

EVALUACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA DESINFECCIÓN DEL AGUA POR OZONIZACIÓN CON AUTONOMÍA ENERGÉTICA SOLAR: TIEMPOS DE CONTACTO Y CONCENTRACIONES DE OZONO.



Presentado por:

Ing. Esp. LUIS DAVID QUIÑONES MANRIQUE

Director

PhD. JAVIER ERNESTO FERNÁNDEZ MERA

Codirectora

Dra. CLAUDIA PATRICIA ACOSTA ASTAIZA

UNIVERSIDAD DEL CAUCA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA HIDRÁULICA E HIDROLÓGICA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

2025

Contenido

1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1	Pregunta de investigación	4
1.2	Hipótesis	4
1.3	Alcance	4
2.	JUSTIFICACIÓN	4
3.	OBJETIVOS	7
3.1	Objetivo general	7
3.2	Objetivos específicos	7
4.	MARCO TEÓRICO	7
4.1	Ozonización para la desinfección del agua	7
4.2	El ozono y su producción	8
4.3	Solubilidad del ozono y equipos de contacto agua - ozono	9
4.4	Experiencias internacionales de desinfección del agua con ozono	10
4.5	Energía solar para la autonomía energética del prototipo de desinfección	10
4.6	Energía solar fotovoltaica y autonomía energética en Colombia	10
4.7	Normas de la ozonización	12
5.	METODOLOGÍA, SELECCIÓN Y TRATAMIENTO DE LA MUESTRA	12
5.1	Enfoque y tipo de investigación	12
5.2	Diseño experimental	12
5.3	Población y muestra	13
5.4	Instrumentación	13
5.5	Procedimiento de experimentación	14
5.6	Análisis de datos	15
5.7	Consideraciones éticas y de seguridad	15
6.	RESULTADOS ESPERADOS	15
6.1	Descripción del lugar de aplicación	15
6.2	Resumen de resultados esperados	16
7.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	18
8.	PRESUPUESTOS	19
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Aunque hay abundancia del recurso hídrico en Colombia muchos pobladores aún no tienen acceso al agua potable. El cinturón de lluvias tropicales irriga la mayor parte de los Andes colombianos dos veces al año influyendo en diferentes regiones como la del Chocó Biogeográfico, donde el Estudio Nacional del Agua (ENA, 2022) indica una disponibilidad hídrica de 8748 m³/s; paradójicamente, el mismo estudio revela que en Colombia la demanda hídrica multisectorial es de 32.331 millones de m³/año y que aún no se satisface la demanda para el consumo humano (doméstico) cuyo porcentaje es menor al 12,3%.

En Colombia, el Índice de Riesgo para la Calidad del Agua - IRCA, sitúa al departamento del Cauca en un nivel de alto riesgo con algunos de sus acueductos en estado inviable sanitariamente (INCA, 2020); no obstante, los habitantes que no tienen acueducto se abastecen del líquido utilizando sistemas de tratamiento que suelen ser precarios e improvisados, mientras otros usan el agua lluvia y fuentes superficiales sin tratamiento alguno, configurando un riesgo potencial para la salud ya que en muchos casos el agua de consumo no posee las características físicas, químicas o microbiológicas que se demanda para que sea una bebida segura y saludable.

Así mismo, debe tenerse en cuenta que además de la falta de agua potable existen problemas en los sectores energético, salud, educación y transporte en la zona rural del pacífico colombiano (Asprilla et al., 2022), esto quiere decir limitaciones en los servicios esenciales para la permanencia en educación y calidad de vida a nivel nacional, de la misma manera, de las 35.892 sedes educativas rurales reportadas en el Ministerio de Educación Nacional – MEN (2016), la infraestructura educativa tiene una edad promedio de 37 años, de las cuales el 38% no tiene red de gas, el 70% no cuenta con alcantarillado, el 40% no tiene acueducto, el 36% no cumple con la relación de baterías sanitarias por estudiante, el 27% se inunda y el 13% no tiene energía, mientras que el 66% del total de la población se encuentra en Zonas No Interconectadas - ZNI.

Finalmente, entidades gubernamentales como el INCA (2022) advierte del potencial riesgo sanitario en la mayor parte de las zonas rurales del país ya que requieren del abastecimiento de agua con cantidad, calidad y permanencia. Por ende, es preciso reiterar el nivel de urgencia e importancia del desarrollo y aplicación de alternativas tecnológicas para potabilizar el agua considerando las limitaciones del contexto rural en Colombia. En consecuencia, surge lo siguiente:

1.1 Pregunta de investigación

¿Qué tiempos de contacto y concentraciones de ozono en agua se requieren para garantizar la desinfección realizada por un prototipo que utiliza energía solar fotovoltaica para generar de forma autónoma el ozono *in situ*?

1.2 Hipótesis

El agua contaminada con agentes microbiológicos como el (*Enterococcus spp.*), puede ser tratada con un prototipo que aprovecha la energía solar fotovoltaica para la producción de ozono *in situ* y la mezcla hidráulica, determinando tiempos de concentración sostenidos.

1.3 Alcance

El alcance del proyecto de investigación es de tipo experimental - correlacional ya que busca establecer los tiempos contacto y concentración que garantizan la desinfección del agua contaminada con un agente microbiológico a partir de un prototipo de ozonización que funciona con autonomía energética solar para caudales entre 0.1 a 1 m³ por día.

2. JUSTIFICACIÓN

La desinfección de agua en sistemas de pequeños caudales, como unidades domésticas, comunidades rurales o instalaciones descentralizadas, ha ganado creciente atención debido a la necesidad de tecnologías eficientes, seguras y sostenibles para garantizar el acceso a agua potable de calidad. En este contexto, la ozonización ha emergido como una tecnología avanzada de oxidación altamente efectiva, capaz de inactivar una amplia gama de patógenos, incluyendo bacterias, virus, protozoos y esporas, sin generar significativos subproductos de desinfección halogenados asociados a efectos adversos en la salud humana (WHO, 2023).

Dado que en la zona rural colombiana el abastecimiento de agua potable es muy limitado y sumado a la imposibilidad de implementar rápidamente sistemas de tratamientos colectivos, es necesario pensar una solución individual para puntos de interés sanitario como centros educativos y de salud, en los cuales se busca disminuir la propagación de enfermedades y la mortalidad infantil, cuya incidencia principal se relaciona con la proliferación de bacterias, virus, quistes y protozoos que se combaten principalmente con cloro, a pesar que numerosos estudios colocan el ozono con mejores resultados de desinfección ante estos patógenos (Bataller, 2022).

La mayor parte de los puntos de interés sanitario están ubicados en lugares de difícil acceso, donde las redes eléctricas se encuentran pobremente establecidas y hay cortes frecuentes en el suministro eléctrico, además, existen riesgos ante la manipulación y el transporte de cloro o ante su obtención electroquímica. En contraste; la desinfección del agua por medio de ozono requiere de una infraestructura comparativamente de menor tamaño, de fácil instalación e ideal para soluciones unitarias o aplicaciones que requieren alternativas de desinfección específicas, como en pequeñas escuelas, centros de salud, o centros de reunión comunitaria ubicados en lugares apartados que aún no tienen acceso al agua potable como en muchas veredas del país; en este sentido, Bataller (2022) recomienda la introducción de la ozonización del agua de consumo por sus excelentes resultados en comparación al cloro.

Por ende, se propone evaluar una alternativa tecnológica de purificación del agua con ozono generado in situ utilizando energía fotovoltaica para su funcionamiento autónomo en el punto de uso, a bajo costo, de fácil transporte e instalación y que aporte al Grupo de Investigaciones Ambientales - GIA y al Grupo de Investigación en Genética Humana Aplicada – GIGHA en el tema relacionado a la desinfección del agua de consumo humano articulado a la producción del reactivo en el punto de uso utilizando energía solar fotovoltaica como una alternativa tecnológica en puntos de interés sanitario.

La presente propuesta pretende evaluar un prototipo cuyo funcionamiento consiste en desinfectar un volumen de agua mediante la ozonización del mismo por mezcla hidráulica agua-ozono que es realizada utilizando un dispositivo Venturi activado por el bombeo de

agua sostenido, alimentado a su vez, por un sistema fotovoltaico que supla la demanda energética requerida en el proceso y de algunos elementos de electrónica consistente en sistemas embebidos utilizados para el censado y la generación de alertas. A continuación, se resumen los componentes principales del prototipo para realizar la mezcla hidráulica:

Elemento	Especificaciones	Capacidad	Función
Ozonizador	100w 110 V	180 m ³ /h 60 gr/h	Generar el ozono in situ a partir del oxígeno presente en el aire
Bomba de agua	1/2 HP 3.5 A/110 V	Hmáx 40m Q 40L/min	Bompear el agua para activar el tubo de Venturi
Tubo de Venturi	Diámetro 3/4"	30 L/min	Realizar la mezcla hidráulica para la transferencia del aire proveniente desde el generador de ozono
Tanque de mezcla	Cierre hermético	120-200L	Tanque plástico para realizar la mezcla hidráulica
Panel solar X2	180w	21,6 Voc 11,62 Isc	Generar potencia fotovoltaica
Controlador	300w input	12V 35A	Controlar la carga proveniente de los paneles y fluye hacia la batería o la carga de consumo
Inversor	1 kw output	12V	Convierte la potencia eléctrica DC a AC
Batería	240 Ah	Ah	Almacenar la carga eléctrica

Tabla 1. Componentes principales para el proceso de ozonización y energía fotovoltaica.



Imagen 1. Prototipo modelo, tanque azul de reserva de agua, dispositivo de Venturi y sistema fotovoltaico que alimenta energéticamente al reactor de ozono y el sistema de bombeo.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar un prototipo para la desinfección de agua mediante ozonización *in situ* con autonomía energética solar, determinando los tiempos de contacto y de generación de concentraciones de ozono disuelto necesarios para lograr la reducción efectiva de *Enterococcus* spp. en condiciones controladas.

3.2 Objetivos específicos

- Determinar las curvas de concentración de ozono disuelto en agua en función del tiempo y bajo condiciones de operación con energía solar.
- Evaluar la eficiencia de reducción de *Enterococcus* spp. en función del tiempo de contacto y la concentración del ozono disuelto en agua.
- Caracterizar y ajustar las variables físicas operativas del prototipo para identificar los parámetros óptimos de operación que maximicen la eficiencia de desinfección.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Ozonización para la desinfección del agua

El ozono se ha utilizado desde 1919 en la desinfección del agua potable, es un fuerte biocida capaz de desactivar microorganismos patógenos resistentes al cloro y al dióxido de cloro, actualmente, se utilizan con más frecuencia las tecnologías basadas en el ozono para la desinfección del agua y su buena calidad. Este es capaz de inactivar una amplia variedad de patógenos, por ejemplo: bacterias, esporas, protozoos, virus y proteínas priónicas. Igualmente, el O_3 es altamente competente en comparación con el cloro en relación con la desinfección, ya que comprende tiempos de reacción más pequeños sin rebrote microbiano. Bajo este aspecto el O_3 residual se descompone rápidamente en O_2 sin ningún problema ya que los virus y las bacterias son más vulnerables a la oxidación con O_3 en comparación con

los protozoos siendo necesaria una menor cantidad de ozono para eliminar virus y bacterias tales como (*E. coli*), virus (Adenovirus, Coxsackievirus y Echovirus) y protozoos (*C. parvum*, *G. muris* y *G. lamblia*) que pueden eliminarse mediante la tecnología de tratamiento con O_3 , Gomes et al. (2019).

4.2 El ozono y su producción

El ozono es un gas formado por tres átomos de oxígeno enlazados entre sí, (Rodríguez, 2008) define el ozono como un gas de color azulado que presenta un punto de ebullición de 161,3K y un punto de fusión de 80,7 K en condiciones normales de laboratorio; también se ha establecido a partir de técnicas de espectroscopía que molecularmente existe una distancia O – O de 127,2 pm y un ángulo O–O–O de 116,78°, mientras que su configuración se representa mediante la teoría de resonancia con dos estructuras principales de igual ponderación más una cíclica como se muestra en la figura 1.

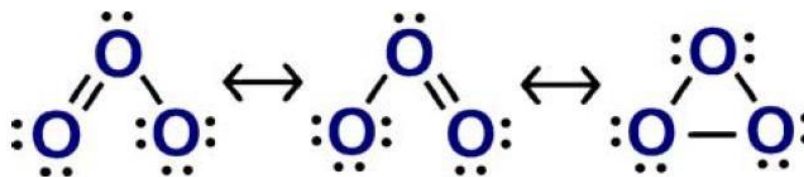


Imagen 2. Estructuras de resonancia para la molécula de ozono Rodríguez et al. (2008).

Por otra parte, el ozono se produce de forma natural por dos fenómenos principales, el primero: mayoritariamente se debe a la exposición del oxígeno atmosférico ante la radiación electromagnética con longitudes de onda menores a los 240 nm, ya que esta luz ultravioleta disocia las moléculas de O_2 en oxígeno atómico O el cual se combina rápidamente con otras moléculas de O_2 generando O_3 lo que se conoce como el mecanismo de Chapman IDEAM (2024); el segundo es producido a través de las descargas eléctricas con mecanismos similares de disociación de moléculas de O_2 al ponerse en conducción eléctrica, en presencia de vapor de agua y nitrógeno, en donde también se generan de forma secundaria hidroxilo OH e hidroperoxilo HO_2 a partir de la combinación con el agua así como monóxidos de nitrógeno NO, resultando una menor contribución cercana a la capa de ozono cercana al 10%.

De otra forma, la producción de O_3 en condiciones de laboratorio, existen varias formas para generar el ozono tales como la descarga de corona eléctrica, la exposición a rayos UV y la hidrólisis, entre otros. En general, bajo condiciones normales de presión y temperatura se estima que la energía necesaria puede estar alrededor de 286 kilojulios por mol para producir ozono a partir de un gas con presencia de moléculas de oxígeno (Tripathi & Hussain, 2021).

4.3 Solubilidad del ozono y equipos de contacto agua - ozono

La tasa y grado de oxidación o mineralización de los contaminantes presentes en el agua depende directamente de la concentración de ozono disuelto, por ello, dicha concentración es un parámetro imprescindible en el diseño de dispositivos para el tratamiento o la desinfección del agua.

El balance de masa del ozono para un elemento de volumen de fase acuosa durante un tratamiento de ozonización isotérmica (o en condiciones normales donde el proceso es controlado por un caudal de paso químico de ozono y su determinada solubilidad en agua, garantizando la transferencia volumétrica), consiste en medir y observar la descomposición del ozono debida a las reacciones entre el ozono, el agua y el compuesto disuelto en ella.

Para mejorar la eficiencia del proceso de solubilidad del ozono en el agua existen varios métodos consistentes en favorecer la mezcla hidráulica, entre ellos está la utilización de depuradores Venturi, reactores de chorro, columnas de platos, mangueras o piedras difusoras, entre otros. Aunque el fenómeno de la transferencia de ozono en el agua se ha vuelto más conocido, debe admitirse que en la mayoría de los casos la elección de un sistema de contacto en particular se basa mucho más en el hábito que en el resultado de un análisis del proceso de quimio sorción.

Por último, cabe señalar que las reacciones rápidas e instantáneas están limitadas por la transferencia de masa de ozono desde la fase gaseosa en la capa límite líquida, por ende, la mayor parte de las reacciones de ozonización ocurren en la interfase o en la delgada capa límite líquida lo que implica que la concentración de ozono disuelto es cero o cercana a cero. Las investigaciones experimentales de acuerdo con la literatura muestran por ejemplo que una construcción eficaz es el reactor de burbujas de flujo descendente, seccionado por placas

de tamiz de área libre relativamente grande $S = 60\% - 70\%$, donde la principal ventaja de este tipo de reactor se debe a los altos valores de las áreas interfaciales específicas entre el gas y el líquido, cuyo sistema está sometido a valores bajos y moderados de disipación de energía Munter et al. (1993).

4.4 Experiencias internacionales de desinfección del agua con ozono

En la revisión bibliográfica se han encontrado múltiples experiencias relacionadas con la implementación de prototipos de potabilización del agua en África, Europa, Norteamérica y Sudamérica aprovechando que la radiación proveniente del sol puede ayudar a desinfectar el agua, principalmente por su contenido de radiación ultravioleta, cuyo rango es de mayor energía dentro del espectro electromagnético (Gomes et al., 2019).

Por otra parte, algunos otros desarrollos han llevado al aprovechamiento del mismo rango del espectro utilizándolo en la producción de energía fotovoltaica por medio de ensayos que utilizan dicha energía de forma indirecta para desinfectar el agua con un tratamiento de ozonización, representando una alternativa para lugares apartados que carecen de red eléctrica como para la desinfección del agua en dichos lugares en los que se han construido algunos prototipos con buenos resultados (Osmero et al., 2021).

4.5 Energía solar para la autonomía energética del prototipo de desinfección

La energía es fundamental para las actividades antrópicas, su demanda es mayor cada día, pero la producción de esta se acorta debido a las limitaciones que los recursos naturales imponen con consecuencias en los ámbitos económico y social, como por ejemplo en el tratamiento del agua con la instalación de pequeñas plantas potabilizadoras utilizando energía eléctrica procedente de una fuente fotovoltaica utilizando tecnologías con bajas emisiones de CO_2 como es el caso de Polonia donde se encuentran sistemas de potabilización de agua con base en ozono impulsada con energía solar (Pawlat & Stryczewska, 2011).

4.6 Energía solar fotovoltaica y autonomía energética en Colombia

Colombia es un país con excelente potencial solar fotovoltaico principalmente en la región Caribe manteniendo buenos niveles de radiación a medida que se descende en las latitudes hacia el Amazonas donde la potencia media de la misma descende, aun así, es importante

resaltar que se encuentra ubicada en la zona ecuatorial con una radiación promedio más estable durante todo el año.

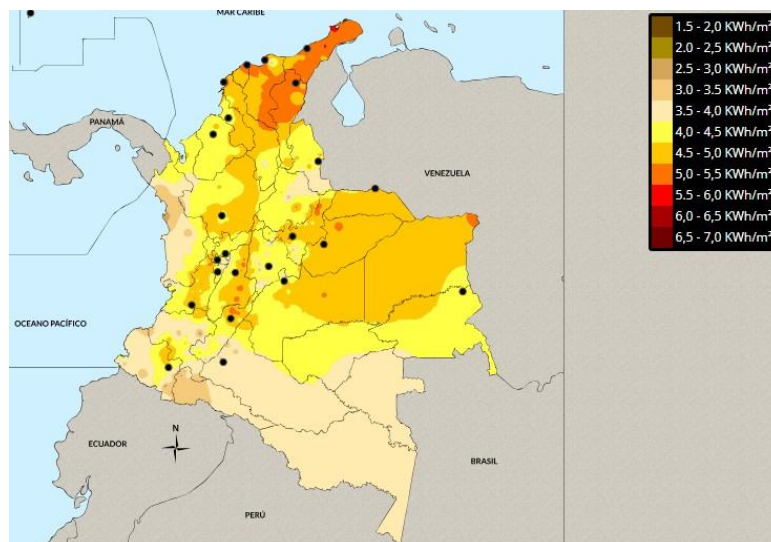


Imagen 3. Mapa del sobre el potencial solar en Colombia IDEAM (2024).

En los diferentes modelos encontrados se observa una mayor tendencia a la utilización de la energía solar fotovoltaica debido al efecto del sol, los vientos y las corrientes de agua que también son fuentes importantes de energía. Bajo este aspecto la riqueza hídrica refleja un panorama favorable en la mayor parte del territorio debido a su posición geográfica y sus características morfológicas resaltando principalmente la cordillera de los Andes que aunado al cinturón de lluvias generan precipitaciones que dibujan múltiples cuencas, ríos y riachuelos cuyo potencial hídrico energético no es despreciable.

El paradigma hidráulico tiene que llevar a las regiones a cambiar su forma de gestión del líquido pues los sistemas abastecedores centralizados han dejado a miles de millones de personas en todo el mundo sin acceso al agua potable. El agua y la energía son fundamentales para el desarrollo del país y son potencialmente aprovechables por medio de diferentes alternativas que pueden implementarse en la transformación de la energía requerida para la purificación del agua mediante proyectos híbridos como solar - eólico, hidráulico - solar, hidráulico - eólico ofreciendo mayores garantías aún.

4.7 Normas de la ozonización

Debido a la volatilidad, toxicidad y el más alto poder de oxidación del O_3 , a nivel mundial existen diferentes normativas proferidas por la Organización Mundial de la Salud, o el Parlamento Europeo que se adoptan por primera vez en 1998 por el Gobierno de España, a fin de regular el uso de sustancias tóxicas mediante normas y reglamentos para que el uso de estas sustancias resultara lo menos nocivo posible tanto para la salud, como para el medio ambiente. En estas se mencionan pruebas de eficacia del ozono, valoración y evaluación del gas, así como la presentación de informes y documentos acerca de aplicaciones del ozono en distintos ámbitos. En Colombia es la resolución 330 de 2017 por la cual se adopta la RAS en su título k (2019) y que reglamenta el uso del ozono, sin embargo, aunque no establece concentraciones específicas de ozono se indica que concentraciones entre 0.5 a 0.8 mg/l durante 3 a 4 minutos son suficientes para desinfectar agua.

5. METODOLOGÍA, SELECCIÓN Y TRATAMIENTO DE LA MUESTRA

5.1 Enfoque y tipo de investigación

Esta investigación es de tipo experimental, cuantitativa y aplicada, con un diseño correlacional-causal que permite establecer relaciones causa-efecto entre las variables operativas del prototipo (tiempo de exposición, concentración de ozono, caudal, radiación solar) y la reducción de la carga microbiológica (*Enterococcus* spp.).

El enfoque experimental permite manipular condiciones controladas para evaluar el desempeño del prototipo en la desinfección de agua, con el fin de proponer parámetros óptimos de operación.

5.2 Diseño experimental

Se utilizará un diseño completamente aleatorizado (DCA) con mediciones repetidas, en el que se evaluarán diferentes tiempos de exposición al ozono como tratamiento principal. Cada tratamiento se replicará seis veces para garantizar robustez estadística.

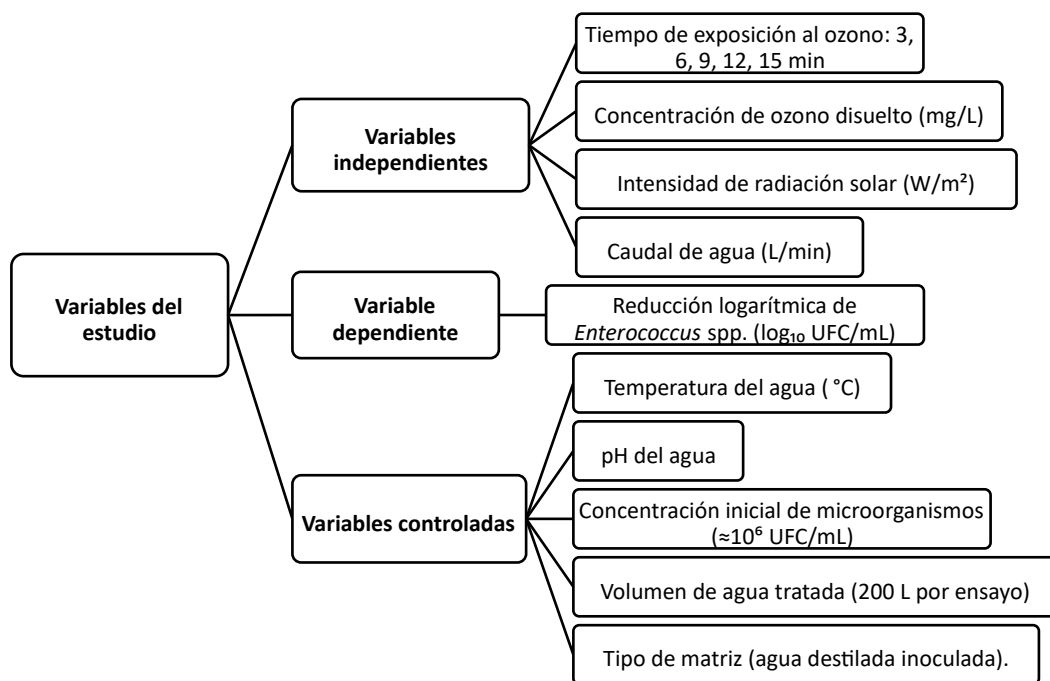


Diagrama 1. Descripción de las variables de estudio de la propuesta.

5.3 Población y muestra

La unidad de análisis son muestras de agua sintéticamente contaminadas con una cepa estandarizada de *Enterococcus faecalis* utilizada como indicador microbiológico de contaminación fecal.

Se prepararán 30 muestras distribuidas en 5 tratamientos (tiempos de exposición: 3, 6, 9, 12 y 15 minutos), con 6 réplicas por tratamiento. Todas las muestras se procesarán en condiciones de laboratorio controladas (temperatura, pH, luz, etc.) para asegurar la reproducibilidad.

5.4 Instrumentación

El sistema experimental estará compuesto por los siguientes instrumentos de medición:

- Ozono disuelto: Kit de Reactivo para ozono (rango 0–2 mg/L, precisión ± 0.02 mg/L $\pm 3\%$)

- Radiación solar: Estaciones meteorológicas cercanas (rango 0–2000 W/m²)
- Caudal de agua: Ozonización por tandas de 120 L (medida indirecta por tiempo de tanda)
- Voltaje y corriente: Multímetro digital de alta precisión
- Temperatura y pH: Sensor multiparamétrico (calibrado diariamente)
- Microbiología: Material estéril para siembra (metodología sujeta a protocolos GIGHA)

5.5 Procedimiento de experimentación

El experimento se desarrollará de acuerdo con las siguientes fases según los objetivos planteados:

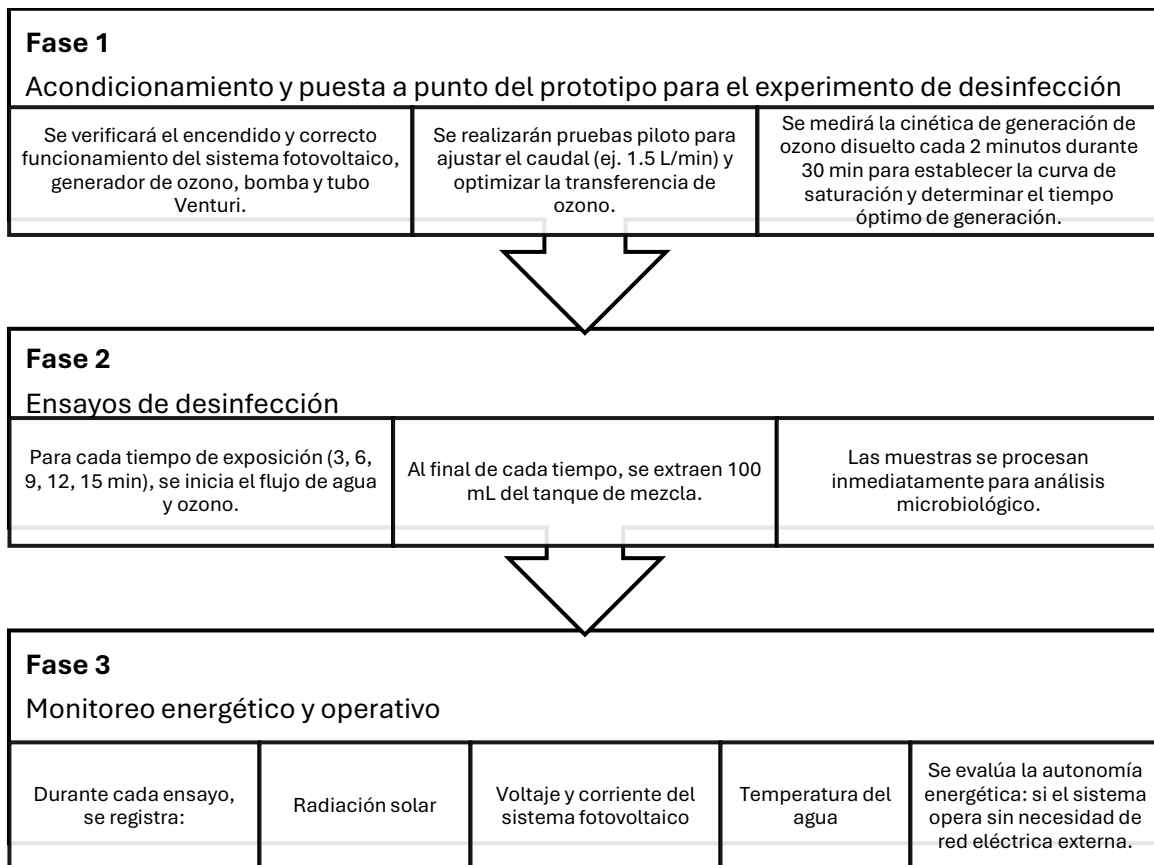


Diagrama 2. Fases del procedimiento de experimentación y verificación del funcionamiento del prototipo

5.6 Análisis de datos

Los datos se procesarán y analizarán con las siguientes herramientas:

Estadística descriptiva:	
Medias, desviaciones estándar, errores estándar para cada variable.	
Curvas de cinética de desinfección:	
Gráficos de reducción logarítmica vs. tiempo y vs. concentración de ozono.	
Regresión no lineal:	
Modelos de Chick-Watson o primer orden para ajustar la cinética de inactivación microbiana.	
ANOVA de un factor:	
Para comparar diferencias significativas en la reducción microbiana entre tiempos de exposición (nivel de significancia: $p < 0.05$).	
Correlación de Pearson/Spearman:	
Para analizar la relación entre concentración de ozono, tiempo y reducción microbiana.	
Software:	
R Studio (recomendado), OriginLab o Excel (para gráficos y análisis básicos).	

Tabla 2. Resumen de las herramientas de análisis de los datos de la propuesta.

5.7 Consideraciones éticas y de seguridad

Dado que se trabaja con un agente microbiológico patógeno, se seguirán protocolos de bioseguridad de nivel 2 (BSL-2), incluyendo uso de EPP (guantes, bata, mascarilla), trabajo en cabina de flujo laminar y desinfección de residuos mediante autoclave. Además, por el manejo de ozono gaseoso —altamente oxidante y tóxico en altas concentraciones—, el prototipo operará en un área ventilada y con sensores de detección de fugas, cumpliendo con las recomendaciones de la OMS y la normativa nacional (Resolución 330 de 2017 – RAS Título K).

6. RESULTADOS ESPERADOS

6.1 Descripción del lugar de aplicación

La validación técnica del prototipo se llevará a cabo en el laboratorio de hidráulica de la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca, bajo condiciones controladas que

permitan caracterizar con precisión la eficiencia del sistema en términos de generación de ozono *in situ*, transferencia hidráulica mediante dispositivo Venturi y reducción microbiológica. Este entorno proporciona las condiciones ideales para el monitoreo riguroso de variables operativas como concentración de ozono disuelto, tiempos de contacto, caudal y carga microbiana, garantizando la validez científica y técnica de los resultados obtenidos.

Una vez validado su desempeño, el prototipo tiene potencial para ser adaptado y escalado a contextos rurales y de difícil acceso, como unidades productivas agrícolas, centros educativos o de salud en zonas no interconectadas (ZNI), donde el acceso a agua potable y energía estable es limitado, así como en territorios PDET con altos índices de pobreza y vulnerabilidad.

6.2 Resumen de resultados esperados

Dentro de los resultados de la investigación se tienen los supuestos que se describen en la siguiente tabla.

<i>Resultado</i>	<i>Beneficiario</i>	<i>Meta</i>	<i>Indicador</i>	
Estado del arte	Investigador	Un estudio de análisis	Matriz de resultados de la búsqueda sistemática de referencias	—
	Comunidad académica		Resumen de la clasificación de resultados con la mayor relevancia	—
Socialización del estudio de investigación en congresos o seminarios	Investigador	Una ponencia	Evaluar el prototipo funcional en estado de desarrollo TRL6 para la realización de pruebas de difusión de O2 y O3 en H2O, usando ozono producido in situ con energía solar	—
	Universidad del Cauca			—
	Comunidad académica		Obtener curvas de O2 y O3 en H2O versus la acción de infección y desinfección (Acoplar metodología GHIGA)	—
Tesis de Maestría en Ingeniería Hidráulica e Hidrológica	Investigador	Un artículo sometido a revista científica	Obtener curvas de las comparativas	—
	Comunidad académica		(microbiológicos vs ozonización solar)	—
	Universidad del Cauca			—
Publicación de tesis de maestría	Puntos de uso de agua potable que requieran una alternativa de desinfección de agua como la presente	Una tesis de maestría aprobada	Elaborar el informe final.	—

Tabla 3. Resultados esperados de acuerdo con cada actividad, meta y beneficiario por indicador.

7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividad	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Revisión bibliográfica y ajuste del marco teórico						
Revisión y acondicionamiento del prototipo						
Pruebas piloto y ajuste de variables operativas (caudal, voltaje, transferencia de ozono)						
Ejecución de ensayos de ozonización (medición de [O ₃] y tiempos)						
Preparación de muestras con microorganismos						
Análisis microbiológico de muestras (UFC/mL)						
Monitoreo del sistema fotovoltaico y autonomía energética						
Procesamiento y análisis estadístico de datos						
Redacción del informe final y conclusiones						
Presentación del proyecto (si aplica)						

Tabla 4. Resultados esperados de acuerdo con cada actividad, meta y beneficiario por indicador.

8. PRESUPUESTOS

PERSONAL

Investigador	Formación académica	Función dentro del proyecto	Total, por seis meses
Asesor	PhD.	Director interno (8hr/mes)	\$3.360.000
Asesora	Dra.	Director interno (8hr/mes)	\$3.360.000
Investigador GEA	Aspirante a Magister	Investigador (80hr/mes)	\$7.200.000

MATERIALES

Ítem	Justificación	Valor total
Computador	Análisis y procesamiento de datos	\$3.500.000
Ozonizador	Sistema de producción de ozono	\$450.00
Energizador	Sistema fotovoltaico	\$500.00
Difusor	Sistema de bombeo y difusión del ozono	\$600.00
Medición	Sistema de medición de ozono	\$650.00
Evaluación	Métodos de incubación, inoculación y desinfección	\$1.500.000
SUBTOTAL PRESUPUESTO		\$10.560.000
IMPREVISTOS 10%		\$1.056.000
TOTAL, PRESUPUESTO		\$11.616.000

Tabla 5 y 6. Presupuesto para el desarrollo del proyecto, Personal y Materiales y fuentes de financiación.

FUENTES DE FINANCIACIÓN

CONCEPTO	PROPIOS	UNICAUCA
Servicios Profesionales y Asesorías		
Asesoría del director		\$3.696.000
Asesoría externa	\$7.920.000	
Materiales equipo y transporte	\$7.920.000	
TOTALES	\$15.840.000	\$3.696.000

***Tabla 7.** Presupuesto para el desarrollo del proyecto, Fuentes de financiación.*

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Asprilla-Córdoba, K. L., & Montenegro-Martínez, G. (2022). Desigualdades sociales en salud: análisis de la región pacífica colombiana. *Salud UIS*, *54*(1), e22048. <https://doi.org/10.18273/saluduis.54.e:22048>
- Amador, A., Bataller, M., Fernández, L. A., Méndez, I., Fernández, I., & Ramos, C. (2010). Desinfección de agua con ozono en círculos infantiles en La Lisa, Ciudad de La Habana. Gestión del Proyecto y valoración crítica. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 41, 1-11.
- Gomes, J., Matos, A., Gmurek, M., Quinta-Ferreira, R. M., & Martins, R. C. (2019). Ozone and photocatalytic processes for pathogens removal from water: A review. *Catalysts*, *9*(1), 46. <https://doi.org/10.3390/catal9010046>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2024). Formación y destrucción del ozono estratosférico. Química de la atmósfera. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/formacion-y-destruccion-del-ozono-estratosferico>
- Marulanda, Hanela, Gómez, & Candal. (2016). Experiencias en la cuantificación de ozono disuelto en agua mediante colorimetría con índigo.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio [MVCT]. (2019). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico Título K.
- Munter, Preis, Kamenev, & Siirde. (1993). Methodology of ozone introduction. *Ozone Science and Engineering*.
- Natasha Avendaño García, Milton Eduardo Bayona, Víctor Hugo Arenas Garzón, Karen Amanda Bustos Pineda, Dirceu Enrique Vargas Pedroza, Melani Ailyn Cáceres Pirajan, Luis Alberto Esguerra Amaya, & Marlon Jaramillo Zapata. (2020). Informe nacional de calidad del agua para consumo humano. <https://www.minvivienda.gov.co/calidad-del-agua-para-consumo-humano/informe-nacional-de-calidad-del-agua-para-consumo-humano-inca-2020>
- Osejo Villamil, I., Sabogal, A., Cobillos, F., & Supelano, D. (2016). Los retos en cierre de brechas para los nuevos mandatarios: Región Pacífico. Departamento Nacional de Planeación. <https://www.dnp.gov.co>
- Osmero, I., Girón Escobar, F., Alberto, M., Peña, C., Mabel Del Pilar, D. C., Torres, E., Arabel, M., & Iglesias, M. (2021). Sistema para potabilizar agua, alimentado por energía solar fotovoltaica y del sistema electroenergético nacional. *Revista de Ingeniería y Desarrollo*, *8*(3).
- Pawlat, J., & Stryczewska, H. D. (2011). Solar energy for water conditioning. *International Journal of Environmental and Ecological Engineering*, *5*(9), 443-446.
- Profesional Ingeniería Mecánica Y Eléctrica, C. de, el Aeropuerto De Jaén, U. E., Eduard Denis Espinoza Campos Asesor, B., & Paulo Jaime Martínez Castillo, I. (2021). Universidad

Nacional de Jaén "Diseño y construcción de un prototipo automatizado para desinfectar agua superficial usando ozono y radiación ingeniero mecánico electricista. <http://www.unj.edu.pe>

Rodríguez, A., Rosal, R., Perdígón-Melón, J. A., Mezcuá, M., Agüera, A., Hernando, M. D., Letón, P., Fernández-Alba, A. R., & García-Calvo, E. (2008). Ozone-based technologies in water and wastewater treatment. In D. Barceló & A. Kostianoy (Eds.), *Handbook of Environmental Chemistry, Volume 5: Water Pollution* (pp. 127–175). Springer. https://doi.org/10.1007/698_5_103

Tripathi, S., & Hussain, T. (2021). Water and wastewater treatment through ozone-based technologies. In S. P. Devipriya & M. P. Shah (Eds.), *Development in Wastewater Treatment Research and Processes: Removal of Emerging Contaminants from Wastewater through Bio-nanotechnology* (pp. 139–172). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85583-9.00015-6>

Velásquez-Restrepo, M., & Poveda, G. (2019, marzo). Estimation of the water balance of the Colombian Pacific region. *Proceedings of the 10th World Climate Research Programme International Conference on Regional Climate*, 300–306. <https://www.wcrp-climate.org/>

Venta, M. B., Lorenzo, V., Asela, L., García, F., Castro, C. H., Torres, F., Alvarez Alvarez, C., & Urrutia, E. S. (2005). Determinación de parámetros de diseño y desinfección con ozono de un efluente municipal. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, *36*, 1-10.