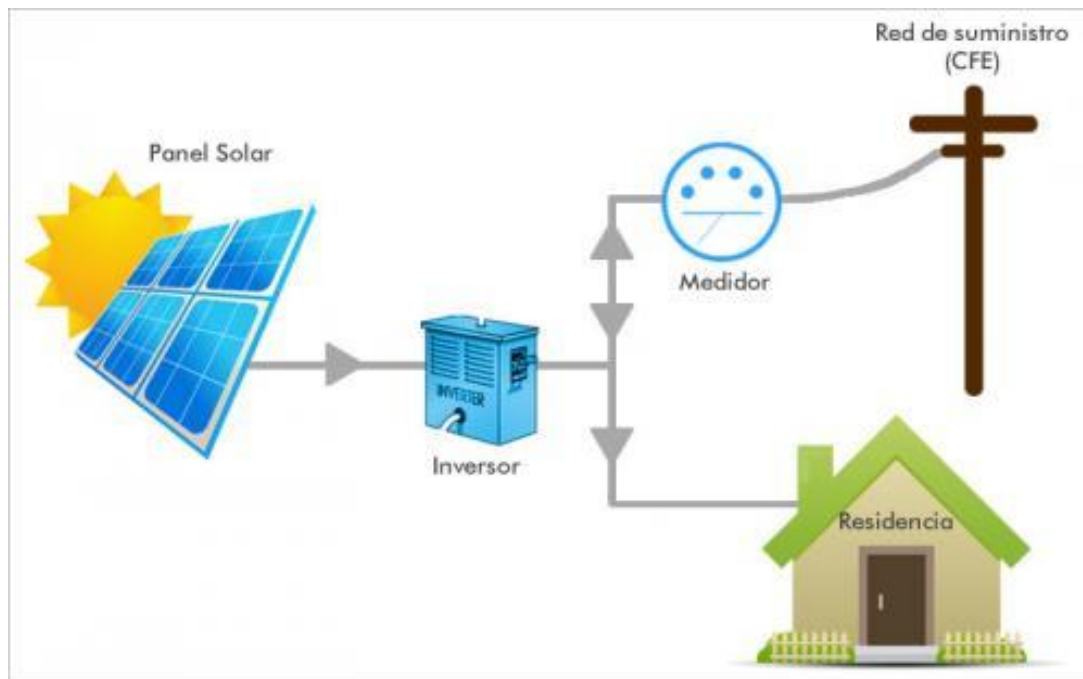


Figura 13.- SFV de tipo interconectado a la red.

#### 2.4.1 Dimensionamiento Fotovoltaico.

Un dimensionamiento fotovoltaico hace referencia a la memoria de cálculos mediante los cuales se calcula la potencia necesaria que debe generar el sistema para poder abastecer de energía eléctrica a los dispositivos que se conecten a él. Estos cálculos deben de considerar todas las variables que intervienen en la generación y el consumo de energía, así mismo se consideran las pérdidas de energía en los componentes, las protecciones necesarias y las dimensiones finales del SFV que se planea instalar.

#### 2.4.2 Variables de interés en el desarrollo de un sistema fotovoltaico

En el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico se deben de considerar una serie de variables que influyen directamente en la aplicación de un sistema fotovoltaico, las cuales determinarán las dimensiones finales del sistema, los componentes necesarios y que definirán si es o no viable su utilización. Dichas variables se definen a continuación:

- **Horas pico solar (HPS):** Hacen referencia a las horas en las que la radiación solar se encuentra en su punto máximo, es decir un valor igual o mayor a los  $1000 \text{ w/m}^2$ . Estas varían según las coordenadas de la zona donde se planea el instalar un sistema fotovoltaico y nos permite determinar hasta cierto punto la viabilidad del sistema, ya que en zonas donde las HPS sean pocas el SFV deberá de contar con una cantidad más elevada de paneles solares.
- **Consumo de energía:** Es la cantidad de energía consumida por la instalación a la cual se planea abastecer con el sistema fotovoltaico, se calcula mediante la multiplicación de la potencia en Kilowatts (KW) de los dispositivos y las horas que se utilicen al día (h/día), obteniendo de ellas el consumo diario de energía (KWh/día).
- **Potencia del panel:** Como su nombre lo indica, hace referencia a la potencia que puede generar el panel. La unidad de este valor está dada en Watts (W) y nos permite calcular la cantidad de paneles necesarios para abastecer de energía a la instalación eléctrica.
- **Potencia de los inversores:** Este punto hace referencia a la potencia máxima que soporta un inversor de corriente, esta variable sirve para determinar la cantidad necesaria de inversores para el SFV.
- **Voltajes de entrada/salida del inversor:** En este caso es necesario conocer los voltajes de trabajo del inversor, ya que depende de ello las conexiones que se deberán hacer entre los paneles solares (arreglos serie/paralelo) para generar el voltaje necesario para el trabajo del inversor (en el caso del voltaje de entrada). Además que también ésta variable permite seleccionar el inversor adecuado para la instalación eléctrica, ya que podemos encontrar voltajes de trabajo desde los 120V hasta voltajes en media tensión acorde al tipo de instalación eléctrica (residencial, comercial o industrial). Por lo que si no se considera dicho punto, el voltaje no podrá abastecer a todos los dispositivos conectados en la instalación eléctrica (hablando del voltaje de salida).

### ***Fórmulas para el dimensionamiento fotovoltaico.***

Después de obtenerse las variables mencionadas, se procede a realizar el dimensionamiento fotovoltaico, el cual debe relacionar dichas variables para poder determinar

el número de paneles necesarios, la cantidad de inversores que se requieren, el arreglo (serie/paralelo) de los paneles solares, etc.

Según (Alvarado L. de G., 2018) para comenzar con el dimensionamiento se deben de sumar los consumos individuales de los aparatos conectados en la instalación eléctrica, en esta parte se deben considerar las potencias de cada aparato multiplicándola por las horas de uso al día, obteniendo con ello el consumo en KWh. Este proceso se muestra a continuación.

$$\text{Consumo individual} = \text{potencia(Kw)} * \text{horas de uso al día} \left( \frac{h}{\text{día}} \right) = \text{Kwh/día}$$

*Ecuación 1.- Formula para obtener el consumo individual de los componentes eléctricos.*

Después de obtener los consumos individuales de cada aparato se procede a sumar cada uno de estos consumos para obtener el consumo total de la instalación eléctrica.

$$\text{Consumo total} = \sum_n^1 \text{CONSUMOS INDIVIDUALES} = \text{Kwh/día}$$

*Ecuación 2.- Formula para obtener el consumo total de la instalación.*

Luego de obtener el consumo total de energía de la instalación se debe calcular la cantidad de energía que puede generar el panel solar al día, lo cual se obtiene mediante la multiplicación de las HPS por la potencia nominal del panel.

$$\text{Generacion del panel} = \text{Potencia del panel (Kw)} * \text{HPS} \left( \frac{h}{\text{día}} \right) = \text{KWh/día}$$

*Ecuación 3.- Formula para obtener la generación de energía por panel.*

Para continuar se debe calcular el número de paneles solares necesarios para el SFV, esta parte del proceso relaciona el consumo total con la generación individual de cada panel, es decir se debe dividir el consumo total de la instalación entre la generación de cada módulo fotovoltaico.

$$\text{No. de paneles} = \frac{\text{Consumo total} \left( \frac{\text{Kwh}}{\text{día}} \right)}{\text{generacion del panel} \left( \frac{\text{Kwh}}{\text{día}} \right)}$$

*Ecuación 4.- Calculo del número de paneles para el SFV*

En este punto del dimensionamiento se debe considerar que solamente se pueden considerar un número de paneles sin decimales (ya que no se puede fraccionar un panel solar), por lo cual el resultado se redondea al número entero superior inmediato.

Continuando con el dimensionamiento, se debe calcular la potencia total del sistema fotovoltaico la cual estará dada por la multiplicación del número de paneles por la potencia nominal de cada uno de ellos.

$$\text{Potencia del sistema} = \text{Potencia del panel (Kw)} * \text{Número de paneles} = \text{Kw}$$

*Ecuación 5.- Calculo de la potencia del SFV.*

Este valor se debe obtener debido a que en base a la potencia del SFV se calcularán las dimensiones del inversor que se deba de utilizar, esto se hará dividiendo la potencia del sistema entre la potencia del inversor.

$$\text{No. de inversores} = \frac{\text{Potencia del SFV (Kw)}}{\text{Potencia del inversor (Kw)}}$$

*Ecuación 6.- Calculo del número de inversores para el SFV.*

En cuanto a los arreglos en serie (los voltajes en serie se suman) del SFV se debe considerar el voltaje de trabajo del inversor solar, este cálculo se lleva a cabo mediante la división del voltaje de entrada del inversor entre el voltaje nominal del panel solar.

$$\text{Paneles en serie} = \frac{\text{Voltaje de entrada del inversor (V)}}{\text{Voltaje nominal del panel (V)}}$$

*Ecuación 7.- Formula para el diseño en serie del SFV.*

Así mismo se deben calcular los arreglos en paralelo (las corrientes en este arreglo se suman) ya que el inversor también tiene una corriente de trabajo, en este caso se realiza un cálculo similar al anterior, pero considerando las corrientes de entrada y nominales.

$$\text{Paneles en paralelo} = \frac{\text{Corriente de entrada del inversor (A)}}{\text{Corriente nominal (A)}}$$

*Ecuación 8.- Formula para el diseño en paralelo del SFV.*

## 2.5 Ahorro de energía

El cambio climático y el agotamiento de los recursos no renovables ha generado que a nivel mundial se establezcan tratados cuyo fin es la disminución del uso de fuentes como el carbono y sus derivados para la generación de energía tal como se menciona en el protocolo de Kioto. Así mismo se han impulsado políticas que buscan sustituir las tecnologías con un alto consumo de energía, tratando de disminuir las emisiones de carbono y con ello minimizar la contaminación global (ONU, 1997).

Es por ello que las tendencias actuales en el desarrollo de nuevas tecnologías y la necesidad de reducir los consumos de energía eléctrica de los aparatos, han generado que cada nuevo dispositivo que se introduzca al mercado consuma una menor cantidad de energía que su predecesor. Esto debido a la creciente demanda de energía y el agotamiento de los recursos no renovables utilizados en los procesos de generación en las centrales eléctricas.

Un ejemplo claro de este tipo de tendencias es la sustitución de la tecnología en el tema de iluminación residencial (Figura 14), donde hemos pasado desde un foco incandescente que consumía entre 60 a 100W, hasta llegar la tecnología LED la cual nos brinda una mayor iluminación con un consumo que en algunos casos apenas supera los 10W (Farias Fajardo & Murillo Cosme, 2018). De igual manera las televisiones, lavadoras, refrigeradores y prácticamente todos los aparatos electrodomésticos han disminuido sus consumos considerablemente.



Figura 14.- Comparativa del consumo eléctrico en las diferentes tecnologías de iluminación.

Sin embargo, estos cambios no solamente se pueden observar en los hogares, también hay nuevos desarrollos que buscan disminuir el consumo de energía en los dispositivos utilizados

en las industrias, como por ejemplo nuevas maquinarias que realizan una mayor cantidad de trabajo con menos consumo de energía.

Además, se han desarrollado una mayor cantidad de tecnologías que permitan sustituir la generación de energía (Figura 15), como es el caso de los ya mencionados paneles solares, los cuales han disminuido su costo y dimensiones, al grado de actualmente poder encontrar sistemas que nos permiten abastecer una cantidad considerable de dispositivos, mediante sistemas que no requieren una cantidad mayor a un metro cuadrado de superficie.



Figura 15.- Tipos de energías alternativas.

Es por ello que en el tema de la energía cualquier nuevo desarrollo debe considerar dentro de sus diseños, la utilización de componentes que consuman la menor cantidad de energía sin comprometer su eficiencia. En el caso de no poder disminuirla, encontrar alternativas viables para poder energizarlos, como por ejemplo a través de sistemas fotovoltaicos, los cuales permitirán consumir la cantidad de energía necesaria para realizar el trabajo sin la necesidad de aumentar el consumo eléctrico del usuario final.

## CAPITULO 3 MATERIALES Y MÉTODOS

El ozono actualmente puede ser obtenido a través de diferentes métodos de generación, siendo los principales: Con el uso de la electricidad o mediante la aplicación de rayos UV. Ambos métodos buscan la ionización del aire con la cual se obtiene una mezcla de oxígeno y ozono. Sin embargo, dependiendo del método seleccionado la energía requerida por el sistema aumentará o disminuirá, situación que determinará la viabilidad de la aplicación del dispositivo en la agricultura.

La selección del sistema se basó en las siguientes condiciones, las cuales permitirán asegurar que el dispositivo sea viable para ser utilizado en los sistemas de producción agrícola:

- **Consumo de energía:** Ya que el sistema de generación de ozono está destinado para ser utilizado en la agricultura, por lo que el consumo eléctrico debe mantenerse bajo para no representar costos extras para el productor.
- **Facilidad de manejo:** Debido a que el dispositivo deberá ser amigable con el usuario de manera que pueda ser manipulado por él mismo, sin la necesidad de mano de obra especializada.
- **Complejidad del mantenimiento:** Éste factor será determinante para la viabilidad del sistema y la aceptación que tenga por parte de los productores, considerando que con mayores requerimientos en el mantenimiento el costo aumentará significativamente.
- **Portabilidad del sistema:** Tomando en cuenta que existen productores que tengan su sistema de riego a la intemperie, o que utilicen sistemas de riego no convencionales, el dispositivo deberá tener la capacidad de ser trasladado de un lugar a otro sin que suponga un trabajo pesado para el usuario final.

En la Tabla 1, se muestran las valoraciones otorgadas a estas variables de interés y con ello se podrá visualizar las ponderaciones otorgadas a cada uno de los puntos. Estas calificaciones asignadas varían desde un valor 0, el cual representa nula viabilidad y un máximo de 5, lo que significa que es completamente apropiado para el tipo de sistema requerido.

Tabla 1.- Variables de decisión

Variables de decisión					
Tecnología de generación de ozono	Calificación otorgada				
	Costo	Mantenimiento	Consumo de energía	Complejidad de uso	Promedio
Reactor de efecto corona con circuito de alta tensión electrónico.	3	5	5	5	4.5
Reactor de efecto corona con transformador de alta tensión	3	2	0	5	2.5
Generación con rayos UV	1	2	5	2	2.5

Las variables de decisión planteadas permitirán seleccionar el método de generación de ozono óptimo para la aplicación a la que se destinará. Con ello se podrá desarrollar un dispositivo que sea eficiente en cuanto al consumo de energía, además se asegurará que pueda ser aplicado en casi cualquier tipo de sistema de riego y que cualquier usuario pueda manipularlo después de una sencilla capacitación.

El método de generación de ozono óptimo para este tipo de dispositivo, es por medio del efecto corona (Figura 16), el cual cuenta con un circuito de alta tensión electrónica que genera un voltaje superior a los 15,000 V. Este voltaje circula a través de un reactor conformado por dos tubos metálicos concéntricos, en los que se generan descargas eléctricas entre ambos debido a la diferencia de potencial elevada (principio del efecto corona), ocasionando que se ionice el aire que se encuentra entre los dos conductores, lo cual genera el ozono (Infanzon, 2017).



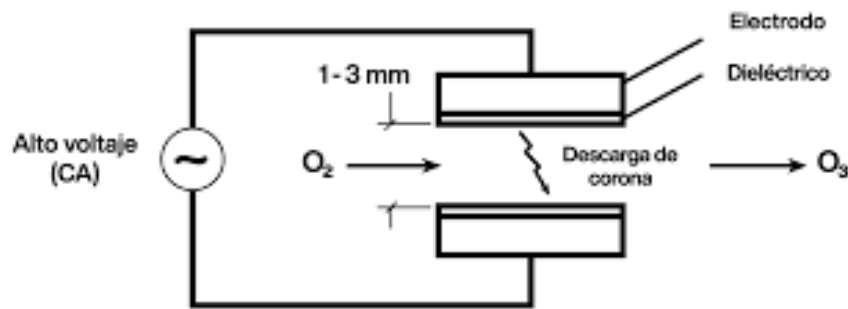


Figura 16.- Esquema básico de un generador de efecto corona

Al mismo tiempo se requiere de una bomba la cual genere un flujo continuo de aire, el cual desplazará el ozono generado en el reactor y también volverá a alimentar el reactor con más aire y de esa manera continuar con la generación de ozono mientras el dispositivo se encuentre operando.

Esta alternativa supone bajos costos de mantenimiento y reparación, gracias a que el mantenimiento del reactor consiste básicamente en la eliminación de una pátina de sarro en el tubo interno ocasionada por las descargas eléctricas. Este proceso puede ser realizado por cualquier persona, ya que solamente requiere retirar las tapas del reactor, limpiar la superficie y volver a sellarlo.

Continuando con los puntos a favor de este tipo de método de generación de ozono, en cuanto a los repuestos del reactor y la bomba, las piezas en caso de ser posible repararlas, los repuestos son fáciles de conseguir en el mercado nacional y de bajo costo. Por otra parte, el sistema completo puede ser reparado en su totalidad, sin que represente un costo muy elevado para el productor, ya que al igual que en los repuestos, el cambio total del sistema sigue manteniendo un costo bajo.

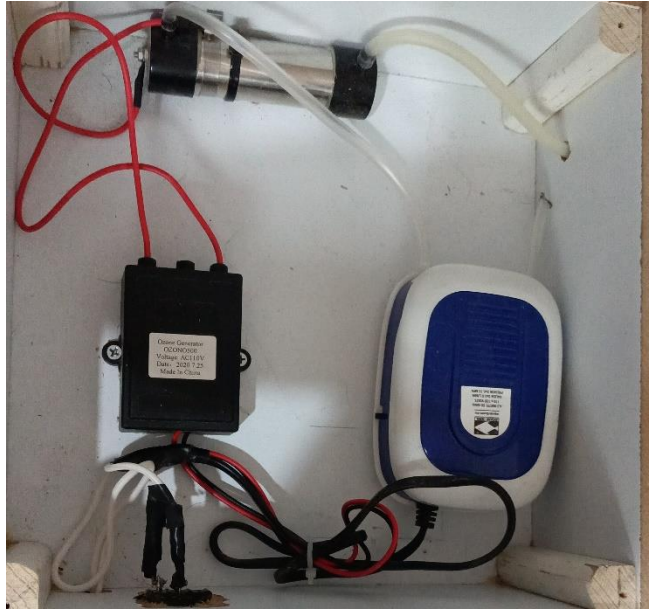
### 3.1 Diseño del ozonificador

Se diseñó el ozonificador con el objetivo de obtener un dispositivo que sea portable y de fácil manejo para el usuario final. Ya que, en base a las observaciones realizadas durante la investigación, una de las variables que definirán si va a ser aceptado o no, es que el mismo pueda ser colocado en cualquier tipo de sistema de riego sin requerir una instalación especial y a su vez que se encuentre protegido tanto del clima como del agua en los tanques, asegurando su durabilidad.

Es por ello que se seleccionó una carcasa plástica con refuerzos de metal, la cual permite que el dispositivo sea resistente y de bajo peso. Por lo que una persona promedio puede manejarlo sin ninguna complicación, lo cual permite asegurar el objetivo de mantener un dispositivo portable. Así mismo, el plástico posee la característica de ser dieléctrico, lo cual disminuirá los costos de producción en cuanto al tema del aislamiento eléctrico necesario para los reactores de efecto corona.

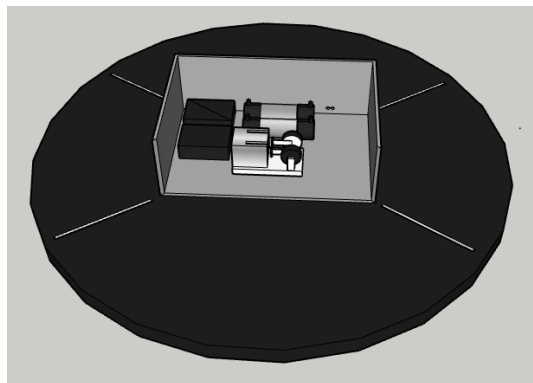
En cuanto a la manera en que se inyectará el ozono en el sistema de riego (ya que el ozonificador requiere un sistema que permita la conducción del ozono hasta el contenedor de agua), se plantearon dos posibles escenarios de uso, uno de ellos pensado para los dispositivos que vayan a ser utilizados para brindar un servicio de ozonificación y otro para los que vayan a estar fijos en el sistema de riego.

En el primer estudio caso, el sistema de conducción de ozono al tanque de riego será conformado por de mangueras de 1/8" las cuales podrán insertarse en el tanque de agua y que permitirán que el ozono se mezcle con el líquido. Tal y como se muestra a continuación en la Figura 17.



*Figura 17.- Sistema de generación de ozono seleccionado.*

En cuanto al otro estudio de caso, se buscará que el ozono sea conducido mediante tuberías de PVC, simulando un sistema de aireación de agua, ya que proveerán al dispositivo de la capacidad de inyectar ozono a diferentes profundidades en el tanque de agua, para facilitar que este interactúe con el líquido de manera más homogénea.



*Figura 18.- modelo 3D del generador de ozono.*

La Figura 18 muestra el modelo computarizado del prototipo del sistema de generación de ozono, el cual está diseñado para ser utilizado en el tipo de sistemas de riego que se puede encontrar en invernaderos. En el caso del Estado de Durango (lugar donde se realizan las

pruebas del dispositivo) la mayoría de los sistemas observados almacenaban el agua en tinacos, por lo que se determinó que el dispositivo tuviera una base similar a la tapa de estos y sobre ella se colocara el generador de ozono.

### **3.2 Metodología para las pruebas de funcionamiento del ozonificador**

Se planificaron pruebas en las que se compararía directamente el funcionamiento de un generador de ozono comercial y el desarrollado. Lo anterior con el objetivo de analizar el funcionamiento de un ozonificador comercial (el cual no está diseñado para ser usado en la agricultura) y detectar las posibles mejoras y con el fin de lograr que el prototipo final a desarrollar se adapte a la perfección a los sistemas de riego agrícolas existentes.

#### **3.2.1 Pruebas en campo.**

Se realizaron pruebas con un dispositivo de ozonificación de agua comercial en un cultivo de cebolla de tipo extensivo (a campo abierto), el cual presentaba un problema en el crecimiento, ya que una parte del cultivo no se había desarrollado de manera uniforme al resto. Dicho problema se presentaba en la zona del cultivo más alejada del pozo de agua. Sin embargo, el sistema de riego aseguraba contar con la misma cantidad de agua en toda el área del cultivo.

De esta prueba se obtuvieron resultados concluyentes en cuanto al funcionamiento del ozono y también se tuvieron respuestas favorables en el cultivo y con ello beneficios para el productor, ya que la cebolla presentó un rápido crecimiento y alcanzó el tamaño promedio de todo el cultivo. Así mismo se detectó la primera mejora posible para el ozonificador, ya que en esta prueba la ozonificación se llevó a cabo con un dispositivo comercial, el cual depende 100% de la disponibilidad de una conexión eléctrica y al momento de hacer las pruebas se pudo observar que un generador eléctrico (fuente de energía con la que contaba el productor) presenta intermitencia en el funcionamiento, lo que retrasa el trabajo del ozonificador.

La necesidad detectada en esta prueba fue la de tener una fuente de energía que permita utilizar el sistema sin tener el riesgo de fallas, por lo tanto, se pudo determinar que el

sistema fotovoltaico aislado como generador de energía si representaba una opción viable para el trabajo, ya que permite almacenar la energía en un banco de baterías y poder disponer de ella en días en los que no está presente el recurso solar.

### **3.2.2 Pruebas en sistemas hidropónicos.**

Como parte de las pruebas se realizaron riegos semanales en un invernadero donde se trabajaba con bolsas de sustrato de coco y un sustrato nuevo que se estaba desarrollando, en este caso el cultivo era chile, el cual presentaba algunos problemas relacionados con el desarrollo, enfermedades y estrés hídrico. Al comienzo de las pruebas el cultivo presentaba la pérdida de aproximadamente un 50% de las plantas, mientras que de las plantas restantes, se presentaban dichos problemas en un 25% de las bolsas. En este caso en específico existió una mejoría en la salud de la planta, sin embargo, aunque la planta se recuperó el tiempo en que tuvo los problemas, no permitió que la misma generará frutos ya que llegó a un punto en que solo podía asegurarse su supervivencia. Esta situación persistió durante un periodo superior a un mes y medio, en el cual el productor pudo concluir con las pruebas del sustrato.

En este caso también se lograron detectar posibles mejoras en el dispositivo final, ya que este invernadero permitió descubrir una oportunidad de mejora más para el sistema, puesto que durante este periodo se estuvo trabajando en un invernadero que contaba con conexiones eléctricas y un suministro constante sin fallas. Sin embargo, en este caso se contaba con bombas de aireación para tanques donde se trabajaba con fertilizantes, por lo que se pudo observar que, si se sobredimensionaba el sistema fotovoltaico, se podría ofrecer al productor una fuente de energía extra para sus dispositivos. Dicha situación no representaría costos extras para la producción del dispositivo, ya que en el mercado actual es muy complicado conseguir SFV con una potencia menor a los 250W (mientras que el ozonificador diseñado requerirá menos de 100W).

### **3.2.3 Pruebas en cultivo de tomate**

Continuando con la evaluación del dispositivo, se realizó una prueba en un ambiente de trabajo real (considerando que en el invernadero de pruebas se pueden manejar las variables a voluntad), ya que hacer uso de un invernadero cuyo fin es obtener productos para su venta en el mercado permitirá observar los beneficios de utilizar el ozono en los sistemas de producción agrícola y con ello resultados concluyentes tanto de funcionamiento, así como de su funcionamiento en el cultivo, para ello se realizaron una serie de pruebas trabajando de la mano con el dueño del invernadero, el cual se encuentra en la localidad de Nixtalpan, Nombre de Dios, Dgo. (La Figura 19 muestra el invernadero donde se trabajó).



*Figura 19.- Interior del invernadero durante las primeras semanas.*

Cabe mencionar que, en este caso de estudio, el invernadero tenía al menos 10 años produciendo tomate, situación que fue determinante para seleccionar estas instalaciones como las seleccionadas para la realización de la prueba. Así mismo, se realizó una entrevista para identificar los problemas que se le habían presentado

De la entrevista se obtuvo la siguiente información: Se había detectado en las camas de cultivo la presencia de nematodos, varios tipos de *fusarium* y otras enfermedades que afectaban tanto la producción, así como la duración del ciclo del cultivo.

En cuanto a la planeación de estas pruebas se estableció un cronograma de riegos, con el objetivo de observar de manera clara los beneficios del riego con agua ozonificada.

Dentro de esta planeación se definieron la periodicidad de los riegos, así como un plan en el que se determinó que para observar las diferencias entre las plantas regadas con ozono y las que no se le aplicaría, primero se comenzaría a regar todo el invernadero, el cual estaba conformado por 50 camas de siembra divididas en 10 túneles.

Como siguiente paso en el plan de riego se estableció que en el momento en que la planta alcanzará su etapa de maduración, se procedería a suspender el riego del 100% del invernadero, para comenzar a regar únicamente el 10% de las camas.

El sistema de irrigación del invernadero era por el método de riego por goteo, compuesto por dos tinacos de 1200 L de agua, una bomba de 1 HP y tubos de media pulgada microperforados, los cuales tenían válvulas de bloqueo. Este sistema de riego permite que la irrigación sea uniforme en todo el invernadero, lo cual permitía asegurar que todas las camas tuvieran la misma cantidad de ozono.

Así mismo este sistema tenía la capacidad de bloquear la inyección de agua al 50% del invernadero y dentro de este se podía bloquear la irrigación en cada cama a voluntad del productor, condición que permitía cumplir con el plan de riego establecido.

En cuanto a la suspensión del riego general del invernadero y comenzar con el riego en las camas de pruebas, la selección del túnel será determinar a criterio del productor, solicitándole que en base a su experiencia se nos otorgue el túnel que a su consideración sea el que posea las plantas con mayor presencia de irregularidades de crecimiento y/o enfermedades.

Durante este proceso del experimento, se busca observar de manera clara las diferencias entre las plantas de tomate regadas con agua natural y las plantas en las que se aplicará el agua ozonificada. Las variables de interés serán el crecimiento, la cantidad de racimos y los frutos de los mismos, así mismo la presencia de enfermedades en las plantas y el color del tallo y hojas. Estos parámetros mencionados, son visuales y determinan si el cultivo se desarrolla de manera saludable.

Las pruebas se realizaron durante todo el ciclo del cultivo, comenzando durante el mes de mayo de 2021, específicamente el día en el que se realizó el trasplante de las plantas desde las charolas de germinación al invernadero. La prueba finalizó durante el mes de noviembre del mismo año ya que para ese momento comenzaban a presentarse temperaturas bajas, lo cual causó que el cultivo disminuyera su producción y para el productor dejó de ser rentable, por lo

cual decidió finalizar la producción. Cabe mencionar que esta prueba fue en un cultivo de medio ciclo, lo cual para los resultados que más adelante se presentarán, brindó resultados sumamente interesantes para el productor.

Las pruebas de este experimento demostraron que existe una serie de beneficios que resultan atractivos para los productores, ya que se obtuvieron mejorías notables en la salud del suelo y por lo tanto de la planta. En este sentido se pudo observar de manera clara que se erradicó el problema de los nemátodos (Ilustraciones 20 y 21) y el hongo *fusarium*, presentes durante los diez años anteriores al de la prueba. Siendo este uno de los principales problemas en el invernadero donde se trabajó, ya que no permitía el correcto desarrollo del cultivo, disminuyendo el rendimiento a partir de que la planta llegaba a la madurez plena.



*Figura 20.- Raíz de la plántula de tomate durante la primera semana después del trasplante al invernadero.*

En la Figura 20 se puede observar la raíz de una planta de tomate, donde en la parte media de la imagen se puede ver un pequeño nematodo (un pequeño punto blanco) encontrado en dicha parte de la planta. La presencia de estos minúsculos gusanos se dio en casi todas las camas del invernadero, situación que ocasionó la pérdida de al menos un 45% del total de las plantas.





*Figura 21.- Raíz de la planta después del riego con agua ozonificada.*

En la Figura 21 se puede ver los resultados del riego con agua ozonificada ya que es muy claro en la imagen como se ha desarrollado la raíz y no hay presencia de nematodos, dicha situación se repetía en cada una de las camas del cultivo.

También se pudieron observar beneficios en cuanto a la cantidad de productos cosechados durante el periodo, con una mayor cantidad de racimos por planta y un aumento en la cantidad de tomate de primera calidad. Estos beneficios fueron detectados directamente por el productor, el cual, de acuerdo a sus registros, determino que la cantidad de tomate de 1<sup>era</sup> calidad aumentó en un porcentaje de aproximadamente 20% pasando de un 60% de primera calidad a un porcentaje cercano al 80%, en parámetros acordes a los establecidos en la NMX-FF-031-1997-SCFI (SEDECO, 1998).



*Figura 22.- Tomate cosechado del invernadero.*

En la Figura 22 se puede observar uno de los tomates cosechados del invernadero durante una prueba, en esta foto se puede observar que el tomate cuenta con una coloración regular en toda su superficie, se puede ver que es de un tamaño grande y que por dentro se encuentra firme y con una buena cantidad de jugo.

Por otra parte, se puede mencionar que el ozono no afectó a los contenidos de azúcares, ya que en esta prueba se tomaron los grados Brix (sólidos disueltos) y los resultados arrojaron valores entre los 4.0° y los 5.0° Brix (como se muestra en las ilustraciones 23 y 24) en tomates que no habían llegado a su maduración total. Tomando en cuenta que el promedio para que un tomate sea considerado de calidad debe contener entre un 3.5 y un 5.5° Brix se puede establecer lo ya mencionado al principio del párrafo.



Figura 23.- Medidor de grados Brix con una muestra de jugo del tomate cosechado.



Figura 24.- Medición de grados brix de tomate cosechado.

Continuando con lo obtenido de la prueba, uno de los beneficios más atractivos que ofrece el ozonificador es que coadyuvo en el control de enfermedades (Figura 25), puesto que se pudo observar que durante los primeros meses del ciclo se eliminó el uso de pesticidas y no se tuvo presencia de plagas ni enfermedades (considerando que durante este primer periodo del cultivo se estaba realizando un riego general del invernadero). Este punto en específico se corroboró con la suspensión del riego con ozono en todo el invernadero, ya que al momento de esta interrupción se comenzó a propagar una enfermedad (mildiu) en casi todo el invernadero, teniendo presencia en cada una de las 45 camas que solo estaban siendo regadas con agua

(Figura 26). Mientras que de las 5 camas donde se continuó regando con el agua ozonificada, solamente una planta presentó dicha enfermedad, no obstante, se debe considerar que dicha planta era estadísticamente más propensa a presentar problemas de ese tipo, ya que estaba localizada en un punto considerado de riesgo en el invernadero (ubicada en la esquina del invernadero cercana a la pared trasera y lateral del mismo).



*Figura 25.- Plantas de tomate durante la sexta semana del ciclo, donde aún se regaba todo el invernadero con agua ozonificada.*

Claramente se puede observar en esta imagen como la planta se encuentra vigorosa y con la presencia de tomates, los cuales aún no se encuentran en condiciones óptimas para ser cosechados, pero se puede visualizar como hay al menos 4 tomates por racimo.



*Figura 26.- Plantas de tomate durante el cuarto mes del cultivo.*

En la Figura 26 se puede observar el problema de mildiu ya mencionado anteriormente, esta enfermedad se comenzó a propagar a partir de la doceava semana del cultivo y como se ha dicho anteriormente se transmitió a todas las camas que no estaban siendo regadas con ozono.

### **3.3 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.**

Los sistemas de generación de energía por fuentes alternativas amigables con el ambiente han tomado un gran valor para el desarrollo de tecnologías y sistemas que permitan mejorar la productividad, ya que se pueden obtener beneficios en sus actividades y también ayudan a disminuir sus impactos ambientales. Sin embargo, se debe realizar un estudio previo que permita determinar si la aplicación de un sistema de este tipo resulta viable para la zona en donde se implementará.

Con referencia lo anterior, un sistema permita que el dispositivo trabaje sin depender de la red eléctrica, facilitará que pueda ser ofrecido a los productores sin importar el estado de sus instalaciones, es decir, que pueda ser implementado tanto en el sistema de riego más básico, así como en el más automatizado.

Para el sistema de generación eléctrica que abastezca al ozonificador, se determinó que debía ser un sistema fotovoltaico (SFV), y considerar que el mismo pueda ser instalado cerca del sistema de riego. En referencia a lo anterior, el dispositivo generador de ozono se diseñó controlando meticulosamente el consumo de energía, ya que esto influye directamente en el tamaño del SFV, puesto que cada Watt extra consumido significa un mayor consumo de energía y por ende una mayor demanda de la misma. Por lo tanto, se utilizaron componentes con cargas eléctricas bajas (menores de 0.1 KW/h), con el objetivo de obtener un dispositivo con un consumo máximo de 150 watts.

#### **3.3.1 Determinación de las horas pico solar (HPS).**

La viabilidad de la aplicación de un sistema fotovoltaico depende directamente de varios factores, dos de los cuales resultan sumamente relevantes puesto que si uno de ellos no se encuentra dentro de los parámetros necesarios el SFV no tendrá el efecto esperado. Uno de estos factores y en cuanto a importancia uno de los principales es la cantidad de horas pico solar diarias (HPS/día).

En este sentido una instalación en una región con una cantidad de HPS mayor a 4.5 nos permitirá asegurar que el dispositivo genere la cantidad de energía suficiente para abastecer el sistema.

Las horas pico solar determinan la cantidad de horas al día en que la radiación solar se encuentra igual o mayor a los 1000 w/m<sup>2</sup>, estas varían según el mes del año, por lo tanto, se debe buscar un historial que permita analizar el comportamiento durante los 12 meses y obtener un promedio de horas diarias.

Para el desarrollo del SFV autónomo que alimentará al generador de ozono, se analizaron las HPS solar del norte del país, de manera que se pueda observar el recurso solar en la zona y determinar si sería viable la aplicación del dispositivo en los diferentes estados de la región.

Para dicho análisis se tomaron los datos de la Solar App del Centro de Capacitación Eléctrica y Energías Alternas (CCEEA, 2022), donde se muestrearon las HPS de las siguientes zonas:

- Durango, Durango.
- Culiacán, Sinaloa.
- Zacatecas, Zacatecas.
- Hermosillo, Sonora.
- Chihuahua, Chihuahua.
- Ciudad Victoria, Tamaulipas.
- Monterrey, Nuevo León.

De estos municipios se obtuvo el historial de HPS solar correspondientes al año 2021, (mostrado en las Tablas de la 2 a la 9), de tal manera que se pudiera observar el comportamiento de la radiación en la región y después obtener un promedio el cual será utilizado como la constante de diseño en el dimensionamiento fotovoltaico.

*Tabla 2.- HPS mensuales en Durango, Dgo y su promedio anual.*

Durango		
Mes	Inclinación	HPS
Enero	23°	5.85
Febrero	23°	6.87
Marzo	23°	7.4
Abril	23°	7.35

<b>Mayo</b>	23°	6.81
<b>Junio</b>	23°	5.85
<b>Julio</b>	23°	5.34
<b>Agosto</b>	23°	5.56
<b>Septiembre</b>	23°	5.4
<b>Octubre</b>	23°	6.37
<b>Noviembre</b>	23°	6.14
<b>Diciembre</b>	23°	5.76
<b>Promedio anual</b>		6.23

Tabla 3.- HPS mensuales en Culiacán y su promedio anual.

<b>Culiacán</b>		
<b>Mes</b>	<b>Inclinación</b>	<b>HPS</b>
<b>Enero</b>	24.79°	5.45
<b>Febrero</b>	24.79°	6.31
<b>Marzo</b>	24.79°	7
<b>Abril</b>	24.79°	7.05
<b>Mayo</b>	24.79°	6.88
<b>Junio</b>	24.79°	6.24
<b>Julio</b>	24.79°	5.66
<b>Agosto</b>	24.79°	5.59
<b>Septiembre</b>	24.79°	5.62
<b>Octubre</b>	24.79°	6.37
<b>Noviembre</b>	24.79°	5.85
<b>Diciembre</b>	24.79°	5.38
<b>Promedio anual</b>		6.12

Tabla 4.- Horas pico solar anuales en Zacatecas, Zacatecas.

<b>Zacatecas</b>		
<b>Mes</b>	<b>Inclinación</b>	<b>HPS</b>
<b>Enero</b>	22.74°	5.81
<b>Febrero</b>	22.74°	6.78
<b>Marzo</b>	22.74°	7.28
<b>Abril</b>	22.74°	7.19
<b>Mayo</b>	22.74°	6.71
<b>Junio</b>	22.74°	6.03
<b>Julio</b>	22.74°	5.8
<b>Agosto</b>	22.74°	5.95



<b>Septiembre</b>	22.74°	5.61
<b>Octubre</b>	22.74°	6.21
<b>Noviembre</b>	22.74°	5.99
<b>Diciembre</b>	22.74°	5.65
<b>Promedio</b>		6.25

*Tabla 5.- Horas pico solar en Hermosillo, Sonora.*

<b>Hermosillo</b>		
<b>Mes</b>	<b>Inclinación</b>	<b>HPS</b>
<b>Enero</b>	29.06°	5.69
<b>Febrero</b>	29.06°	6.35
<b>Marzo</b>	29.06°	7.2
<b>Abril</b>	29.06°	7.51
<b>Mayo</b>	29.06°	7.47
<b>Junio</b>	29.06°	7.04
<b>Julio</b>	29.06°	6.33
<b>Agosto</b>	29.06°	6.45
<b>Septiembre</b>	29.06°	6.45
<b>Octubre</b>	29.06°	6.68
<b>Noviembre</b>	29.06°	5.79
<b>Diciembre</b>	29.06°	5.4
<b>Promedio</b>		6.53

*Tabla 6.- Horas pico solar en Chihuahua, Chihuahua.*

<b>Chihuahua</b>		
<b>Mes</b>	<b>Inclinación</b>	<b>HPS</b>
<b>Enero</b>	28.58°	5.72
<b>Febrero</b>	28.58°	6.51
<b>Marzo</b>	28.58°	7.14
<b>Abril</b>	28.58°	7.25
<b>Mayo</b>	28.58°	7.09
<b>Junio</b>	28.58°	6.36
<b>Julio</b>	28.58°	5.76

<b>Agosto</b>	28.58°	6.06
<b>Septiembre</b>	28.58°	5.82
<b>Octubre</b>	28.58°	6.45
<b>Noviembre</b>	28.58°	5.91
<b>Diciembre</b>	28.58°	5.64
<b>Promedio</b>		6.31

*Tabla 7.- Horas pico solar en Ciudad Victoria, Tamaulipas.*

<b>Ciudad Victoria</b>		
<b>Mes</b>	<b>Inclinación</b>	<b>HPS</b>
<b>Enero</b>	23.69°	4.84
<b>Febrero</b>	23.69°	5.67
<b>Marzo</b>	23.69°	6.04
<b>Abril</b>	23.69°	5.95
<b>Mayo</b>	23.69°	5.64
<b>Junio</b>	23.69°	5.74
<b>Julio</b>	23.69°	5.75
<b>Agosto</b>	23.69°	5.92
<b>Septiembre</b>	23.69°	5.34
<b>Octubre</b>	23.69°	5.64
<b>Noviembre</b>	23.69°	5.12
<b>Diciembre</b>	23.69°	4.78
<b>Promedio</b>		5.54

*Tabla 8.- Horas Pico solar en Monterrey, Nuevo León.*

<b>Nuevo León (Monterrey)</b>		
<b>Mes</b>	<b>Inclinación</b>	<b>HPS</b>
<b>Enero</b>	25.68°	5.03
<b>Febrero</b>	25.68°	5.85
<b>Marzo</b>	25.68°	6.19

<b>Abril</b>	25.68°	6.2
<b>Mayo</b>	25.68°	5.9
<b>Junio</b>	25.68°	5.92
<b>Julio</b>	25.68°	5.74
<b>Agosto</b>	25.68°	6.01
<b>Septiembre</b>	25.68°	5.32
<b>Octubre</b>	25.68°	5.76
<b>Noviembre</b>	25.68°	5.22
<b>Diciembre</b>	25.68°	4.98
<b>Promedio</b>		5.68

*Tabla 9.- Promedio de horas pico solar anuales de la región norte y el promedio general de dicha zona.*

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

Analizando las tablas mostradas (Tablas de la 2 a la 9) se puede determinar que cada una de estas regiones de la zona norte posee un gran potencial en cuanto al recurso solar observando un promedio de la zona de 6.2 HPS, situación que permite concluir que en el norte del país resulta viable la utilización de sistemas fotovoltaicos (SFV) para abastecer instalaciones eléctricas.

### 3.3.2 Tabla de dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Para el diseño del SFV fue necesario utilizar una tabla de dimensionamiento la cual relaciona las variables requeridas para diseñar un sistema de este tipo. Entre las que se encuentran: Horas pico solar (HPS), pérdidas del sistema, consumo de energía y la potencia de los paneles solares.

Para comenzar se determinó la cantidad de horas en que el sol se encuentra en su punto máximo de radiación  $1000 \text{ KW/m}^2$ , denominadas HPS las cuales en el caso del Estado de Durango son 5.7 horas por día. En seguida se determinó el consumo de energía del sistema, el cual se obtuvo mediante la sumatoria de los consumos individuales de cada componente. La Tabla 10 muestra cada consumo individual y la suma total de los mismos.

Como se puede observar en la Tabla 10, el sistema requerido por el prototipo es menor a los 0.1 KWh/día, por lo cual se determinó utilizar un sistema fotovoltaico del tipo aislado con una capacidad de generación de 1.2 KWh/día, esto además se traduce en un sistema fotovoltaico de bajo costo y que permitirá al propietario del mismo disponer de 1 KWh/día excedente para utilizarlo en sus actividades. Así mismo el mantener un sistema de baja potencia permite desarrollar un prototipo que pueda ser transportado con facilidad y colocado en sitios con poca disponibilidad de espacios.

En las Tablas 11 y 12 se muestran las variables de diseño requeridas para el diseño del SFV necesario para el prototipo y el dimensionamiento del mismo. Como se mencionó anteriormente se sobredimensionará con el objetivo de ofrecer al usuario un excedente de energía para que pueda disponer de ella en sus actividades productivas.

Tabla 10.- Consumos individuales del ozonificador.

Componente	Cantidad	Consumo (KW)	Total
Reactor de efecto corona	2	0.023	0.046
Bomba de aire	1	0.015	0.015
LED indicador	2	0.005	0.01
		Consumo total	0.071

Tabla 11.- Variables de diseño del sistema fotovoltaico.

Variables de diseño	
HPS - pérdidas	4.8705
Consumo bimestral	4.941
Consumo mensual	2.4705
Consumo diario	0.08
Pérdidas (%)	0.15
Potencia del panel	0.25

Tabla 12.- Dimensionamiento fotovoltaico.

Dimensionamiento del SFV		
Consumo Mensual	2.4705	
Potencia del panel	0.25	
Generación diaria	1.22	
Generación mensual	37.14	Número real de paneles
Número de paneles	0.1	1
Potencia del sistema	0.3	

Como se puede observar en las tablas anteriores, la producción de energía del SFV es suficiente para abastecer al generador de ozono, situación que permite como ya se mencionó anteriormente, abastecer de energía a otros dispositivos de bajo consumo de potencia (tomando en cuenta que se tiene un límite de 400W por la potencia máxima del inversor). Durante la etapa de pruebas del sistema, se analizaron la duración de la batería, la cantidad de ciclos de trabajo que el SFV puede soportar (tomando en cuenta que cada ciclo de trabajo dura 1 hora) y así mismo se realizaron pruebas de carga con diferentes dispositivos, como cargadores

de celular y laptop, se determinó también que el sistema es capaz de abastecer una televisión de 24" (con la que se realizaron las pruebas).

En cuanto a la duración de la carga del SFV se realizaron 6 riegos con la carga de la batería y esta no disminuyó del 75% del total de energía almacenada, lo que permite establecer que una carga puede abastecer el sistema para el trabajo de al menos un mes, o en su defecto puede ser utilizado en conjunto con otros dispositivos sin comprometer el funcionamiento del ozonificador.

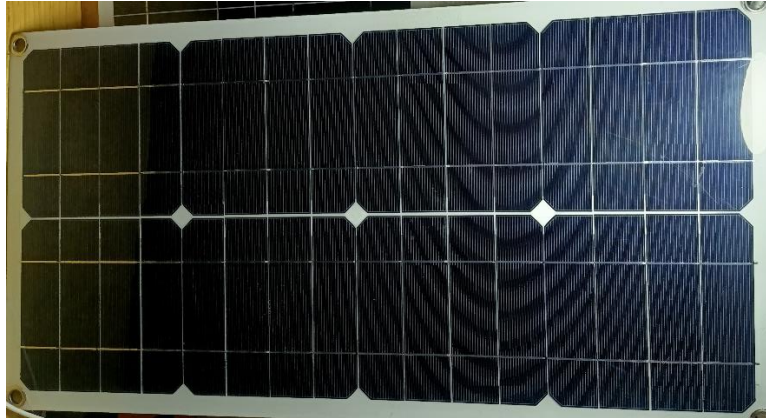
### **3.3.3 Sistema fotovoltaico aislado para el generador de ozono.**

Como resultado del proceso de dimensionamiento del SFV para abastecer de energía al generador de ozono, se desarrolló un sistema fotovoltaico de tipo aislado, con una autonomía de carga que permite al dispositivo realizar por lo menos 10 inyecciones de ozono en agua de riego, así como la capacidad de carga suficiente para alimentar cargadores de celular o algunos otros dispositivos que no demanden una potencia mayor a los 200 w.

Los componentes seleccionados para el SFV fueron los siguientes, un panel solar de 250w de tipo flexible, con unas dimensiones de 54 x 28 cm. Así como una batería de 7 Ah, un inversor de corriente de 400 w y un controlador de carga de 12 v.

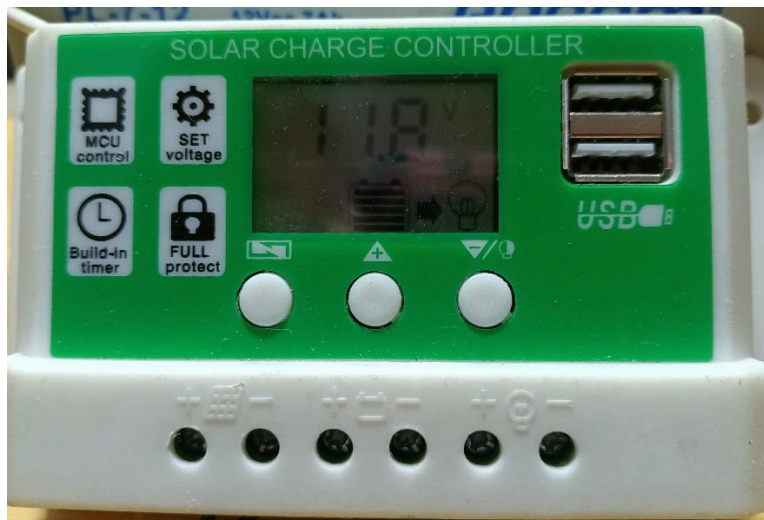
El panel solar seleccionado (Figura 27) es de tipo monocristalino, con dos conexiones USB de 5V, y un Jack de 12/24V y sus especificaciones de trabajo son las siguientes:

- Voltaje de trabajo: 5/12/24 V
- Corriente de corto circuito 2 A
- Dimensiones: 540 \*280 \*30mm



*Figura 27.- Panel solar para el sistema fotovoltaico.*

El controlador de carga (Figura 28) es un controlador de 1800 w (12 V)/ 3600 w (24 V) con una corriente máxima de 100 A, dos puertos USB para cargar dispositivos y con conexiones para iluminación solar incluidos.



*Figura 28.- Controlador de carga para el sistema fotovoltaico.*

La batería seleccionada (Figura 29) para hacer el sistema de tipo aislado es una batería de ciclo profundo de 12 V y 7 Ah, de 6.5\*10\*15 cm y con un peso de 2 Kg.



Figura 29.- Batería para el sistema fotovoltaico.

Por ultimo y como el componente que permite que el SFV pueda abastecer al generador de ozono, el inversor seleccionado (Figura 30) fue un inversor de 12 Vcc a 120 Vca de 400w con un consumo de 40 A, cuenta con dos conexiones USB de 5 Vcc a 3.1 Acc y dos contactos polarizados de 120 Vca



Figura 30.- Inversor de corriente para el SFV.

En conjunto cada uno de los componentes del sistema requieren un espacio menor a medio metro de superficie y un mínimo de 65 cm de altura. El peso del SFV apenas supera los 4 kg, siendo la batería el componente mas pesado. Es importante mencionar que el panel solar es flexible y muy delgado, con un grosor de apenas 30 mm, por lo cual puede instalarse en



superficies curvas o colgarse en cualquier estructura (el mismo panel ya viene con perforaciones para ganchos) la Figura 31 muestra el SFV de tipo aislado resultante.



*Figura 31.- Sistema Fotovoltaico para abastecer de energía al generador de ozono.*

Como se puede observar en la Figura 30 el sistema es muy compacto por lo que permite que el mismo sea colocado a manera de módulos sobre el dispositivo de generación de ozono, lo que permitiría tener un dispositivo de generación de ozono completamente autónomo y portable.

### **3.4 Escalamiento del sistema.**

Como parte del trabajo desarrollado, se determinaron las concentraciones de ozono para ofrecer los beneficios ya mencionados a lo largo del desarrollo del presente proyecto, situación que permite establecer rangos para el escalamiento del sistema, relacionando la cantidad de litros con la concentración calculada, así mismo el determinar la concentración adecuada permite que el SFV pueda ser escalado también de manera sencilla.

### **3.5 Determinación de ozono óptimo.**

A través de la observación durante las pruebas del ozonificador se pudo determinar que a una dilución de 1200 mg por cada 2400 L de agua se comienzan a observar mejoras en la planta. Es decir, la cantidad de ozono en el agua de riego comienza a propiciar un correcto desarrollo del cultivo, por lo tanto, se probó esta dilución en los diferentes cultivos sobre los que se estuvo trabajando, obteniendo los mismos resultados en cada uno de ellos.

Es por ello que, se estableció que el escalamiento partiría de esta cantidad, para poder desarrollar las tablas de escalamiento, lo cual permite no solamente definir la cantidad de ozono necesaria para escalar el dispositivo, sino que también se pueda calcular de manera sencilla el tiempo necesario para inyectar esta cantidad de ozono en caso de tener tanques de menor capacidad.

Para realizar el escalamiento del sistema, debemos primero conocer la cantidad de agua del tanque de contención del sistema de riego. Esto con el objetivo de obtener una tabla que permita relacionar los litros de agua con el ozono que se inyecta en el agua en los valores ya determinados, es decir 1200 mg en cada 2400 L. Con la obtención de estos datos se realiza una multiplicación mediante una regla de 3 que nos permite determinar los mg de ozono requeridos. La Tabla 13 nos muestra este procedimiento a través de una hoja de cálculo del programa Excel del paquete de Microsoft Office®.

Tabla 13.- cálculo de la cantidad de agua u ozono para el cultivo.

	Ozono (mg)	Agua (L)
Valores de diseño	1200	2400
	100	200

En este caso la regla de tres se realiza de manera automática, permitiéndonos conocer la cantidad de ozono necesaria para obtener los beneficios ya mencionados. La Tabla 14 nos permite observar cómo al modificar la cantidad de litros de agua la cantidad de ozono se modifica.

Tabla 14.- Tabla para calcular la cantidad de ozono a inyectar en agua de riego.

	Ozono	Agua
Valores de diseño	1200	2400
	700	1400

El desarrollo de esta tabla también permite determinar la cantidad de generadores de ozono con los cuales se debe trabajar, ya que se ha trabajado con reactores que producen 600 mg/h de ozono. Además permite determinar el tiempo de trabajo en caso de que la cantidad de agua sea menor a la requerida para que el reactor trabaje durante una hora, este procedimiento sigue el procedimiento de dimensionamiento de las tablas 13 y 14, con la diferencia que los valores de diseño en este caso serán determinados por la relación de generación del reactor de efecto corona, la cual es mostrada en las especificaciones de cada uno. La Tabla 15 muestra este procedimiento.

Tabla 15.- Calculo del tiempo de trabajo en función de los litros de agua.

	<b>Generación de ozono (mg)</b>	<b>Tiempo (h)</b>
<i>Variable de diseño</i>	600	1
	300	0.5

En cuanto a los sistemas que requieran una cantidad de ozono superior a la que pueda generar el reactor, se realizó una tabla que relaciona la cantidad de ozono con los litros de agua, realizando un cálculo como el mencionado en los parámetros de diseño de la Tabla 13 (La regla de 3 entre las variables de diseño y la cantidad de agua) y luego realiza una división del ozono requerido entre lo que produce cada generador. La Tabla 16 muestra este proceso.

Tabla 16.-Calculo del número de reactores para el generador de ozono.

<b>Agua (L)</b>	<b>Producción de ozono por reactor (mg)</b>	<b>Cantidad de ozono (mg)</b>	<b>Número de reactores</b>
200	600	100	1
700	600	350	1
1200	600	600	1
2400	600	1200	2
3000	600	1500	3
4000	600	2000	3
5000	600	2500	4
10000	600	5000	8

Como se puede observar en la Tabla 16 en el caso de los valores que requieren una cantidad menor de ozono a la que genera el reactor el valor resultante es un reactor, ya que es

en esta situación en la que se utiliza la Tabla 15 para poder determinar el tiempo de trabajo necesario para ozonificar el agua.

Al obtener el número de reactores en base a la cantidad de agua se debe calcular la cantidad de bombas de aire (pueden ser de dos salidas) y la cantidad en metros de manguera necesaria para el correcto funcionamiento del sistema. Para esta parte del diseño ya únicamente se trabajará con la cantidad de reactores de ozono, puesto que ya los demás datos los conocemos y ya han sido utilizados para llegar a este punto. La Tabla 17 muestra esta parte del diseño.

*Tabla 17.- Calculo de componentes necesarios.*

<b>Reactores de ozono</b>	<b>Salidas de aire por bomba</b>	<b>Manguera por salida (m)</b>	<b>Número de bombas</b>	<b>Cantidad de manguera (m)</b>
1	1	0.1	1	0.1
2	2	0.1	1	0.1
3	2	0.1	1.5	0.15
4	2	0.1	2	0.2
5	2	0.1	2.5	0.25
10	2	0.1	5	0.5
15	2	0.1	7.5	0.75
20	2	0.1	10	1

Es importante mencionar que en caso de que el productor solicite la automatización del dispositivo de ozonificación de agua de riego, la cantidad de microcontroladores necesarios para controlar el sistema se mantendrá siempre en una unidad, debido a que la tarea que este deberá realizar no está en función del número de reactores ni de litros de agua.

Por último, en el proceso de escalamiento, se deberá de realizar el dimensionamiento fotovoltaico del sistema, el cual se realiza tal como se muestra en el procedimiento de dimensionamiento en las Tablas 10 a la 12, modificando el número de reactores y de bombas, ya que en estas tablas el cálculo del consumo de estos componentes ya se hace de manera directa en función al número de reactores y bombas.

## CAPITULO 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dentro de los procesos llevados a cabo durante el desarrollo del dispositivo de generación de ozono, se realizaron pruebas de funcionamiento con diferentes tipos de ozonificadores de agua comerciales que ya existían en el mercado, para poder obtener una referencia de funcionamiento y además detectar las mejoras necesarias para obtener un dispositivo adaptado totalmente para un sistema de riego. De estas pruebas se obtuvieron los requerimientos esenciales para el diseño final del generador de ozono, cuyas necesidades y la manera en que se trataron se enumeran a continuación:

1. El sistema debe tener un diseño que le permita colocarse sobre los tanques de contención de agua de riego, debido a que en los invernaderos y campos de cultivo donde se estuvieron llevando a cabo las pruebas mencionadas, los sistemas de riego carecían de estructuras sobre las cuales se pudiera colocar el dispositivo.
2. Las dimensiones del dispositivo deben de considerar la capacidad de ser transportado por cualquier persona. Lo anterior, debido que se pudo observar que existen diferentes tanques de almacenamiento de agua en un solo sistema de riego, los cuales son utilizados para regar distintas partes del invernadero y en el caso de los campos de cultivo (con sistemas de riego por cintilla) existían diferentes tomas de agua por donde se inyectaba el agua ozonificada.
3. El sistema de inyección de ozono debe ser capaz permitir que el gas se libere en la parte más profunda del tanque de agua, de tal manera que este pueda interactuar con todo el líquido contenido. Por este motivo se determinó que dicho proceso se lleve a cabo con mangueras, puesto que la longitud se puede modificar fácilmente.
4. La necesidad de alimentar al dispositivo por medio de un sistema de generación de energía, el cual en el caso de este dispositivo se determinó que fuera un sistema fotovoltaico.
5. El sistema fotovoltaico también deberá tener la cualidad de ser portable.

Como respuesta a las necesidades anteriormente enumeradas, se desarrolló un dispositivo que puede ser utilizado en cualquier sistema de riego ya que el diseño final del mismo permite que se adapte a la perfección en cualquier tipo de tinaco (tanques de agua más comunes utilizados en invernadero). Así mismo permite que la inyección de ozono sea más eficiente que la realizada por un ozonificador comercial, el cual no está diseñado para este tipo de trabajo.

Derivado de los diferentes estudios de caso con los que se trabajó, se pudo observar que existen beneficios reales al ozonificar el agua de riego, como lo son: Controlar la presencia de plagas y enfermedades en la planta, dentro de las que destacan el *fusarium* y los nemátodos. En el caso del *fusarium* el productor previo al ciclo de cultivo realizó un estudio de suelo donde se constataba la presencia de 3 cepas diferentes de este hongo, lo que permite determinar que el ozono logró erradicar el problema, puesto que durante el estudio de caso no se tuvo presencia de esta enfermedad.

En el caso de los nematodos se observó que a medida que se realizan las aplicaciones esta plaga se va controlando hasta desaparecer, ya que al inicio del cultivo un 50% de las plantas se perdieron debido a este problema, el cual fue detectado a través de un muestreo donde se tomaron 50 muestras de plantas que habían muerto y en todas se podían observar nemátodos en las raíces. Dicho problema tal como se mencionó se fue controlando desde el primer riego con agua ozonificada fue, puesto que al muestrear nuevamente la misma cantidad de plantas no se observaron ninguno de estos diminutos organismos en ellas.

Así mismo existen beneficios en cuanto al rendimiento y la calidad del tomate cosechado, logrando aumentar la cantidad de racimos por planta, en las cuales se lograron obtener hasta 15 racimos por planta en un cultivo de medio ciclo. Esta situación contrasta con los ciclos de cultivo anteriores, puesto que con la información brindada por el productor se tuvo el conocimiento que durante los 10 años anteriores (al año en que se realizó la prueba y siendo cultivos de ciclo completo) al llegar al 8vo. racimo, el cultivo comenzaba a disminuir su producción debido a problemas relacionados con plagas y enfermedades.

Además, en cuanto al control de enfermedades se pudo observar que el ozono puede mejorar la salud de la planta comenzando desde la raíz y finalizando con el fruto, en este sentido se pudo observar que la planta poseía sistemas radiculares (raíces) más desarrollados y saludables, tallos vigorosos y con una coloración más radiante, una reducción en el tiempo del primer brote.

Como resultado de ello se permite establecer la viabilidad del proyecto, brindando una mejora en la calidad del fruto cosechado, el cual aumento un 20% según los datos del productor, mismo que durante la entrevista que se le realizó, indico que en ciclos anteriores lograba obtener un 60% de frutos considerados de primera calidad, mientras que con la implementación

del riego con agua ozonificada se logró cosechar un porcentaje cercano al 80% de tomate con las características necesarias para ser tomado como de primera calidad.



## CAPITULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se determina que el desarrollo del sistema de generación de ozono para su uso en la agricultura fue satisfactorio, ya que se lograron obtener beneficios importantes para los productores. Existe una mejora notable en la salud de la planta, se acelera el tiempo en que la planta comienza a dar frutos y por otra parte, se previenen enfermedades en el cultivo como en el caso del mildiu, *fusarium* y que se controlan plagas como los nemátodos. En relación a la duración del dispositivo contra la de un pesticida o fertilizante, el generador puede ser usado durante cada uno de los ciclos de cultivo que el productor lo requiera con una sola inversión y con costos de mantenimiento reducidos.

Así mismo, el desarrollo de este dispositivo representa una alternativa que permite disminuir la contaminación generada por pesticidas y plaguicidas en el proceso productivo, por lo que se contribuye al control del cambio climático.

Se concluye también, que el desarrollo y utilización de un dispositivo de ozonificación de agua de riego para sistemas de riego agrícola, es viable ya que no solamente implica la mejora de la salud de la planta y por ende un mayor rendimiento del cultivo, sino que se cumplen con los requisitos del desarrollo sostenible, puesto que hay beneficios económicos, sociales y medio ambientales.

Los beneficios económicos se dan en base a la disminución de los costos de producción y la mejora en la cantidad y calidad de los productos cosechados, lo que representa un mayor flujo de productos y de efectivo en el mercado. En cuanto al tema social, los productos obtenidos no contienen químicos peligrosos para la salud y así mismo, son productos de mayor calidad.

Medio ambientalmente hablando, los beneficios que se obtienen son de mayor impacto, ya que se disminuye el uso de pesticidas y fertilizantes y con ello la disminución en el impacto ambiental de la actividad agrícola. En este sentido, el ozono también favorece los procesos celulares y puede ayudar a la biorremediación del suelo. Es por ello que la aplicación de este dispositivo ayuda a cumplir con los objetivos planteados en la estrategia nacional para disminuir el uso de los fertilizantes y pesticidas en México, en la cual se plantea que se debe incentivar el desarrollo y utilización de alternativas que permitan sustituir estos productos y que además coadyuven a la biorremediación del suelo.



## BIBLIOGRAFÍA.

Alvarado L. de G., J. (2018). "DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA AISLADA". Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de [https://oa.upm.es/52204/1/PFC\\_JORGE\\_ALVARADO\\_LADRON\\_DE\\_GUEVARA.pdf](https://oa.upm.es/52204/1/PFC_JORGE_ALVARADO_LADRON_DE_GUEVARA.pdf)

Arencibia-Carballo, G. (2016). "La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica". REDVET, 1-4.

Carpio Santos, L. K. (2018). "El uso de la tecnología en la agricultura". PRO-SCIENCES: REVISTA DE PRODUCCIÓN, CIENCIAS E INVESTIGACIÓN, 25-32.

CCEEA. (2022). "Solar App". Obtenido de CCEEA: <https://ccea.mx/solar>

Chicon, L. (2014). "ambientis.org". Obtenido de: [https://portalacademico.cch.unam.mx/materiales/prof/matdidac/sitpro/exp/quim/quim1/quimi\\_vall/ozono.pdf](https://portalacademico.cch.unam.mx/materiales/prof/matdidac/sitpro/exp/quim/quim1/quimi_vall/ozono.pdf)

Dobeic, M. (2012). "Ozone as a disinfectant in the food industry". MESO, 346-353.

Farias Fajardo, F. J., & Murillo Cosme, D. A. (2018). "Utilización de iluminación led para el ahorro de energía eléctrica en alumbrado público y residencial de la comunidad Soco Soco". Manabí: Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

Guillén, F. D. (2010). "El proceso de domesticación de las plantas". Casa del tiempo, 66-70.

Infanzon, M. H. (2017). "Efecto corona sobre líneas de transmisión". Lima: Silicon Technology.

Martín, I., & Alarcón Herrera, M. T. (2010). "ESTIMACIÓN DEL REQUERIMIENTO DE ENERGÍA PARA CALEFACCIÓN EN INVERNADEROS AGRÍCOLAS, EN CUATRO CIUDADES DEL ESTADO DE CHIHUAHUA, DURANTE EL PERIODO INVERNAL". CIMAV REPOSITORIO, 1-6.

ONU. (1997). "PROTOCOLO DE KIOTO". Kioto: CONVENCION MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO.

ONU. (2019). "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". Nueva York: Organización de las Naciones Unidas.

Portolés, J. J. (2001). "El ozono atmosférico: ¿Benefactor o malhechor?" *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 18(3), 350-363.

Ribeiro, D. (2015). "Ozono". *Revista de ciencia elemental*, 1.

SEDECO. (1998). *NMX-FF-031-1997-SCFI*. Ciudad de México: DOI.

Sosa Baldivia, A., & Ruíz Ibarra, G. (2017). "La disponibilidad de alimentos en México: un análisis de la producción agrícola de 35 años y su proyección para 2050". *Papeles de Población*, 207-230.

Zumaran, I. A. (27 de 04 de 2013). "CIMAV Repositorio". Obtenido de CIMAV: <http://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/804>

## ANEXOS

### ANEXO I

Imágenes de la prueba en invernadero.



*Figura 32.- Plantas durante la segunda semana después del trasplante.*



*Figura 33.- Planta de tomate regada con ozono.*



*Figura 34.- Planta de tomate durante la 4ta semana, comienza la floración.*



*Figura 35.- Primeros frutos en el cultivo (Semana 7 después del trasplante).*