

# Desinfección en espacios cerrados mediante ozono: caso de estudio en el ITCG

Ramón Chávez Bracamontes<sup>1</sup>, Fernando Mancilla Peña<sup>2\*</sup>, Daniel Fajardo Delgado<sup>3</sup>, Ernesto Cárdenas Zanabria<sup>4</sup>, Norma Angélica Díaz Antillón<sup>5</sup>, Cynthia Yvonne Mejía Cárdenas<sup>6</sup>, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán Depto. de Eléctrica y Electrónica<sup>1</sup>, Depto. de Ciencias de la Tierra<sup>2,5</sup>, Depto. de Sistemas Computacionales<sup>3</sup>, Depto. de Mecánica<sup>4</sup>, Estudiante de la maestría en Electrónica<sup>6</sup>

**Resumen - En este artículo se presentan los resultados obtenidos al aplicar experimentos de sanitización con gas de ozono (O<sub>3</sub>), a fin de comprobar su eficacia en la desinfección de espacios cerrados. Estos experimentos fueron implementados con un sistema automatizado para la sanitización de espacios interiores mediante ozono y el monitoreo de dióxido de carbono con tecnología IoT. Se realizaron pruebas microbiológicas en un espacio controlado para determinar el comportamiento de organismos mesófilos aerobios en sus medios de cultivo respectivos como el agar bacteriológico y agar para cuenta de hongos y levaduras. Los resultados observados demostraron que el empleo de ozono como agente biocida para control ambiental es efectivo en la desinfección de superficies y en la desaceleración del crecimiento en microorganismos ya generados, resultando más efectivo el proceso durante y en la primera hora inmediata después de su aplicación.**

## Índice de Términos - Ozono, Mesófilos, Desinfección.

**Abstract - This article presents the results obtained by applying sanitization experiments with ozone gas, to verify its effectiveness in disinfecting closed spaces. These experiments were implemented with an automated system for sanitizing indoor spaces using ozone and monitoring carbon dioxide with IoT technology. Microbiological tests were carried out in a controlled space to determine the behavior of aerobic mesophilic organisms in their respective culture media such as bacteriological agar and agar for counting fungi and yeasts. The observed results demonstrated that the use of ozone as a biocidal agent for environmental control is effective in disinfecting surfaces and slowing down the growth of microorganisms already generated, with the**

process being more effective during and in the first hour immediately after its application.

**Keywords - Ozone, Mesophiles, Disinfection.**

## I. INTRODUCCIÓN

La necesidad de desinfectar eficientemente los espacios en los cuales habitamos regularmente se ha incrementado con los efectos de la reciente pandemia por COVID-19, siendo mayor la probabilidad de transmisión del virus SARS-COV-2 a través de los aerosoles que se generan por la respiración de las personas [1].

En los procesos de potabilización del agua, el cloro es el desinfectante por excelencia que se ha empleado durante las últimas décadas [2]. Sin embargo, el uso del cloro y sus derivados involucra la generación de subproductos como los trihalometanos que son potencialmente peligrosos para la salud. Por el contrario, el ozono es una agente biocida altamente oxidante cuya utilización ha ido en aumento en los últimos años. La molécula de O<sub>3</sub> es uno de los oxidantes más poderosos que se conocen después del fluoruro, con una velocidad de reacción tres mil veces superior a la del cloro lo cual lo hace ideal para destruir virus, bacterias, hongos, esporas, algas y protozoos.

Las enfermedades respiratorias son una causa primordial de mortalidad y morbilidad en el mundo una vez que se suman las agudas y crónicas, así como las infecciosas y las no infecciosas. Este hecho puede intuirse al observar que, en todos los países, varias enfermedades respiratorias aparecen en las primeras 10 causas de enfermedad y muerte [3].

La necesidad de desinfectar los espacios públicos, con el fin de evitar la propagación de enfermedades respiratorias se agudizó durante la pandemia de Covid-19, recientemente se han reportado trabajos relacionados como los presentados por [4,5]. El presente trabajo tiene como objetivo demostrar como la aplicación del ozono de manera controlada puede emplearse de forma segura, a través de un dispositivo controlado aplicando O<sub>3</sub> como un agente desinfectante y empleando técnicas de monitoreo novedosas.

## II. DESARROLLO

Para realizar los análisis y experimentación de un proceso de desinfección se requirió llevar a cabo la instrumentación necesaria para medir la calidad del aire en el ambiente del área donde se realizaron los experimentos de sanitización. Posteriormente se llevaron a cabo los análisis microbiológicos con la finalidad de validar los efectos causados por el uso del gas O<sub>3</sub> en un entorno controlado y el grado de desinfección por el sistema propuesto.

En la figura 1 se puede observar la arquitectura del ecosistema que conforma el sistema de monitoreo y generación de ozono con tecnología de Internet de las Cosas (IoT), el cual es un desarrollo tecnológico realizado por nuestro grupo de investigación en el Tecnológico Nacional de México campus Ciudad Guzmán. Su objetivo es monitorear y registrar mediciones en tiempo real del CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) en espacios interiores, así como la desinfección por medio del gas O<sub>3</sub>, resaltando su uso en superficies y espacios interiores.

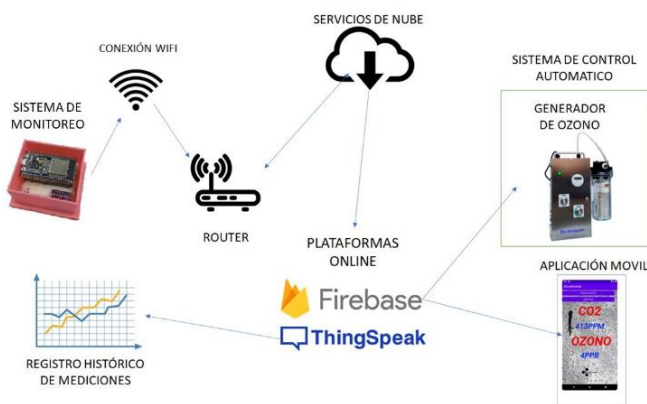


Fig. 1. Sistema de monitoreo y generación de ozono con tecnología IoT.

El sistema de monitoreo y generación de ozono con tecnología IoT está formado por cuatro elementos principales: a) un sistema de monitoreo IoT con sensores inalámbricos, b) una plataforma online con servicios en la

nube administrados por las herramientas de ThingSpeak y FireBase, c) un sistema de control automático de generación de ozono y d) una aplicación móvil para acceder a las mediciones, visualizando los datos en tiempo real y registro histórico de las mediciones.

### A. Sistema de monitoreo IoT

El sistema de monitoreo se emplea en la medición de la concentración de gases del ambiente en espacios cerrados. Este sistema utiliza un conjunto de sensores electroquímicos de CO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>, los cuales transmiten información de las mediciones en tiempo real y de forma inalámbrica a través del protocolo Wifi hasta una plataforma en la nube, donde se almacena en bases de datos para su posterior visualización y/o registro.

### B. Plataforma online

La plataforma online es la encargada de almacenar las mediciones en la nube a través los servicios de Firebase y ThingSpeak, siendo plataformas Open Source muy confiables y de fácil acceso.

### C. Sistema de control automático de generación de ozono

Este control permite mantener los niveles óptimos de O<sub>3</sub> y CO<sub>2</sub> para mejorar la calidad del aire dentro de los límites permitidos por las normas ambientales mexicanas.

### D. La aplicación móvil (App)

La App interactúa de forma remota con el sistema de medición para visualizar los datos y el registro histórico de las mediciones.

Una vez instrumentado el sistema de medición descrito anteriormente, se continuó con el objetivo del presente artículo, que involucró la experimentación con la aplicación de O<sub>3</sub> en un área controlada y una serie de procedimientos para llevar a cabo los análisis microbiológicos que se describen en la sección de metodología.

## III. METODOLOGÍA

Se realizaron 2 tipos de pruebas diferentes para evaluar el poder de desinfección del ozono, durante los experimentos se utilizó un generador de O<sub>3</sub> con una capacidad de 3 gr/hr.

### A. *Materiales utilizados:*

- Dispositivo generador de ozono de 3 gr/hr.
- Medios de cultivo: agar bacteriológico, agar para cuenta de hongos y levaduras.
- Cajas Petri de vidrio.
- Tubos con tapón de baquelita.
- Hisopos estériles.
- Plantillas de aluminio estériles
- Guantes, cubrebocas, cofias.

El material de trabajo microbiológico se esterilizó en esterilizadores de ollas de presión en las condiciones de presión y temperatura requeridos [6], para después en condiciones asépticas y estériles, realizar el vertido del medio de cultivo en cajas Petri de vidrio. También se prepararon tubos de ensayo con tapón de baquelita con medio de cultivo debidamente solubilizado con apoyo de calentamiento, dosificando en cada tubo con 5 ml. de medio de cultivo para posteriormente también ser esterilizado [7].

### B. *Procedimiento:*

En el área de toma de muestras (figura 2), se determinaron 5 diferentes zonas las cuales se identificaron como: Z1, Z2, Z3, Z4 y Z5; dentro de recinto donde se aplicó el desinfectante ozono en forma aérea [8].

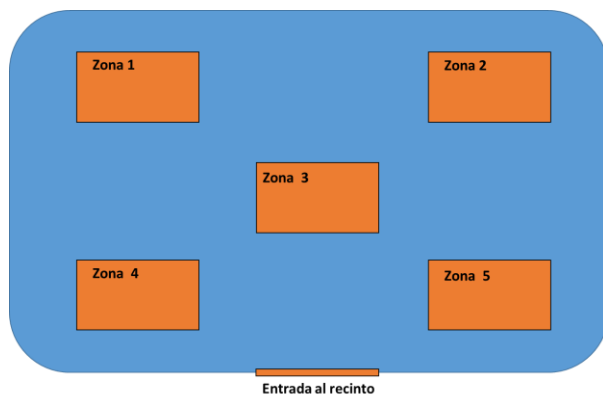


Fig. 2. Distribución de zona de muestras.

### C. *Diseño Experimental:*

Se tomaron muestras a 4 diferentes tiempos: T-1, T0, T1 y T2.

Evaluando microorganismos expresados en diferentes medios de cultivo: O1 y O2, para bacterias y hongos-levaduras respectivamente. Posteriormente se aplicaron dos tipos de pruebas para evaluar el impacto de desinfección del ozono en dos tipos de materiales biológicos diferentes:

1. Medición del impacto directo del ozono en muestras directas de microorganismos mesófilos aéreos, aplicando ozono ambiental.

Para esta prueba, se dejaron crecer organismos mesófilos aéreos comunes en el área de trabajo, en los dos diferentes medios de cultivo preparados, para bacterias y hongos-levaduras para posteriormente aplicar ozono en los mismos y evaluar su sobrevivencia.

2. Determinación de la presencia de microorganismos mesófilos aéreos en 4 tiempos distintos (tomando muestras biológicas de superficie):

- a) Antes de realizar la desinfección.
- b) Durante la desinfección. Tomando muestras de superficie a los 15 min de aplicado el desinfectante.
- c) Después de 1 hora de aplicación del desinfectante.
- d) Después de 2 horas de aplicación del desinfectante.

Para este segundo procedimiento, se esterilizó el medio de cultivo en los tubos con tapón de baquelita y se mantuvo en estas condiciones hasta la toma de las muestras biológicas de superficie.

## IV. RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en las pruebas realizadas.

La figura 3 muestra la concentración de ozono durante la etapa de aplicación de  $O_3$  en donde se tomaron muestras biológicas en la superficie y de letalidad de microorganismos vivos durante la experimentación.

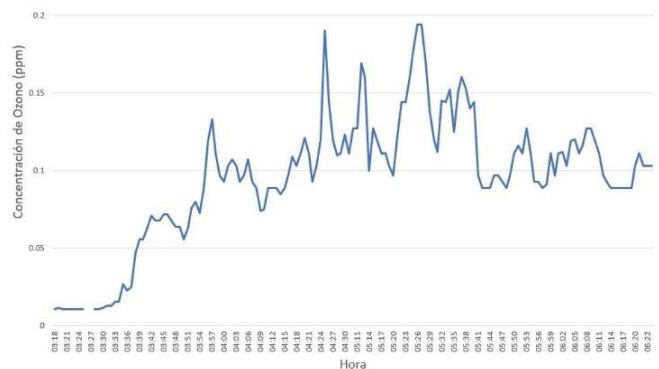


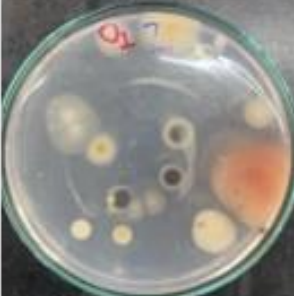



Fig. 3. Medición de ozono durante la experimentación y toma de muestras microbiológicas.

### A. *Medición del impacto directo del ozono en*

muestras directas de microorganismos mesófilos aéreos, aplicando ozono ambiental.

Las tablas I y II resumen los resultados obtenidos en dos medios de cultivo 01 y 02 antes y después de la desinfección expuestas a 5, 10 y 15 segundos directamente al O<sub>3</sub>.

Tabla I Microorganismos en medio de cultivo 01

Antes	3 días después de la desinfección
	
	

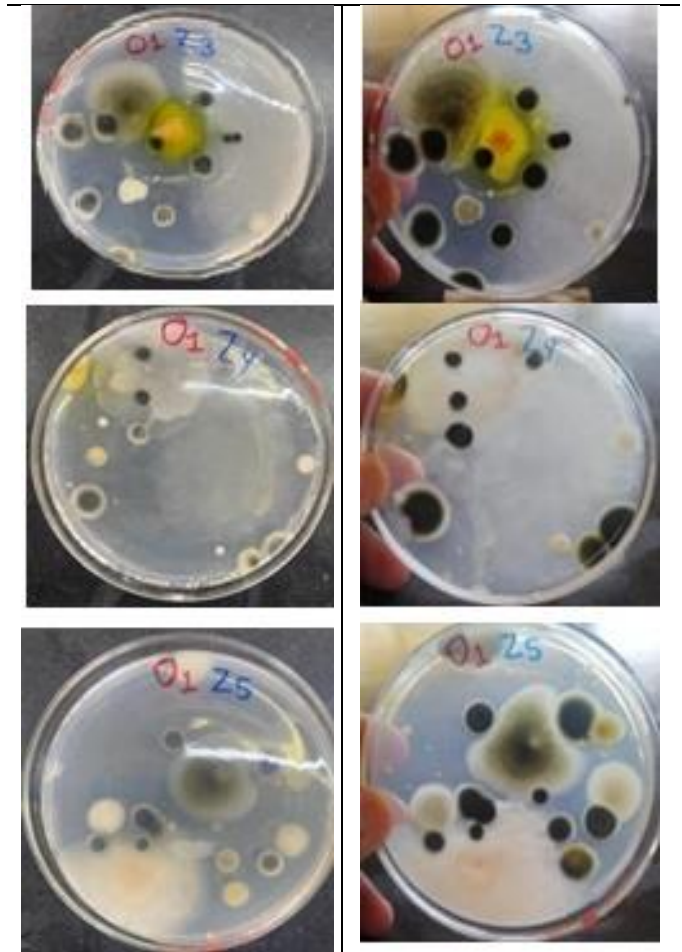




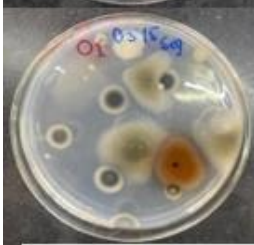



Tabla II Microorganismos en medio de cultivo 02

Antes	3 días después de la desinfección
	
	
	

A continuación, se presentan los resultados observados en las muestras con crecimiento de microorganismos en libertad, sin aplicación de ozono desinfectante, considerados testigos positivos.

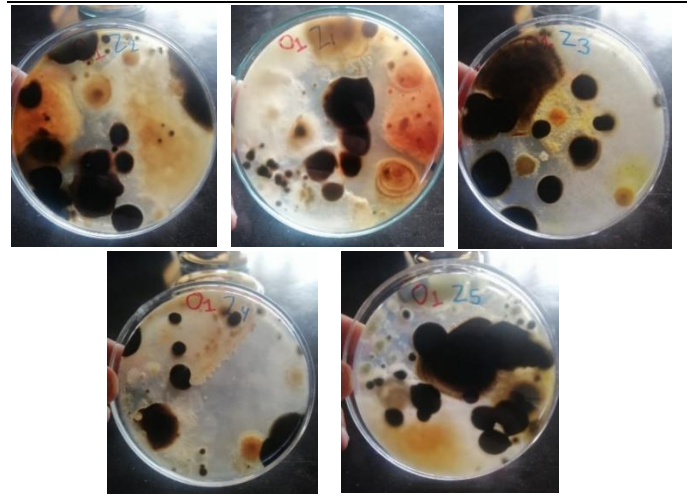
Las imágenes de la tabla III presentan crecimientos típicos donde se permite crecer sin administración de controles o controladores de crecimiento o desinfectantes [9]. Se observa la generación y agrandamiento de todas las colonias de microorganismos presentes en todas las dimensiones. La gran generación de este crecimiento es ocasionada sin aplicar restricciones y en las mismas condiciones generales de realización del experimento, y solo es detenido por los límites del espacio físico de la caja de cristal. Esto no se observó en la aplicación del ozono ya que el crecimiento de las colonias se aprecia y se detecta a una menor velocidad, como se puede observar en las imágenes de las tablas I y II [10].

*Tabla III Microorganismos de referencia a los cuales no se les aplicó la desinfección con  $O_3$*



Los resultados de la tabla IV muestran el crecimiento de microorganismos a los cuales se les aplicó la desinfección de ozono. Estos resultados fueron registrados a los mismos días de tomadas las imágenes de los experimentos testigos positivos, en donde se observó el crecimiento no controlado. En estas imágenes se muestra que, aunque se registra crecimiento con respecto a los 3 días, este no se percibe tan intenso como en las muestras de los testigos positivos sin administración de ozono.

*Tabla IV Crecimiento de microorganismos a los cuales se les aplicó la desinfección de ozono.*



A continuación, se presentan los resultados del segundo método de análisis de desinfección:

*B. Determinación de presencia de microorganismos mesófilos aéreos en 4 tiempos distintos (tomando muestras biológicas de superficie):*

- Antes de realizar la desinfección.
- Durante la desinfección, tomando muestras de superficie a 15min aplicado el desinfectante.
- Después de 1 hora de aplicación del desinfectante.
- Después de 2 horas de aplicación del desinfectante.

Para este segundo procedimiento, se esterilizó el medio de cultivo en los tubos con tapón de baquelita y se mantuvo en estas condiciones hasta la toma de las muestras biológicas de superficie.

Resultados de las diferentes zonas antes de aplicar la desinfección: tiempo T-1

- Z3 registra la mayor presencia de bacterias; siguiendo Z1 Z2, Z4 y Z5 registra el menor crecimiento de colonias.

Resultados durante el tiempo de desinfección: tiempo T0 (muestras tomadas inmediatamente 15 minutos después de aplicada la desinfección).

- Z2 registró mayor cantidad de microorganismos siguiendo Z1, Z3 y Z5, finalmente, Z4 registró menor expresión de bacterias.

Resultados durante el tiempo de desinfección: tiempo T1 (muestras tomadas 1 hr después de la desinfección)

- Z3 y Z4 mayor cantidad de bacterias, siguiendo Z5 y menor Z1 y Z2.

Resultados durante el tiempo de desinfección: tiempo T2 (muestras tomadas a 2 horas después de la desinfección).

- Z1, Z2, Z3 y Z4 presentan carga microbiana abundante y en menor grado la Z5

La tabla V concentra los resultados en diferentes tiempos de desinfección (T0, T1, T2 y T3), identificando las zonas donde hubo mayor presencia hasta las zonas de menor presencia de carga microbiana.

*Tabla V Resultados de desinfección en tiempos T0, T1, T2 y T3*

M.O	Tiempo de desinfección			
	T-1	T0	T1	T2
Mayor Presencia	Z3	Z2	Z3 y Z4	Z1, Z2, Z3 y Z4
Presencia intermedia	Z1, Z2, Z4	Z1, Z3 y Z5	Z5	Z5
Presencia Baja	Z5	Z4	Z1 y Z2	Ninguno

Las tablas VI a la X muestran los resultados del análisis de muestras por zonas específicas.

*Tabla VI Análisis de carga microbiana en Zona 1*

Tiempo	Condición de desinfección	Carga microbiana
T-1	Antes	Abundante
T0	Durante	Baja a mitad
T1	1 hr. después	Mínima
T2	2 hrs. después	Abundante

*Tabla VII Análisis de carga microbiana en Zona 2*

Tiempo	Condición de desinfección	Carga microbiana
T-1	Antes	Abundante
T0	Durante	Abundante
T1	1 hr. después	Mínima
T2	2 hrs. después	Abundante

*Tabla VIII Análisis de carga microbiana en Zona 3*

Tiempo	Condición de desinfección	Carga microbiana
--------	---------------------------	------------------

Tiempo	Condición de desinfección	Carga microbiana
T-1	Antes	Abundante
T0	Durante	Mínima
T1	1 hr. después	Mínima
T2	2 hrs. después	Abundante

*Tabla IX Análisis de carga microbiana en Zona 4*

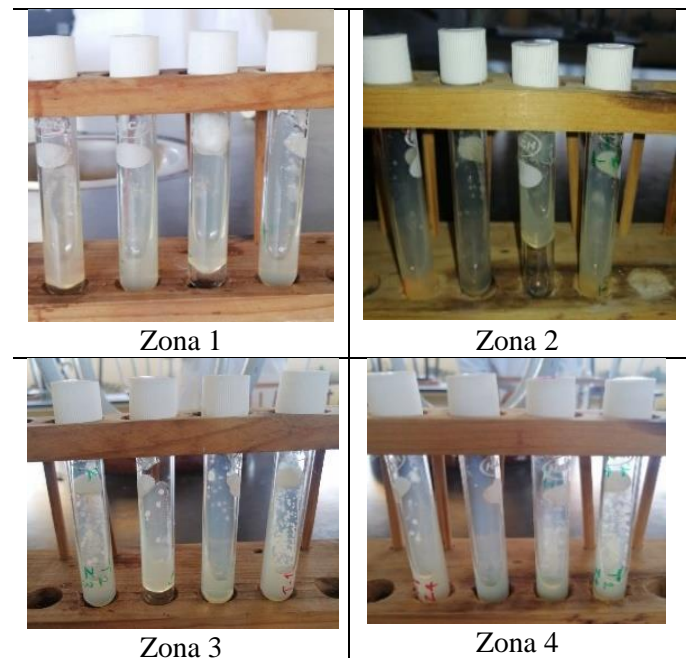
Tiempo	Condición de desinfección	Carga microbiana
T-1	Antes	Media presencia
T0	Durante	Mínima
T1	1 hr. después	Media presencia
T2	2 hrs. después	Abundante

*Tabla X Análisis de carga microbiana en Zona 5*

Tiempo	Condición de desinfección	Carga microbiana
T-1	Antes	Mínima
T0	Durante	Media presencia
T1	1 hr. después	Mínima
T2	2 hrs. después	Media presencia

La tabla XI muestra las muestras los diferentes casos de carga microbiana generados en las zonas 1 a 5.

*Tabla XI Muestras de carga microbiana en las diferentes zonas*





Zona 5

## V. CONCLUSIÓN

En la primer parte del experimento sobre el efecto del  $O_3$  atomizado directamente en el medio ambiente del espacio del recinto donde se realizó, sobre cultivos de bacterias, hongos y levaduras ya generados y con crecimiento efectivo, se percibe que la aplicación de  $O_3$ , si bien no anula a las colonias ya expresadas, si las detiene en su crecimiento en cierto grado, ya que desde el tiempo de desinfección hasta los 3 días, el número de colonias no se intensificó en las cajas Petri, al no observarse la generación de nuevas colonias de microorganismos; además se observó, el frenando o desaceleración del crecimiento de las colonias ya existentes. Si bien el ozono en un gran agente desinfectante oxidante no anula estos tipos de colonias de microorganismos ya expresados y con crecimiento afectivo cuando se aplica en el ambiente de manera área. En las cajas Petri que en las que se aplicó directamente ozono por 5, 10 y 15 minutos, también se observa el fenómeno antes descrito. Y en la comparación siguiente con testigos positivos, se observa en estos el crecimiento no controlado de las colonias formadas ya que estas pruebas no fueron tratadas con  $O_3$ , y en comparación con las que, si se les aplicó  $O_3$ , se detectó una disminución en el crecimiento con respecto a los tratamientos de los testigos positivos.

En la segunda parte del experimento, donde se tomaron muestras de las superficies en cada una de las zonas del recinto: de la 1 a la 5, en los diferentes tiempos: T-1, T0, T1 y T2, se observa que la efectividad desinfectante del  $O_3$  en las condiciones de aspersión dentro del recinto, tiene efectividad general desde los 15 minutos posteriores a que se comienza la desinfección del lugar por este agente oxidante en forma gaseosa hasta la 1 hora posterior a la que se aplicó; pero en general, este poder desinfectante desaparece a las 2 horas después de que se aplicó, lo cual se puede observar claramente en los resultados generados en este experimento. Esto confirma que el  $O_3$  generado por el dispositivo a evaluar, si cumple

con las características de generación y calidad de  $O_3$ , en cuanto a su poder desinfectante y permanencia en el medio ambiente aéreo y superficial, como lo indica la bibliografía y referencias que lo expresan.

## REFERENCIAS

- [1]. Rodríguez, Antonio Villarreal; Laura Martín; Pablo López Learte; Carlos Muñoz; Luis. 2020. «48 horas con un medidor de  $CO_2$ : identificando los puntos calientes». *elconfidencial.com*. Recuperado 22 de noviembre de 2023 ([https://www.elconfidencial.com/tecnologia/ciencia/2020-11-18/covid-19-medidor-co2-48-horas\\_2836300/](https://www.elconfidencial.com/tecnologia/ciencia/2020-11-18/covid-19-medidor-co2-48-horas_2836300/)).
- [2]. Doménech, Javier. 2004. «Ozono frente a cloro». *Offarm* 23(5):120-26.
- [3]. Pérez-Padilla, José Rogelio. 2018. «Muertes respiratorias en México, 2015». *NCT Neumología y Cirugía de Tórax* 77(3):198-202.
- [4]. Marquez-Zepeda, MJ, I. Santos-Ruiz, EJ Pérez-Pérez, y HR Hernández-De León. 2022. «IoT-Based  $CO_2$  Monitoring and Forecasting System to Prevent Transmission of COVID-19». <https://doi.org/10.58571/CNCA.AMCA.2022.009>
- [5]. Romero, Gustavo, Martín Salibe, Daniel Perilli, y Leandro García. 2020. «Cañón de ozono para la destrucción de la carga viral en ambientes públicos». *Innovación y Desarrollo Tecnológico y Social* 2(2):204-24. doi: 10.24215/26838559e022.
- [6]. Hoyos Serrano, Maddelainne, y Lenny N. Gutiérrez Choque. 2014. «Esterilización, desinfección, antisépticos y desinfectantes». *Revista de actualización clínica investiga* 49:2635.
- [7]. Delgado, Diemen, María de los Ángeles Aguilera, Fabián Delgado, Irma Cano, y Óscar Ramírez. 2013. «Calidad de vida en el trabajo y condiciones de trabajo, en auxiliares de esterilización». *Ciencia & trabajo* 15(48):148-51.
- [8]. Vignoli, Rafael. 2006. «Esterilización y desinfección». línea]. Disponible en <http://www.higiene.edu.uy/cefa/Libro2002/Cap2027>.
- [9]. Sáenz-Arias, Sol, Ostin Garcés-Ordóñez, Tania Córdoba-Meza, Lina Blandon, Luisa Espinosa Díaz, Lizbeth Vivas-Aguas, y Miquel Canals. 2023. «Contaminación por vertidos de aguas residuales: Una revisión de las interacciones microorganismos-microplásticos y sus posibles riesgos ambientales en aguas costeras colombianas». *Ecosistemas* 32(1):2489-2489.
- [10]. Coelho, Ana Íris Mendes, Regina Célia Rodrigues Miranda Milagres, Joice de Fátima Laureano Martins, Raquel Monteiro Cordeiro de Azeredo, y

Ângela Maria Campos Santana. 2010. «Contaminação microbiológica de ambientes e de superfícies em restaurantes comerciais». *Ciência & Saúde Coletiva* 15(supl 1):1597-1606. doi: 10.1590/S1413-81232010000700071.

### **Biografía Autores**

Chávez-Bracamontes, R. Profesor de T.C. del TecNM campus Ciudad Guzmán, Jalisco, C.P 49100 email: [ramon.cb@cdguzman.tecnm.mx](mailto:ramon.cb@cdguzman.tecnm.mx), <https://orcid.org/0000-0003-0151-9931>.

Mancilla-Peña, F. Profesor de T.C. del TecNM campus Ciudad Guzmán, Jalisco, C.P 49100 email: [fernando.mp@cdguzman.tecnm.mx](mailto:fernando.mp@cdguzman.tecnm.mx), <https://orcid.org/0009-0002-8249-8748>.

Fajardo-Delgado, D. Profesor de T.C. del TecNM campus Ciudad Guzmán, Jalisco, C.P 49100 email: [daniel.fd@cdguzman.tecnm.mx](mailto:daniel.fd@cdguzman.tecnm.mx), <https://orcid.org/0000-0001-8215-5927>.

Cárdenas-Zanabria, E., Profesor de T.C. del TecNM campus Ciudad Guzmán, Jalisco, C.P 49100 email: [ernesto.cz@cdguzman.tecnm.mx](mailto:ernesto.cz@cdguzman.tecnm.mx), <https://orcid.org/0009-0001-2078-8670>.

Díaz-Antillón, N. A., Profesora de T.C. del TecNM campus Ciudad Guzmán, Jalisco, C.P 49100 email: [norma.da@cdguzman.tecnm.mx](mailto:norma.da@cdguzman.tecnm.mx), <https://orcid.org/0000-0003-0939-6761>.

Mejía-Cárdenas, C. Y., Alumna del posgrado en Ingeniería Electrónica del TecNM campus Ciudad Guzmán, Jalisco, C.P 49100 email: [m22290909@cdguzman.tecnm.mx](mailto:m22290909@cdguzman.tecnm.mx), <https://orcid.org/0000-0002-9967-1909>.