

## Desarrollo de un prototipo generador de ozono (O<sub>3</sub>) alimentado por fotoceldas para su uso en la agricultura.

Ing. Jonathan Granados Santos, Dra. Merit Cisneros González, M.C. Darío Cisneros Arreola, Dr. Manuel Ismael Mata Escobedo, M.C. Oscar Gilberto Alaniz Villanueva.

<sup>a</sup> Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana [m20790152@vguadiana.tecnm.mx](mailto:m20790152@vguadiana.tecnm.mx) Durango, Dgo, México. Autor A.

<sup>b</sup> Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana [merit\\_cg@vguadiana.tecnm.mx](mailto:merit_cg@vguadiana.tecnm.mx) Durango, Dgo, México Autor B.

<sup>c</sup> Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana [dario.ca@vguadiana.tecnm.mx](mailto:dario.ca@vguadiana.tecnm.mx) Durango, Dgo, México Autor C.

<sup>d</sup> Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana [manuel.me@vguadiana.tecnm.mx](mailto:manuel.me@vguadiana.tecnm.mx) Durango, Dgo, México Autor D

<sup>e</sup> Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana [oscar.av@vguadiana.tecnm.mx](mailto:oscar.av@vguadiana.tecnm.mx) Durango, Dgo, México Autor E

### Resumen

La explosión demográfica y las proyecciones de crecimiento han conducido a la sociedad a un punto crítico en el cual se han comenzado a presentar problemas de falta de alimento y alza en el precio de los mismos. Es por ello que se plantea el desarrollo de un sistema de generación de ozono para su uso específico en sistemas de riego agrícolas, el cual permita ofrecer a los productores la capacidad de aumentar el rendimiento de sus cultivos, sin la necesidad de incrementar el espacio con el que cuentan. Esto debido a que la problemática descrita ha causado la disminución de las áreas destinadas para la producción agrícola. También se observó la necesidad de incluir un sistema fotovoltaico para abastecer de energía al dispositivo y con ello asegurar que pueda ser utilizado en cualquier lugar.

Se obtuvieron beneficios tangibles gracias a la aplicación de riegos con agua ozonificada, dentro de los cuales se destacan la disminución del uso de pesticidas y el incremento en la calidad del fruto.

Así mismo, se pudo determinar que el desarrollo e implementación de un sistema de este tipo resulta viable económica y técnicamente, en base a que representa un costo bajo en comparativa con otras tecnologías y su mantenimiento es sencillo y económico. En cuanto a la complejidad de uso, puede ser operado por cualquier persona después de una breve capacitación.

**Palabras clave**—Agricultura, Agua, Cultivos, Ozono, Riego.

### Abstract

*The population explosion and the growth projections make the society go on a critical point where we are starting to have problems of lack of food and a notorious increase in its prices. So in response of that problem, the development of an ozone generator system for a specific use in an irrigation system of the agriculture its planning, the capacity of increase the yield their crops without the necessity of get more extension of soil will be provided by the system, because the areas used for the agriculture decrease by this*

*problem. Also, the necessity of include a photovoltaic solar system that provide energy to the system was seen and with that ensures that can be used anywhere.*

*Benefits of the application of ozonated water irrigation was seen, among which the decrease of the use of pesticides and the increase in the quality of the fruit stand out.*

*It's possible to determine by the results that the development and implementation of a system of this type is economically and technically feasible, based on the fact that it represents a low cost compared to other technologies and its maintenance is simple and economical. In terms of the complexity of use, it can be operated by anyone after brief training.*

**Keywords**—Agriculture, Crops, Irrigation, Ozone, Water.

## 1. INTRODUCCIÓN

La dinámica poblacional que se ha presentado durante los últimos años, así como la proyección del crecimiento hacia el año 2050 en el que se espera que alcancemos los 11 mil millones de habitantes en el planeta [1]. Esto, nos ha ido llevando a un escenario en el cual se ha comenzado a utilizar zonas destinadas para la producción de alimentos y convertirlas en zonas urbanas.

En el caso de México la cantidad disponible de tierra por persona ha disminuido 31% entre el año 1980 y el 2015, debido al crecimiento de la población. Así mismo los requerimientos alimenticios han aumentado, llevando a la agricultura a incrementar un 117% la cantidad de productos cosechados. Dicha situación se traduce en que se ha tenido que mejorar el rendimiento de las cosechas con la limitante de la disminución del área para cultivo [2].

Este escenario conlleva a que como sociedad no se respete el principio del desarrollo sostenible, ya que se hace uso de los recursos sin asegurar los mismos para las generaciones futuras [3]. Basándose en lo planteado anteriormente, se puede pronosticar que en los próximos años se observen problemas de desabasto de alimentos y alza en el precio de los mismos. Esto obligará a buscar alternativas viables para ayudar a incrementar el rendimiento de las cosechas y que las mismas no representen riesgos a la salud de sus consumidores.

Como una respuesta a esta problemática, se ha optado por el desarrollo de un sistema de ozonificación de agua de riego con el fin de mejorar la calidad de la misma y ofrecer beneficios tangibles a los productores [4]. Debido a lo mencionado anteriormente, la solución al problema es incrementar el rendimiento de los cultivos, de manera que se obtengan más productos en la misma extensión de tierra.

El ozono representa ser una opción favorable para los productores, ya que les otorga la posibilidad de mejorar el rendimiento y la calidad del cultivo sin la necesidad de incrementar la cantidad de tierra que utilizan. Esto se debe a que el ozono tiene un alto poder desinfectante y oxigenante

[5]. Dichas variables en la agricultura incrementan o disminuyen el rendimiento de la cosecha final.

## 2. CONTENIDO

### 2.1 Variables de decisión para el determinar el tipo de sistema de generación de Ozono ideal para el prototipo.

La generación de ozono actualmente se puede realizar de distintas maneras siendo las principales por medio de electricidad, así mismo mediante la aplicación de rayos UV [6]. Sin embargo, dependiendo del tipo de sistema a utilizar el consumo de energía eléctrica aumenta o disminuye, lo cual supone una limitante para la aplicación de esta tecnología en la agricultura.

La selección del sistema se llevó a cabo considerando los siguientes puntos de importancia, los cuales determinarán la factibilidad de la aplicación del ozonificador de agua en sus sistemas de producción.

1. Consumo de energía: Debido a que el objetivo del desarrollo del sistema es otorgarles un beneficio a los productores, sin generar un incremento significativo en los costos de producción.
2. Facilidad de manejo: Se busca ofrecer un sistema sencillo de utilizar para los productores que deseen adquirir el sistema.
3. Complejidad del mantenimiento: Ya que este factor puede llegar a ser el factor determinante para la adquisición del sistema por parte de los productores, considerando que a mayor complejidad del mantenimiento el costo aumentará.
4. Portabilidad del sistema: Considerando la idea principal del desarrollo del sistema y tomando en cuenta que existirán productores que solamente busquen el servicio de ozonificación de agua. El dispositivo final deberá de ser fácil de trasladar y de instalar en cualquier sistema de riego.

La utilización de un sistema de generación de ozono de fácil manipulación y bajo costo de mantenimiento, determinara la viabilidad del sistema. Esto debido a las características del producto y el área específica donde será implementado. Por lo que un dispositivo amigable con el usuario será la variable principal que determinará la aceptación del mismo por parte del consumidor 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.

Tecnología de generación de ozono	Variables de decisión				
	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

Fuente: Autoría propia.

#### 2.1.1 Selección del sistema más viable para el uso en la agricultura.

Como se mencionó anteriormente, 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.

En ese sentido, se determinó que la opción más adecuada de generación es por medio del efecto corona con circuito de alta tensión electrónica, el cual se basa en la ionización del aire que se encuentra entre dos conductores con una diferencia de potencial muy elevada [7]. Este proceso se lleva a cabo dentro de un pequeño reactor sellado, compuesto por dos tubos de aluminio o metal uno dentro del otro, a los que se conectan dos cables eléctricos mediante los cuales se transmitirá el voltaje y ocasionará millones de micro descargas entre los tubos. Al mismo tiempo que lo anterior ocurre, se hace circular el aire dentro de este reactor con la ayuda de una bomba, lo cual genera un flujo de aire continuo el cual desplaza el ozono generado y a su vez alimenta al sistema con más aire para continuar con la generación de ozono.

Esta alternativa supone bajos costos de mantenimiento y reparación en caso de alguna falla, debido a que el mantenimiento consiste básicamente en la eliminación de una pátina de sarro en el tubo interno ocasionada por las

descargas eléctricas. En cuanto a los repuestos de las piezas son fáciles de conseguir en el mercado y son de bajo costo.

## 2.2 Desarrollo del dispositivo de generación.

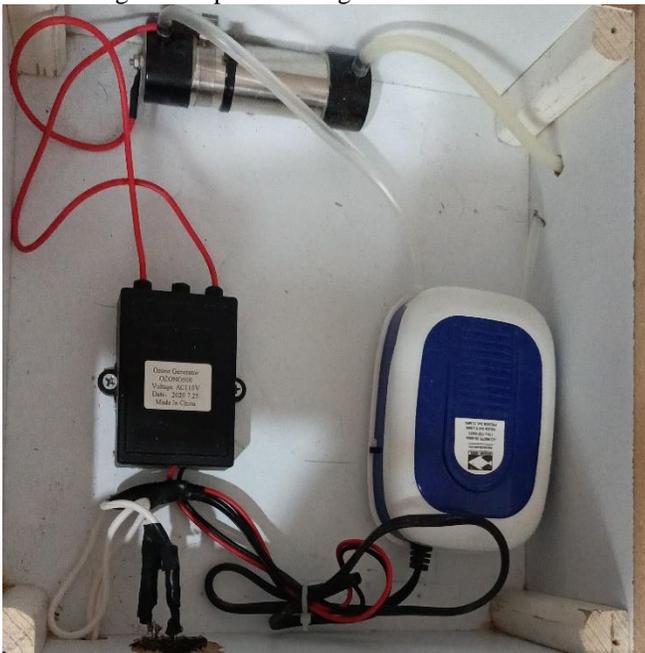
Después de seleccionar el sistema más adecuado para el proyecto, se procedió a diseñar el generador buscando que fuera compacto y manejable, para que pueda ser colocado en el sistema de riego fácilmente y se encuentre protegido de los factores ambientales y del agua con la que se trabaja.

Se determinó que el material óptimo para la confección de la carcasa es el plástico debido a su bajo costo y su fácil manejo, además por su alta resistencia y que el peso final del dispositivo es mínimo. Esto permite asegurar el objetivo de obtener un aparato portable. La Fig. 1 muestra el dispositivo ozonificador construido.

También, se estableció la manera en que se inyectará el ozono en el agua, ya que el tipo de generador seleccionado requiere un método de conducción de la mezcla de aire y ozono hasta el agua utilizada en el sistema de riego. Por ello se determinó la utilización de mangueras plásticas de 1/8", las cuales se insertan dentro del contenedor de agua y permiten que el ozono sea inyectado para que se mezcle con el líquido.

De la misma manera se definió que para los dispositivos que vayan a estar fijos en un lugar durante un tiempo indeterminado, se utilizaran tubos de PVC con perforaciones estratégicas. Lo cual tendrá la finalidad de que el ozono pueda interactuar con todo el líquido contenido en el tanque de contención de agua del sistema de riego.

Fig. 1.- Dispositivo de generación de ozono.



Fuente: Autoría propia.

## 2.3 Desarrollo de pruebas del prototipo.

Como parte del proceso de validación del prototipo se realizarán diversas pruebas de funcionamiento, comparando un generador de ozono comercial y el desarrollado. Con el objetivo de analizar el funcionamiento del dispositivo diseñado y detectar las posibles mejoras, para que el prototipo se adapte a la perfección a los sistemas de riego agrícolas.

Se realizaron pruebas de funcionamiento en un cultivo de cebolla el cual no presentaba un crecimiento uniforme, aun cuando el sistema de riego utilizado garantizaba la misma disponibilidad de agua en toda la superficie del sembradío. Obteniendo de esta prueba un resultado favorable para el productor, ya que la cebolla presentó un crecimiento acelerado y alcanzó el tamaño promedio de todo el cultivo en un periodo de 15 días con una sola aplicación de ozono.

También se realizaron riegos semanales en un invernadero de pruebas, donde se trabajaba con bolsas de sustrato de coco y un sustrato experimental, en este caso el cultivo era chile poblano, el cual presentaba deficiencias en su desarrollo. Dicho cultivo presentaba la muerte de aproximadamente un 50% de las plantas, mientras que de la cantidad restante de plantas; un 25% presentaba problemas de crecimiento y no había presencia de ninguna flor. En este caso en específico, se pudo observar una mejoría en la salud de la planta. Sin embargo, no se logró ayudar a que la planta generará frutos, debido a que se había llegado a un punto de no retorno, en que solo podía asegurarse la supervivencia de la planta únicamente.

Por último, con el objetivo de obtener resultados concluyentes del funcionamiento del prototipo, se realizó una petición de trabajo con un productor de tomate de la localidad de Nixtalpan, Nombre de Dios, Dgo. La Fig. 2 muestra el interior del invernadero donde se realizaron los riegos.

Fig. 2.- Invernadero durante la semana 3 del ciclo.



Fuente: Autoría propia.

### 2.3.1 Planeación de la prueba en invernadero.

Dada la necesidad de realizar una prueba concluyente como se mencionó anteriormente, el hacer uso de un invernadero cuyo fin es producir cultivos para su venta, permitió observar los beneficios de utilizar el ozono en los sistemas de producción agrícola.

En este caso en particular, el productor a la fecha en que se comenzó a trabajar con el cultivo, tenía 10 años produciendo tomate dentro de su invernadero. El cultivo había presentado problemas con el suelo debido a la presencia de nematodos, así mismo *fusarium* y otras enfermedades que afectaban tanto su producción, como la duración del ciclo del cultivo.

Para las pruebas se estableció un programa de riegos con la intención de observar claramente los beneficios del riego con agua ozonificada. También se determinó que primero se llevarían a cabo riegos en todo el invernadero, es decir en cada una de las 50 camas que lo componen.

Después, como parte de la prueba se estableció que cuando las plantas estuvieran en su etapa de maduración, se interrumpiría el riego general del invernadero, para proceder a utilizar un túnel (5 camas) como área de pruebas. En este punto del experimento, la selección de este túnel se deja a criterio del productor, solicitándole que asigne el que a su consideración sea el que presente mayores irregularidades en el crecimiento de la planta.

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.

En este caso, el productor contaba con un invernadero de aproximadamente  $\frac{1}{2}$  hectárea de superficie, compuesto por 10 túneles y 5 camas en cada uno. En dicho invernadero las paredes eran en su mayoría malla anti áfidos y en zonas estratégicas plástico. Las pruebas se llevaron a cabo durante todo el ciclo del cultivo, comenzando durante el mes de mayo en el día que se realizó el trasplante de las charolas de germinación al invernadero. Se culminó con las pruebas en el mes de noviembre debido a que para ese momento comenzaban a presentarse temperaturas bajas, lo cual causó que el cultivo dejara de ser rentable para el productor y tomó la decisión finalizar la producción.

Las pruebas en este invernadero resultaron favorables para el productor, ya que se obtuvieron mejorías considerables en la salud del suelo y por lo tanto de la planta. Además, se pudo observar de manera clara que se erradicó el problema de los nemátodos y el *fusarium*, presentes en cada uno de los ciclos anteriores.

Como parte de los beneficios observados durante el experimento se obtuvieron una mayor cantidad de racimos por planta y un aumento en la calidad del fruto. Esto de acuerdo a la experiencia del productor, aumentó en un porcentaje de entre 15 a 20% pasando de un 60% de tomate de primera calidad a un porcentaje cercano al 80% de excelente calidad acorde a los parámetros de la NMX-FF-031-1997-SCFI [8]. En la Fig. 3 se observa un tomate recién cosechado.

Se pudo observar de la misma forma que el agua ozonificada ayudó a controlar la presencia de enfermedades en la planta, ya que durante los primeros meses del ciclo el productor no requirió utilizar pesticidas. Además se percibió que después de la suspensión del riego en todo el invernadero, se presentó una enfermedad no identificada que se expandió a casi la totalidad del invernadero, teniendo presencia en cada una de las 45 camas que no estaban siendo regadas con agua ozonificada. Mientras que de las 5 camas donde se continuo con el riego, solo una planta de una cama presentó dicha enfermedad.

### 2.4 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Con el objetivo de asegurar que el sistema pueda ser utilizado por los productores de la región sin importar si poseen o no acceso a una fuente de energía eléctrica, se determinó que el prototipo sea energizado mediante un sistema fotovoltaico (SFV). Dando la facilidad que pueda ser colocado en algún lugar cercano al invernadero donde haya espacio para que el panel capte la luz solar.

La determinación del uso de un SFV se da en base a la riqueza nacional en cuanto al recurso solar, ya que en México la cantidad de radiación solar captada por metro cuadrado alcanza en varias regiones los  $5 \text{ KW/h}\cdot\text{m}^2$  [9]. Siendo esta un área de oportunidad viable para abastecer de energía al sistema de generación de ozono.

Fig. 3.- Tomate cosechado del invernadero.

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



Fuente: Autoría propia.

El sistema se desarrolló cuidando meticulosamente el consumo de energía final del prototipo, situación que influye directamente en el tamaño del SFV requerido. Por lo tanto, se buscaron componentes que representaran cargas eléctricas bajas (menores de 0.1 KW/h).

#### 2.4.1 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 W/m<sup>2</sup> [10]. Estas, se denominan HPS las cuales en el caso del Estado de Durango son 5.7 horas por día [11]. 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 2 muestra cada consumo individual y la suma total de los mismos.

Como se puede observar en la Tabla 2 el sistema requerido por el prototipo es menor a los .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. Además 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 3 y 4 se muestran las variables 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 2.- Cálculo de consumo del dispositivo

Fuente: Autoría propia.

Tabla 3.- Variables de diseño.

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

Fuente: Autoría propia.

Tabla 4.- Dimensionamiento del sistema 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	

Fuente: Autoría propia.

### 3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La aplicación de tecnologías complementarias a la agricultura permite coadyuvar al incremento en la producción de alimentos. Por lo tanto, el desarrollo del prototipo planteado representa una opción viable para los agricultores, debido a que otorga una alternativa de bajo costo y con resultados favorables para el cultivo.

Con base a lo mencionado, el generador de ozono permite que el productor mantenga bajos sus costos y maximice sus ganancias, ya que se observó que se logró disminuir la utilización de pesticidas. Además, se notó un incremento importante en la calidad del fruto y la cantidad del mismo.

Se observó también que el riego con agua ozonificada posee la capacidad de mejorar la salud del suelo, lo cual para el productor se traduce en certeza de que, si el trasplante se lleva a cabo de manera correcta su cultivo se desarrollara de manera óptima. Además, se distinguió un aumento en el sistema radicular del tomate.

#### 3.1 Trabajo futuro.

En cuanto al desarrollo del sistema final de generación de ozono para agua de riego, se tienen pendientes tareas como el análisis de la interacción del ozono con los nutrientes presentes en la tierra, así como la interacción con fertilizantes orgánicos. En este sentido se tiene la hipótesis de que el ozono ayuda a que la planta pueda asimilar más fácilmente los nutrientes durante el proceso de absorción del oxígeno en el agua.

Así mismo se está trabajando en la automatización del ozonificador de agua, con el objetivo de integrar un sistema de control que permita prevenir fallas en el funcionamiento óptimo del sistema, las cuales se presentaron durante las pruebas.

Una de las fallas más notables del sistema fue la pérdida de agua de los tanques de contención por mal cerrado de las válvulas. La cual puede ser controlada con un sensor de nivel que apague el sistema en caso de no tener la cantidad suficiente de agua.

Por otra parte, es importante mencionar que el ozonificador puede trabajar durante máximo una hora y media continua, requiriendo de una pausa de por lo menos una hora más. Por esta razón, se planea implementar un sistema automático de apagado para evitar que el ozonificador se sobrecaliente por exceder el tiempo de trabajo. Lo que también permitirá implementar una pantalla que muestre el tiempo de trabajo y un botón de paro de emergencia en caso de cualquier eventualidad que se presente.

Por último, se planea a futuro escalar el prototipo con su SFV para cualquier cultivo en invernaderos de mucho mayor

tamaño y que logre cubrir las necesidades de productores agrícolas más grandes dentro del Estado de Durango.

#### 3.1 Observaciones generales

El presente proyecto se basó en la validación del funcionamiento del generador de ozono y en el diseño de un aparato adaptable al sistema de riego. Los resultados obtenidos durante las pruebas permitieron determinar que existen beneficios tangibles a corto plazo con la aplicación de agua ozonificada y establecer que hay tanto viabilidad financiera, como tecnológica.

### 4. REFERENCIAS

- [1] ONU, “Creciendo a un ritmo menor, se espera que la población mundial alcanzará,” United Nations Department of Public Information, New York, 2019.
- [2] A. S. Baldivia y G. R. Ibarra, “La disponibilidad de alimentos en México: Un análisis de la producción agrícola de 35 años y su proyección para 2050,” Papeles de población, Estado de México, 2017.
- [3] C. d. l. E. U. Mexicanos, “LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCION AL AMBIENTE,” Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, 2015.
- [4] S. L. R. Galindo, “Ozonoterapia, una opción para el sector agropecuario,” Revista Electrónica de Veterinaria REDVET, vol. VII, n° 10, p. 1-16, 2006.
- [5] M. Dobeic, “Ozone as a disinfectant in the food industry,” MESO, vol. XIX, n° 4, p. 346-353, 2017.
- [6] D. Ribeiro, “OZONO,” Revista de ciência elementar, vol. 3, n° 1, p. 1, 2015.
- [7] M. H. Infanzón, “CITE Energía,” 2016. [En línea]. Available: <http://www.citeenergia.com.pe/wpcontent/uploads/2016/09/paper-efecto-corona.pdf>. [Último acceso: 12 03 2022].
- [8] S. d. C. y. F. Industrial, “NMX-FF-031-1997-SCFI,” DOF, Ciudad de México, 1998.
- [9] M. A. González García, V. M. Cárdenas Galindo y R. Álvarez Salas, “Inversores Inteligentes en Sistemas de Energía Solar Fotovoltaica,” Universitarios Potosinos, vol. 16, n° 238, pp. 24-29, 2019.
- [10] M. B. Bueno y R. R. Bon, “Estudio de la factibilidad para la integración de un sistema solar fotovoltaico para la UTM,” [En línea]. Available: <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/792/1/Miguel%20Barragan%20Bueno%20MER.pdf>. [Último acceso: 12 03 2022].
- [11] I. A. L. Zumarán, “Estudio de viabilidad y dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para el estacionamiento del CIERMAD,” 27 04 2013. [En línea]. Available: <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/804/1/Iv%C3%A1n%20alejandro%20L%C3%B3pez%20Zumar%C3%A1n%20M.%20Ciencias%20en%20energ%C3%ADas%20renovables.pdf>. [Último acceso: 12 03 2022].