

Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica



TESIS

**OBTENCIÓN DE AGUA OZONIZADA A NIVEL PILOTO
EN LA FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA Y
METALÚRGICA**

**Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Metalúrgico**

Presentado por:

Salvador Estupiñan, José Giovanni

Asesor:

Mg. Jaime Imán Mendoza

CIP. Nro. 108833

Huacho – 2021

Título de la tesis

**OBTENCIÓN DE AGUA OZONIZADA A NIVEL PILOTO
EN LA FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA Y
METALÚRGICA**

Mg. Jaime Imán Mendoza

Asesor

Miembros del jurado

Dr. SALCEDO MEZA MÁXIMO TOMAS

Presidente

Dr. SÁNCHEZ GUZMÁN ALBERTO IRHAAM

Secretario

M(o) VICTOR RAÚL COCA RAMIREZ

Vocal

DEDICATORIA

Dedicado a Dios por la vida y por las oportunidades de seguir adelante, a mi madre y padre, por su ejemplo de responsabilidad y respeto, por su apoyo incondicional y las ganas de lograr el éxito.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiarme y acompañarme siempre, a mi familia por ser el ejemplo y motivo de seguir adelante y poder vencer cualquier obstáculo de la vida.

INDICE

DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
RESUMEN	11
ABSTRACT.....	13
INTRODUCCIÓN	15
CAPÍTULO I	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	16
1.2. Formulación del problema	18
1.2.1. Problema general.	18
1.2.2. Problemas específicos.....	18
1.3. Objetivos de la Investigación.....	19
1.3.1. Objetivo general.....	19
1.3.2. Objetivo específico.	19
1.4. Justificación de la Investigación	19
1.4.1. Justificación Ambiental.	20
1.5. Delimitación del Estudio.....	21
1.5.1. Espacial.	21
1.5.2. Temporal.	21

1.5.3. Delimitación del método o técnica.	21
1.6. Viabilidad del Estudio.....	21
CAPÍTULO II.....	22
2. MARCO TEORICO.....	22
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	22
2.1.1. Investigación Internacional.	22
2.1.2. Antecedentes Nacionales.	26
2.2. Bases Teóricas	28
2.2.1. Potabilización del agua natural en Huacho	28
2.2.2. Qué es la potabilización.	30
2.2.3. Evaluación física, química y microbiológica del agua de consumo humano.	30
2.2.4. El Ozono.	32
2.2.5. Mecanismo de reacción del ozono O ₃ con el agua.	35
2.2.6. Proceso de higienización de conductos.....	37
2.2.7. Espectro de acción del ozono O ₃	39
2.2.8. Los daños producidos sobre los microorganismos no se limitan a la oxidación	39
2.3. Definiciones conceptuales	40
2.3.1. El Ozono como biocida segura.	45
2.3.2. Ventajas y utilidades.	46
2.3.3. Desventajas de la ozonización.	48

2.3.4. El ozono como desinfectante frente al coronavirus SARS-CoV-2.....	50
2.3.5. Desinfección con ozono de indumentarias hospitalarias contaminadas.	50
2.3.6. Normas para desinfección.....	51
2.3.7. Descripción de la solución propuesta.	52
2.3.8. Ventajas y desventajas de la cloración frente a la ozonización.	52
2.4. Hipótesis de la investigación.	56
2.4.1. Hipótesis general.....	56
2.4.2. Hipótesis específica.	56
CAPITULO III.....	57
3. METODOLOGÍA.....	57
3.1. Diseño metodológico.	57
3.1.1. Localización y selección de instrumentos.....	57
3.1.2. Tipo de Investigación.....	57
3.1.3. Nivel de Investigación.	58
3.1.4. Diseño de la Investigación a nivel Piloto.....	58
3.2. Población y Muestra	60
3.2.1. Población de la Investigación.	60
3.2.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	60
3.2.3. Descripción de los Instrumentos.....	60
3.3. Operacionalización de Variables e Indicadores.....	61

3.4. Técnicas para el Procesamiento de la Información.....	61
CAPÍTULO IV.....	62
4. RESULTADOS.....	62
4.1. Análisis de los resultados.....	62
4.1.1. Análisis de Dureza.....	63
4.1.2. Análisis del pH.....	65
4.1.3. TDS.....	65
4.2. Instalación del equipo Generador de Mi Ozono	67
4.3. Características destacadas generador mi ozono, empleado	69
4.4. Análisis de concentración de ozono.....	70
CAPÍTULO V.....	74
5. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
5.1. Discusión de resultados.....	74
5.2. Conclusiones	75
5.3. Recomendaciones.	77
CAPÍTULO VI.....	79
6. REFERENCIAS.....	79
6.1. Referencias documentadas.....	79
6.2. Referencias electrónicas.....	80
7. ANEXOS	81

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Valores CT para la inactivación de 2 log</i>	24
<i>Tabla 2. Relación de la temperatura y la solubilidad del agua</i>	34
<i>Tabla 3. Tiempo de vida media del ozono a efectos de la temperatura</i>	35
<i>Tabla 4. Periodo de semidesintegración del ozono en gas y agua a diferentes temperaturas</i>	41
<i>Tabla 5. Valores CT (md x min/L) para 99.9% de inactivación de giardia y 99.99% de virus</i>	52
<i>Tabla 6. Operacionalización de variables e indicadores</i>	61
<i>Tabla 7. Comparativo de Parámetros del Agua que ingresa a la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica con el agua destilada Patrón, Agua envasada San Luis y Agua Bells</i>	64
<i>Tabla 8. Efectos y Cambios pH, TDS y Dureza en función del tiempo de ozonización del Agua que ingresa a la Facultad de Ingeniería Química Metalúrgica</i>	65
<i>Tabla 9. Interpretación de los Efectos y Cambios en los parámetros: pH, TDS, C.E. y Dureza en las muestras de agua sin ozonizar y del a gua ozonizada que ingresa a la Facultad de Ingeniería Química Metalúrgica</i>	66
<i>Tabla 10. Soluciones de agua ozonizada: Límites para ambientes de trabajo y desinfección de frutas, verduras, lavado de vajillas, lavado bucal, lavado de manos, superficies, limpieza con sistemas de aspersion de oficinas y aulas de estudio la concentración óptima</i>	68
<i>Tabla 11 . Solubilidad del ozono a diferentes temperaturas</i>	71
<i>Tabla 12 . Propiedades físicas del Ozono</i>	71

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Concentración residual de desinfectante [O₃].</i>	25
<i>Figura 2. Distribución de Agua por la E.P.S. (GRL) Huacho.</i>	29
<i>Figura 3. Ficha descriptiva del Ozono</i>	33
<i>Figura 4. Estructura del ozono (O₃)</i>	34
<i>Figura 5. Reacción del ozono con el agua.</i>	36
<i>Figura 6. Potencial de los oxidantes</i>	37
<i>Figura 7. Porcentaje de supervivencia en el tiempo de contacto en segundos.</i>	38
<i>Figura 8. Procesos de Oxidación Avanzada (AOP).</i>	40
<i>Figura 9. Efecto del pH en la descomposición del ozono (T = 15 °C)</i>	42
<i>Figura 10. Descomposición del ozono en diferentes tipos de agua a 20 °C. 1 = agua doblemente destilada; 2 = agua destilada; 3 = agua potable; 4 = agua subterránea de baja dureza; 5 = agua filtrada del Lago Zurich (Suiza); 6 = agua filtrada del Bodensee (Suiza).</i>	43
<i>Figura 11. Equilibrio del carbonato, bicarbonato y dióxido de carbono.</i>	44
<i>Figura 12. Efectos del ozono sobre bacterias</i>	48
<i>Figura 13. Datos identificativos del ozono y sus pictogramas.</i>	54
<i>Figura 14. Límites de exposición al ozono establecidos o recomendados por diferentes organismos</i>	55
<i>Figura 15. Análisis de dureza – laboratorio.</i>	64
<i>Figura 16. Generador de Ozono – laboratorio.</i>	67
<i>Figura 17. Análisis de concentración de ozono</i>	70
<i>Figura 18. Determinación de ozono residual.</i>	72

RESUMEN

Actualmente es una preocupación obligatoria pensar en el procesamiento de la purificación del agua, influyen varios factores como el almacenamiento, la sedimentación, filtración, desinfección. Según la Organización mundial de la salud, el ozono es el desinfectante más eficiente para todo tipo de microorganismos. El ozono O_3 es un gas inestable que se originan en forma natural cuando hay rayos en las tormentas o la producción de manera artificial en equipos de soldadura y equipos de eléctricos.

El objetivo del estudio determinar la concentración de O_3 en la obtención del agua ozonizada para su limpieza, esterilización, prevención, desinfección de superficies contaminadas por SARS-Cov-2 (Covid-19) a nivel piloto en la Facultad de Ingeniería Química, para lo cual se establece una evaluación de los parámetros, de la Dureza, pH, TDS, ozono [O_3] residual.

El agua cruda es una fuente directa de enfermedades pueden ser causadas por virus o bacterias, si el agua no se limpia o trata apropiadamente, puede ser transmisora de enfermedades infectocontagiosas con graves consecuencias para la salud de los estudiantes, docentes y personal administrativos de la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica como una muestra en la Comunidad Universitaria, por lo que se desarrolla la presente tesis, considerando las propiedades del ozono O_3 .

Debido al gran poder oxidante del ozono y la disminución en la formación de subproductos se propone su implementación como desinfectante en el abastecimiento de agua a la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica. El ozono puede actuar como Viricida desde dosis bajas de 0.64 ppm en 18.4 segundos de contacto. Concluyéndose que es posible implementar estos procesos como lo demostramos en el desarrollo de esta tesis empleando ozonizadores que generen una concentración de [O_3] de 5 ppm, es muy eficiente, esto es útil en oficinas, aulas,

baños, almacenes de alimentos, medicamentos, indumentaria de la salud etc. Finalmente recomendamos para ambientes cerrados sin presencia permanente de personas al momento de su aplicación, su objetivo es lograr desinfección y desodorización, rápida y eficaz. o establecer los criterios para el flujo de personal de la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica en las oficinas, aulas, talleres y laboratorios, con el fin de eliminar o disminuir los riesgos de contagio a las personas y contaminación de superficies y productos por el SARS Cov-2. (Covid-19).

Recomendar la identificación de los vectores o puntos críticos y el establecimiento del flujo del personal, se espera implementar acciones concernientes a la implementación de buenas prácticas en los ambientes de trabajo, aulas estudio, prácticas de laboratorio, vigilancia del agua de recepción y su desinfección con ozono con el empleo de equipos ozonizadores, una correcta manipulación de los vectores, así como modificaciones puntuales en el mobiliario, planes de limpieza, campañas de toma de conciencia y nuevos hábitos de comportamiento al interior de las instalaciones de la Facultad.

Palabras Clave: Purificación, microorganismos, ozonización, poder oxidante, viricida, SARS Cov-2. (Covid-19).

ABSTRACT

Currently it is a mandatory concern to think about water purification processing, various factors such as storage, sedimentation, filtration, disinfection influence. According to the World Health Organization, ozone is the most efficient disinfectant for all types of microorganisms. Ozone O_3 is an unstable gas that occurs naturally when there are lightning strikes in storms or is produced artificially in welding equipment and electrical equipment.

The objective of the study to determine the concentration of O_3 in obtaining ozonated water for cleaning, sterilization, prevention, disinfection of surfaces contaminated by SARS-Cov-2 (Covid-19) at a pilot level at the Faculty of Chemical Engineering, for which establishes an evaluation of the parameters, Hardness, pH, TDS, ozone [O_3] residual.

Raw water is a direct source of diseases that can be caused by viruses or bacteria, if the water is not cleaned or treated properly, it can transmit infectious diseases with serious consequences for the health of students, teachers and administrative staff of the Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering as a sample in the University Community, for which the present thesis is developed, considering the properties of ozone O_3 .

Due to the great oxidizing power of ozone and the decrease in the formation of by-products, its implementation as a disinfectant in the water supply to the Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering is proposed. results show. Ozone can act as a Viricide from low doses of 0.64ppm in 18.4 seconds of contact. Concluding that it is possible to implement with ozonizers as we demonstrated in the development of this thesis using ozonizers that generate a concentration of [O_3] of 5 ppm, it is very efficient, this is useful in offices, classrooms, bathrooms, food stores, medicines, health apparel etc. Finally, we recommend for closed environments without the permanent presence of people, its objective is to achieve rapid and

effective disinfection and deodorization. o establish the criteria for the flow of personnel from the Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering in the offices, classrooms, workshops and laboratories, in order to eliminate or reduce the risks of contagion to people and contamination of surfaces and products by SARS Cov-2. (Covid-19).

Recommend the identification of vectors or critical points and the establishment of personnel flow, it is expected to implement actions concerning the implementation of good practices in work environments, study classrooms, laboratory practices, monitoring of reception water and its disinfection with ozone with the use of ozonizing equipment, a correct manipulation of the vectors, as well as specific modifications in the furniture, cleaning plans, awareness campaigns and new habits of behavior within the facilities of the Faculty.

Key Words: Purification, microorganisms, ozonization, oxidizing power, virucidal, SARS Cov-2. (Covid-19).

INTRODUCCIÓN

El proyecto de investigación se realizó con las muestras tomadas del agua que ingresa a la Facultad de Ingeniería Química y metalúrgica de la UNJFSC, se realizó el análisis fisicoquímico de la red pública durante el tiempo que se ha desarrollado el proyecto de tesis.

Hemos escuchado o leído que la principal defensa contra la SARS Cov-2. (Covid-19), es lavarse las manos constantemente con agua y con jabón, la universidad consume agua proveniente de la red pública, cuyos niveles de dureza, pH, TDS, C.E. nivel de cloro residual (indicador de formación de los Trihalometanos), son indicadores fisicoquímicos. Es el momento oportuno para revalorar el agua que ingresa a la facultad y pensar en un proceso de potabilización preventiva con ozono O_3 residual disuelto de 0,4 mg/L mantenida durante 4 minutos, que desactiva el 99,99 % de los diferentes tipos de virus para una desinfección.

El uso y aplicación del ozono comienza desde hace décadas, donde este gas es usado en procesos de potabilización. Desde 1982, la Administración de Alimentos y Medicamentos de los EE.UU. [U.S. Food and Drugs Administration, (U.S. FDA)] reconoció al ozono como Sustancia Reconocida Generalmente como Segura [Generally Recognized as Safe, (Generalmente reconocido como seguro GRAS)] en la industria del agua embotellada. En el 2001, la U.S. FDA aprobó al ozono como sustancia GRAS para el contacto directo con alimentos.

En el presente estudio se evaluaron diferentes tratamientos a diferentes concentraciones de iones ozono [O_3], con el objetivo de ozonizar el agua que ingresa a la Facultad, para su limpieza, desinfección, esterilización, sanitización y prevención contra SARS-Cov-2 (Covid-19) COVID 19, Trihalometanos, con los límites permisibles del agua de consumo humano, según lo

establecido por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), a nivel piloto en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

La ciudad Huacho se abastece a través de la explotación del agua subterránea que se encuentra en el acuífero de la Cuenca del río Huaura. En la actualidad son 8 los pozos que se están explotando para el suministro de agua de esta ciudad y la Universidad es abastecida por el Pozo Nro. 9.

El agua cruda es una fuente directa de enfermedades, por lo que para proteger la salud no basta con tener agua. La capacidad del agua para transmitir enfermedades depende de su calidad microbiológica y composición química. Las enfermedades pueden ser causadas por virus o bacterias y metales pesados, es decir, si el agua no se limpia o trata apropiadamente, puede ser transmisora de enfermedades infectocontagiosas con graves consecuencias para la salud de la población.

Se analizan diferentes aspectos encaminados a evaluar el impacto del empleo del ozono en la eficiencia y sostenibilidad en la gestión de los recursos hídricos, en cuanto a su aplicación en el proceso de potabilización. En este sentido, se aprecia un incremento en la aplicación del ozono O_3 (ozonización) en el tratamiento de aguas en las últimas décadas, debido a varios factores entre los que destaca su capacidad de inactivar microorganismos patógenos resistentes al cloro, sin riesgo de generar compuestos tóxicos.

Actualmente se analizan los nuevos requerimientos del concepto CT, dado por el producto de la concentración de ozono disuelto (mg/L) [C] y el tiempo de contacto (minutos) (T), para el

diseño de sistemas de ozonización de aguas considerando la inactivación del *Cryptosporidium*; esto tiene el objetivo de un mayor control de los iones bromato y la reducción de costos.

En el proceso de potabilización de agua, a partir de diferentes fuentes de abasto, permite obtener un líquido con los requisitos físicos, químicos y microbiológicos establecidos para consumo humano.

Además, el Ozono es un agente oxidante más potente que el mismo Oxígeno el cual tiene capacidades fungicida, bactericida y virucida, capaz de destruirlos en pocos segundos, así como también tiene una potente acción desodorizante, ya que por su capacidad oxidante elimina las moléculas que emiten los malos olores. (Mayra O. BATALLER, Lidia A. FERNÁNDEZ y Eliet VÉLIZ, Centro de Investigaciones del Ozono, Habana, 2009).

El incremento del empleo del ozono en el tratamiento de aguas en las últimas décadas está dado por varios factores:

- a) No se producen compuestos tóxicos con riesgo para la salud como los Triahalometanos (THM) y permite el control de su formación (Morris et al. 1992, Koivusalo et al. 1994).
- b) El desarrollo de los equipos ozonizadores (Motret et al. 1998, Bohme 1999, Larocque 1999, Rakness 2007).
- c) La producción de materiales resistentes al ozono.
- d) La implementación de sistemas de contacto gas-líquido más eficientes (Martin et al. 1992, Do-Quang et al. 1995, 1999, Murrer et al. 1995, Mazzei et al. 1995, Meyer et al. 1999, Jackson 1999).

- e) Se destaca que el ozono es un excelente desinfectante, capaz de inactivar microorganismos patógenos como quistes de Giardia y Cryptosporidium, resistentes a otros desinfectantes (Rennecker et al. 1999, Finch 2001).

1.2. Formulación del problema

En los procesos actuales de potabilización del agua, se utilizan diferentes técnicas, la micro filtración (no consigue eliminar los virus), y los Procesos Químicos como los rayos ultravioletas, el ozono, sales de plata, sistemas de cloración la más utilizada ya que estos gases se obtienen en la planta de álcalis en el distrito de Paramonga.

La desinfección con cloro convencional produce subproductos no deseados como: Triahalometanos (THM), ácidos halo acéticos y clorito, compuestos que requieren seguimiento y mitigación, estas plantean preguntas de ¿si el remedio es peor que la contaminación?, puesto que estos compuestos pueden ocasionar enfermedades gastrointestinales y hasta el cáncer estomacal.

En las últimas décadas, se ha preferido emplear el gas ozono en el tratamiento de aguas, en este sentido, se ha diseñado una estrategia para inactivar patógenos emergentes y resistentes (Malley 2005).

1.2.1. Problema general.

Determinar la concentración de O_3 en la obtención del agua ozonizada para su limpieza, desinfección, esterilización, sanitización y prevención contra el SARS Cov-2. (Covid-19), a nivel piloto en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica.

1.2.2. Problemas específicos.

- a) ¿Cuál es el efecto del pH en el tratamiento del agua ozonizada a nivel piloto en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica?

- b) ¿Establecer el cambio de la TDS y C.E. en el tratamiento del agua ozonizada a nivel piloto en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica?
- c) ¿Precisar el cambio de la Dureza en el tratamiento del agua ozonizada a nivel piloto en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo general.

Evaluar la concentración de O₃ en el agua ozonizada para su limpieza, desinfección, esterilización, sanitización y prevención contra el SARS Cov-2. (Covid-19) a nivel piloto en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica.

1.3.2. Objetivo específico.

- a) Determinar el efecto del pH del agua ozonizada a nivel piloto en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica.
- b) Establecer el cambio de la TDS y C.E, del agua ozonizada a nivel piloto en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica.
- c) Señalar el cambio de la Dureza en el agua ozonizada a nivel piloto en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica.

1.4. Justificación de la Investigación

El ozono ha venido utilizándose para la oxidación inorgánica y orgánica, aplicaciones industriales en el proceso de potabilización del agua como una ayuda en la micro floculación y reducción de sólidos suspendidos, sus propiedades antisépticas, lo han hecho muy útil en la desinfección del agua para eliminar bacterias, virus, parásitos, levaduras, esporas, su purificación y obtención de una agua de mesa a nivel piloto, así como sugerir nuevas investigaciones en el tratamiento de aguas residuales, investigaciones sobre el uso del ozono en

medicina, con buenos resultados en múltiples patologías sistémicas, debido a sus capacidades germicidas frente a microorganismos, aplicaciones en el área de odontología y el envasado de agua ozonizada.

La obtención del agua ozonizada a nivel piloto en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica, será de gran utilidad para la comunidad universitaria, el ozono se usa para la pre oxidación, la eliminación del ion ferroso o del manganeso para flocularlo y pre filtrarlo (por sistemas de osmosis inversa).

El agua que circula por la universidad debe tratarse antes de consumirla, mediante las técnicas actuales, los profesores, trabajadores y estudiantes han tomado la alternativa de consumir agua purificada embotelladas en diferentes formas, de ahí la necesidad de desarrollar la obtención de agua ozonizada a nivel piloto.

1.4.1. Justificación Ambiental.

Con la problemática planteada en la obtención de agua ozonizada a nivel piloto, podemos evitar la contaminación del medio y proteger la salud humana debido a los componentes secundarios que se generan en la desinfección con cloro. Si bien es cierto que la alternativa que se propone utilizar para la sanitización con gas ozono el agua que ingresa a la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la universidad, así como desinfectante ofrece una garantía (rentabilidad) frente al sistema actual de desinfección con cloro, el principal objetivo que se lograr es el bienestar social, la disminución de THM's (trihalometanos) y niveles bacteriológicos mediante la aplicación de ozono, generara mejoras incuantificables en cuanto a la calidad de vida de los usuarios, disminuciones en cuanto el desarrollo de enfermedades tales como cáncer de colon,

estomacal y próstata entre otras enfermedades de alto grado de peligrosidad, conciben la aplicación de esta alternativa.(A. Merma, K. Vera, Tesis Arequipa 2015).

1.5. Delimitación del Estudio

1.5.1. Espacial.

La investigación se desarrolló empleando instrumentos, reactivos, materiales, equipos ozonizadores, que permitirán obtener agua ozonizada en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica.

1.5.2. Temporal.

El estudio se desarrolló, revisando la bibliografía relacionada con el tema, identificación de los equipos necesarios para el desarrollo del proyecto de investigación, asesor especializado adquisición de los reactivos, acondicionamiento de acuerdo al cronograma establecido.

1.5.3. Delimitación del método o técnica.

El sistema de abastecimiento de agua potable a la universidad, tiene sus limitaciones en cuanto exceso de la Dureza, sistemas de desinfección, por lo que se empleará metodologías o técnicas actualizadas con equipos, instrumentos, reactivos que se aplicará durante el desarrollo del presente trabajo.

1.6. Viabilidad del Estudio

El presente estudio es viable técnicamente, porque se cuentan con la información pertinente, la tecnología de innovación, ya que se tiene acceso a las tesis, libros, revistas concerniente al tema a tratar. Para la recolección de datos en la investigación se utilizará instrumentos, equipos calibrados, para determinar la CT de ozonización, que conllevan a un control de calidad. Por otra

parte, se cuenta con los recursos para realizar el trabajo de investigación en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

Si bien muchos de los principales hitos en la historia del tratamiento del agua ocurrieron en el siglo XIX y principios del siglo XX, la industria ha seguido evolucionando y perfeccionando el proceso de tratamiento del agua. El ritmo de la invención y la innovación en el siglo XX y principios del XXI ha superado por mucho a todos los desarrollos que se han producido a lo largo de los siglos anteriores.

2.1.1. Investigación Internacional.

A principios de la década de los setenta, el criterio de la inactivación del virus de la poliomielitis (Coin et al. 1967, Gevaudan et al. 1970) fue seleccionado como base para la desinfección con ozono y adoptado por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Se indicó entonces que una concentración de ozono residual disuelto de 0.4 mg/L, mantenida durante 4 min, era suficiente para inactivar más de 99.99 % de este virus. Este criterio de diseño llamado “virucida”, junto al concepto de “ozonización verdadera” (Block 1977).

En este sentido, se propuso el empleo de dos cámaras de contacto como mínimo y la aplicación de cantidades proporcionales de ozono para mantener 0.4 mg/L durante 4 min (Richard 1985). Desde entonces se emplea como práctica internacional más de una etapa de contacto en las plantas potabilizadoras.

Otro criterio para el diseño de reactores de ozonización de aguas fue introducido por la Agencia de Protección Ambiental (USEPA 1989a y 1989b) con una nueva regulación para la desinfección de aguas superficiales denominada Surface Water Treatment Rule (SWTR) reglas de tratamiento de aguas superficiales, en lo referente a “nuevos” microorganismos a tener en cuenta en la calidad del agua de consumo, como enterovirus, Legionella y los quistes de Giardia. Este criterio corresponde con el llamado concepto CT y constituye una guía de esta regulación, que especifica la concentración de ozono disuelto (mg/L, [O₃]) y el tiempo de contacto efectivo (min, T) para cada microorganismo encontrado en la mayoría de las plantas de tratamiento.

Varios estudios que tienen en cuenta los valores de CT demuestran que el ozono [O₃], es el desinfectante más efectivo respecto a otras alternativas (Finch et al. 1994, Overbeck 1999). En el cuadro IV se muestran valores de CT para diferentes microorganismos y desinfectantes; se observa que el ozono presenta valores de CT menores incluso para la inactivación de quistes de protozoos (von Gunten 2000). Liyanage et al. (1997), en un estudio sobre la inactivación de Giardia y Cryptosporidium, resaltan la ozonización como la alternativa más eficiente respecto a otros desinfectantes, lo que fue de gran importancia debido a los intensos brotes de estos patógenos que acontecieron en EUA y Canadá (Larocque 1999, Rice 1999).

Tabla 1.
Valores CT para la inactivación de 2 log

Microorganismo	CT (mg/min/L)			
	6-7 Cloro libre	8-9 Cloramina	6-7 Dióxido de cloro	6-7 Ozono
E. coli	0.034 – 0.05	95 - 180	0.4 – 0.75	0.02
Polio virus	1.1 – 2.5	768 - 3740	0.2 – 6.7	0.1 – 0.2
Rotavirus	0.01 – 0.05	3800 - 6500	0.2 – 2.1	0.006 – 0.06
Giardia lamblia	47 - 150	2200	26	0.5 – 0.6
Giardia muris	30 - 630	1400	7.2 – 18.5	1.8 – 2.0
Cryptosporidium parvum	7200	7200	78	5 – 10
Cryptosporidium parvum (1°C)			200	10
Cryptosporidium parvum (22°C)			120	7

Nota: Fuente. http://www.elaguapotable.com/El_factor_CT.pdf.

Los parámetros C y T (dosis de desinfectante [O_3] y tiempo de contacto) son básicos en el proceso de desinfección, la concentración de desinfectante va disminuyendo a lo largo del tiempo y en la gráfica Nro. 01 el valor C, T está representado por el área bajo la curva representativa para una concentración inicial de desinfectante C_0 y un tiempo T.

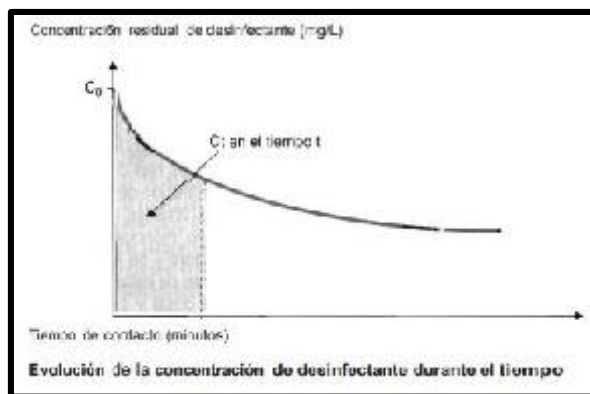


Figura 1. Concentración residual de desinfectante [O₃].

A partir de estudios realizados con ratas, la OMS estableció un valor límite máximo de 25 µg/L de [O₃], mientras que la Unión Europea y la USEPA lo fijaron en 10 µg/L de [O₃] (Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos USEPA 1989a, WHO 1996, EU 1998). Este último valor es el aceptado por países desarrollados.

Strauss, Beza, Arias, y Melgar-Rodríguez (2014) evaluaron el “efecto antibacteriano del ozono en *Porphyromonas gingivalis*: estudio piloto in vitro”. En la Facultad de Odontología de la Universidad de Chile, Santiago, Chile. Concluyendo, que el efecto antibacteriano del ozono se puede modificar según tiempo de exposición, especie bacteriana, temperatura y concentración. El efecto de la dosis se cuantificó en milímetros según el diámetro del halo generado, observándose disminución en el número de UFC/ml de *Porphyromonas gingivalis* luego de la aplicación local de ozono [O₃] a los 30, 48 y 60 segundos ($p < 0,05$). Observando un incremento del halo inhibitorio del crecimiento microbiano significativamente ($p < 0,01$) y positivamente ($R: 0,85$) con el tiempo de aplicación. Comprobándose además que el ozono posee un efecto antibacteriano sobre *Porphyromonas gingivalis* y este efecto depende del tiempo de exposición (Strauss et al., 2014).

Pietro cola, Ceci, Preda, Poggio, y Colombo (2018) realizaron una investigación basada en “la evaluación de la actividad antibacteriana de un nuevo aceite de oliva ozonizado contra patógenos orales y periodontales” en el departamento de Medicina Molecular, Unidad de Bioquímica, de la Universidad de Pavía, Pavía, Italia. El estudio fue en *S. mutans*, *A. actinomycetemcomitans* y *P. intermedia*, incubadas de 24 a 96 horas a 37°C. Probándose la capacidad antibacteriana de los compuestos con la prueba de difusión de agar de contacto directo (DCT) y concentraciones de inhibición mínima (MIC) y concentraciones de bactericida mínima (MBC). Se analizaron las diferencias mediante un análisis de varianza de una vía, ANOVA y una prueba de Tukey (Pietrocola et al., 2018)

2.1.2. Antecedentes Nacionales.

No se ha encontrado trabajos, similares actualizados del empleo del aceite ozonizado en la enfermedad periodontal, sin embargo, creo necesario referir:

Sánchez (2009) realizó un estudio sobre la “eficacia de los enjuagatorios con agua ozonizada en el control de los niveles de placa bacteriana y de *Streptococcus mutans* en cavidad oral” en la Universidad de Trujillo. Trujillo. Perú. El estudio fue de tipo longitudinal, prospectivo, experimental, obteniendo resultados en la reducción de los *Streptococcus mutans* de 171.9×10^6 UFC/ml a 40.5×10^6 UFC/ml y de 178.9×10^6 UFC/ml a 29.2×10^6 UFC/ml y la placa bacteriana en la cavidad bucal en 66 escolares de 6 a 8 años de 74.3% a 45% y de 77.9% a 35.4% con el uso de enjuagatorios con agua ozonizada, corroborando su eficacia (Sánchez, 2009).

Castro y Quispe (2010) realizaron un estudio del efecto del ozono en los sistemas de higienización de frutas y hortalizas de los laboratorios especializados de la FIIA

UNASAM, los resultados obtenidos para los tratamientos que presentaron concentración de ozono mayores de 1,5 ppm y mayor tiempo de contacto reducen drásticamente el contenido de patógenos y coliformes totales; y solo se reportaron presencias de gérmenes viables que fueron eliminados por el mayor tiempo de contacto del agua ozonificada, el tiempo de 4 minutos resultó un valor óptimo para la eliminación de los gérmenes viables y los coliformes. Al término del estudio pudo establecer las conclusiones del trabajo de laboratorio que es posible prolongar el tiempo de vida útil de la naranja, y el choclo pelado con el uso de agua ozonificada a partir de 1,5 ppm y en tiempos de contacto de 4 minutos. A partir de 8 min. de tiempo de contacto e inmersión, se eliminan gérmenes a cualquiera de las concentraciones de ozono empleadas. La lechuga requiere un tiempo mínimo de 10 minutos para su tratamiento con ozono. Las características de calidad sensorial que mostraron los productos higienizados fueron de aceptable y de preferencia sobre los productos tradicionalmente ofertados en el mercado.

La investigación ha permitido prolongar el tiempo de vida útil de la naranja, y el choclo pelado con el uso de agua ozonificada a partir de 1,5 ppm y en tiempos de contacto de 4 minutos.

Horna (2014) realizó una investigación para comprobar la “efectividad de los enjuagatorios con agua ozonizada en el control del nivel de la placa dentobacteriana” en la Universidad de Trujillo, Trujillo, Perú. Fue una investigación de nivel aplicado, cuasi experimental, el número de muestra fue de 108 alumnos divididos en tres grupos de 36, un grupo control, uno de aplicación de 30 segundos y 60 segundos por cuatro semanas. Concluyendo su efectividad enjuagatorio dentobacteriana.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Potabilización del agua natural en Huacho

El GRL articuló esfuerzos con la E.P.S. Aguas de Lima Norte, para suministrar este recurso y combatir el Covid-19. Las acciones, también, beneficiarán a familias de otros sectores de la provincia de Huaura.

Con miras a garantizar el abastecimiento de agua potable a los sectores que más lo requieran, el Gobierno Regional de Lima y la E.P.S. Aguas de Lima Norte, inició un conjunto de acciones orientadas a suministrar el recurso que es vital y fundamental en la lucha contra la propagación del nuevo coronavirus.

El recurso más importante es el agua, tiene un papel vital en el desarrollo ya que sin ella no podría existir la vida y las industrias no funcionarían, la misma no tiene sustitutos en muchas aplicaciones, por lo cual es indispensable que su abastecimiento sea seguro. Existen varios métodos para asegurar que el agua sea segura para beber, incluyendo la ebullición del agua, la desinfección química, la filtración, ósmosis inversa, distintas combinaciones de los métodos.



Figura 2. Distribución de Agua por la E.P.S. (GRL) Huacho.

Hoy el higienismo y la gestión del agua cobran mayor notoriedad ante la presente crisis sanitaria por efectos del coronavirus (COVID-19), en el Perú y el mundo. Toma relevancia el agua potable, el arma de prevención más eficaz al contagio, mediante el lavado de manos con agua y jabón, siendo una forma muy recomendada para eliminar el virus si ya tuvo contacto con ellas.

Esta fehacientemente comprobado que es en la red interna donde se producen la mayoría de las contaminaciones bacterianas, resultando la misma responsabilidad exclusiva de cada usuario. El agua que ingresa al sistema de distribución interna de la Universidad Nacional José F. Sánchez Carrión, requiere de un control de calidad básico del agua, ya que puede contaminarse a través de conexiones internas, tanques, reservorios, griferías, llaves, cañerías dentro de las instalaciones. (EPS Aguas de Lima Norte S.A.).

2.2.2. Qué es la potabilización.

Se llama potabilización al proceso por el cual se convierte un agua más o menos contaminada en agua apta para el consumo humano. El agua al salir de la planta potabilizadora reúne unas características organolépticas, fisicoquímicas y microbiológicas, reguladas por ley, que permiten el consumo público y que garantizan un agua potable de calidad.

El agua es un medio que se transforma sin cesar, un medio vivo, por lo que a pesar de salir de las ETAP (Estaciones de Tratamiento de Agua Potable) en condiciones de potabilidad, durante su desplazamiento a través de las redes de distribución puede contaminarse debido a la presencia de diferentes organismos en la película biológica que suele formarse en los conductos, así como en los mismos conductos, acometidas, etc.; sin mencionar la facilidad que tiene todo tipo de microorganismos de proliferar en los depósitos de agua, donde encuentran protección y alimento, o el agua de los pozos, generalmente muy contaminada, aún a pesar del residual de cloro que las estaciones de potabilización añaden al agua de salida.

Entre las múltiples funciones del agua, muy pocas veces se hace destacar que esta materia privilegiada (que representa casi las dos terceras partes del peso de los seres humanos) es simultáneamente el vehículo de la mayor parte de las demás sustancias, ya que este líquido, aunque mal electrolito, posee la propiedad de disolver e ionizar numerosos compuestos. (M. del Mar Pérez C. Informe. 2021)

2.2.3. Evaluación física, química y microbiológica del agua de consumo humano.

Esta evaluación permitirá investigar las características de la calidad del agua y definir la aceptabilidad de ella para consumo humano.

Se procederá determinar la concentración de ozono en las muestras del agua que ingresa a la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica de la Universidad Nacional José F. Sánchez Carrión.

- a) Muestreo y evaluación de la Dureza
- b) Potencial de hidrogeniones.
- c) TDS y C.E.
- d) Temperatura.
- e) Potabilización con ozono.

En los últimos 25 años, los mayores avances y desarrollos en este campo, han propiciado una importante mejora en los equipos productores y un mayor empleo en la desinfección del agua.

“El ozono, como agente oxidante, constituye uno de los más eficaces desinfectantes, al ser su potencial de oxidación de 2.070 mV frente a los 1.360 mV del cloro”.

La potabilización de aguas mediante técnicas de ozonización se utiliza desde hace tiempo en todo el mundo. El uso de generador de ozono en el tratamiento de aguas permite aprovechar su eficacia desinfectante para conseguir una agua higienizada libre de compuestos perjudiciales para la salud.

Cada vez son más las plantas potabilizadoras que utilizan el ozono en alguna de las fases del proceso de potabilización del agua. Pero, además de depurarse el agua en estas plantas, una acción llevada a cabo por los gobiernos municipales para el abastecimiento de la población, igualmente podemos conseguir agua potable nosotros mismos a partir de agua residual o agua que no haya sido potabilizada, es decir, cuya

calidad no aconseje el utilizarla para los usos propios del agua potable, sino otros usos como el riego de los jardines.

Sirviéndonos de generadores de ozono y siempre con unas infraestructuras previas necesarias para poder instalarse de forma conveniente, lograremos agua potable de forma sencilla, rápida e inocua para la salud y el medio ambiente.

Elegir el equipo generador de ozono que nos conviene depende de nuestras necesidades, por lo que la elección, instalación y el mantenimiento de los equipos necesarios ha de correr a cargo de expertos en la materia o previamente entrenados, que asesoran sin compromiso para que los resultados sean satisfactorios y, sobre todo, fiables. La calidad del agua potable obtenida ha de ser evaluada en el laboratorio y el cumplimiento de la normativa nacional al respecto.

En el ámbito doméstico, el tratamiento de aguas con ozono mediante generadores de ozono de aire y agua permite mejorar la calidad del agua ya potabilizada. Tengamos en cuenta que el agua potable cumple los niveles de calidad exigidos antes del transporte, pero durante el trayecto a través de los distintos conductos y cañerías puede contaminarse.

Del mismo modo, los ozonizadores nos brindan un agua libre de olores y sabores como el del cloro y otras sustancias con las que se desinfectan las aguas en las plantas potabilizadoras.

2.2.4. El Ozono.

El ozono es un compuesto formado por tres átomos de oxígeno O₃, cuya función más conocida es la de protección frente a la peligrosa radiación ultravioleta del sol; pero

también es un potente oxidante y desinfectante con gran variedad de utilidades. La más destacada es la desinfección de aguas.

El ozono, es utilizado como tal en la desinfección del agua, está comprobada su eficacia en oxidación de materias orgánicas e inorgánicas (entre éstas últimas destacan el hierro y manganeso). Su poder oxidante y desinfectante, mayor que el del cloro, le hace más eficaz que éste en la eliminación del olor, sabor y color del agua, así como en la eliminación de bacterias, virus y otros microorganismos (eoi, Master 2007). Su potencial de oxidación es 2,07 voltios, mientras el del cloro es 1,36 voltios.

Identificación	
Nombre químico	Ozono
Masa molecular relativa	48 g/L
Volumen molar	22,4 m ³ PTM/Kmol
Fórmula empírica	O ₃
Número de registro CAS	10028-15-6
Referencia FINES	233-089-2
Densidad (gas)	2,144 g/l a 0°C
Densidad (líquido)	1,574 g/cm ³ a -193°C
Temperatura de condensación a 100kPa	-112°C
Temperatura de fusión	-198°C
Punto de ebullición	-110,5°C
Punto de fusión	-251,4°C
Temperatura crítica	-12°C
Presión crítica	54 atm.
Densidad relativa frente al aire	1,3 veces más pesado que el aire
Inestable y susceptible de explotar fácilmente	Líquido -112°C Sólido -192°C
Equivalencia	1 ppm = 2 mg/m ³

Figura 3. Ficha descriptiva del Ozono

Es un gas azul pálido e inestable, que a temperatura ambiente se caracteriza por un olor picante, perceptible a menudo durante las tormentas eléctricas, así como en la proximidad de equipos eléctricos, según evidenció el filósofo holandés Van Marun en el año 1785. A una temperatura de -112°C condensa a un líquido azul intenso. En condiciones normales de presión y temperatura, el ozono es trece veces más soluble en agua que el oxígeno, pero debido a la mayor concentración de oxígeno en aire, éste se encuentra disuelto en el agua en mayor medida que el ozono.

La molécula presenta una estructura angular, con una longitud de enlace oxígeno-oxígeno de 1,28 Å; se puede representar de la siguiente manera:

Debido a la inestabilidad del compuesto, en este tipo de aplicaciones, éste debe ser producido en el sitio de aplicación mediante unos generadores.

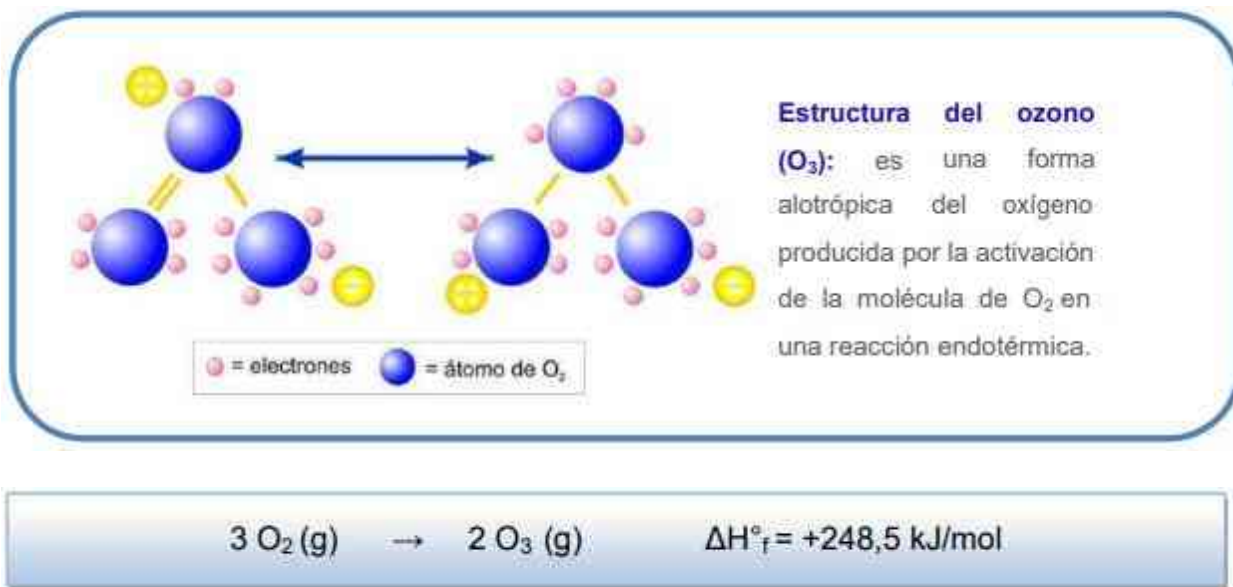


Figura 4. Estructura del ozono (O₃)

Si se observa el valor de la entalpía estándar de formación (H°_f) se concluye que ésta es una reacción endotérmica y no espontánea. Debido al olor característico del ozono, es fácilmente reconocido a una concentración de (0.01- 0.05) ppm.

La solubilidad del ozono en el agua se mantiene de entre 20 a 30 minutos a una temperatura de (0–30) °C, esta propiedad aumenta si disminuye la temperatura, teniendo una solubilidad de 0.640 L O₃ /L de H₂O a 0°C y llegando a una solubilidad de 0.000 L O₃ /L de H₂O a 60°C, como se observa en:

Tabla 2.

Relación de la temperatura y la solubilidad del agua.

Temperatura (°C)	Solubilidad (litro ozono/litro agua)
0	0.640
15	0.456
27	0.270
40	0.112
60	0.000

Nota. Fuente: Uso del ozono en la industria de alimentos. (Rice et al., 1981)

Tabla 3.
Tiempo de vida media del ozono a efectos de la temperatura

Ozono en fase gas		Ozono residual en el agua (pH 7)	
Temperatura °C	Tiempo de vida media	Temperatura °C	Tiempo de vida media
-50	3 meses	15	30 minutos
-35	18 días	20	20 minutos
-25	8 días	25	15 minutos
20	3 días	30	12 minutos
120	1.5 horas	35	8 minutos
250	1.5 segundos	-	-

2.2.5. Mecanismo de reacción del ozono O₃ con el agua.

Cuando este gas es inyectado en el agua, puede ejercer su poder oxidante mediante dos mecanismos de acción:

- Oxidación directa de los compuestos mediante el ozono molecular.
- Oxidación por radicales libre hidroxilo.

Los radicales libres hidroxilos, (OH^-), se generan en el agua como a continuación se expone:

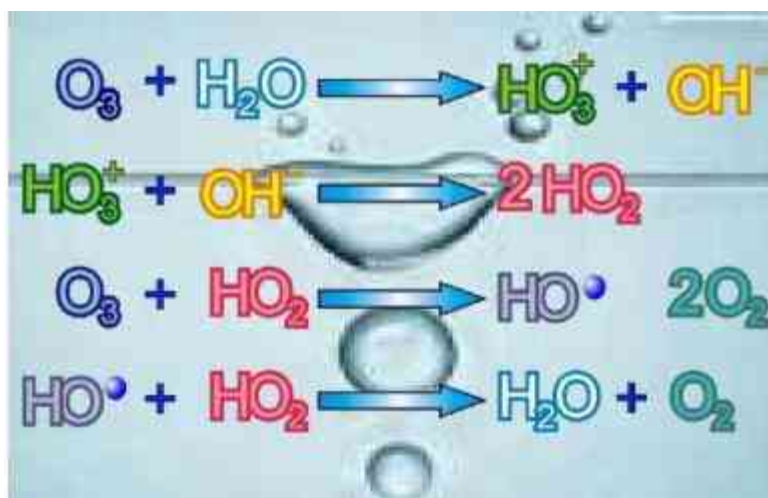


Figura 5. Reacción del ozono con el agua

Los radicales libres así generados, constituyen uno de los más potentes oxidantes en agua, con un potencial de 2,80 V. No obstante, presentan el inconveniente de que su vida media es del orden de microsegundos, aunque la oxidación que llevan a cabo es mucho más rápida que la oxidación directa por moléculas de ozono.

De los oxidantes más utilizados en el tratamiento de aguas, los radicales libres de hidroxilo y el ozono tienen el potencial más alto (son los más oxidantes), ello explica la gran eficacia del ozono como desinfectante, como se aprecia en la tabla Nro. 04 de Potenciales de oxidación o potencial Redox (Ev).

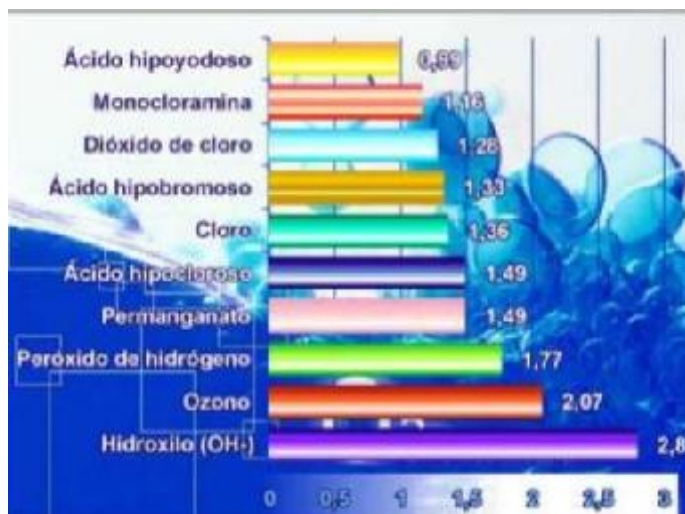


Figura 6. Potencial de los oxidantes

Así, dependiendo de las condiciones del medio, puede predominar una u otra vía de oxidación:

- a) En condiciones de bajo pH, predomina la oxidación molecular.
- b) Bajo condiciones que favorecen la producción de radicales hidroxilos, como es el caso de un elevado pH, exposición a radiación ultra-violeta, o por adición de peróxido de hidrógeno, empieza a dominar la oxidación mediante hidroxilos. (EPA Guidance Manual, 1999).

2.2.6. Proceso de higienización de conductos.

El agua de uso general, debe estar perfectamente desinfectada, además de no presentar restos químicos perjudiciales para la salud de los usuarios.

A fin de asegurar una correcta higienización del agua, resulta imprescindible controlar la concentración de agente bactericida o potencial redox del agua, garantía de la calidad total. Es de vital importancia que el biocida utilizado no deje residuos tóxicos, así como su perfecta mezcla en el líquido.

Un alto potencial redox en el agua, garantiza su pureza, determina el nivel de eficacia del agua en la eliminación de los microorganismos presentes en ella.

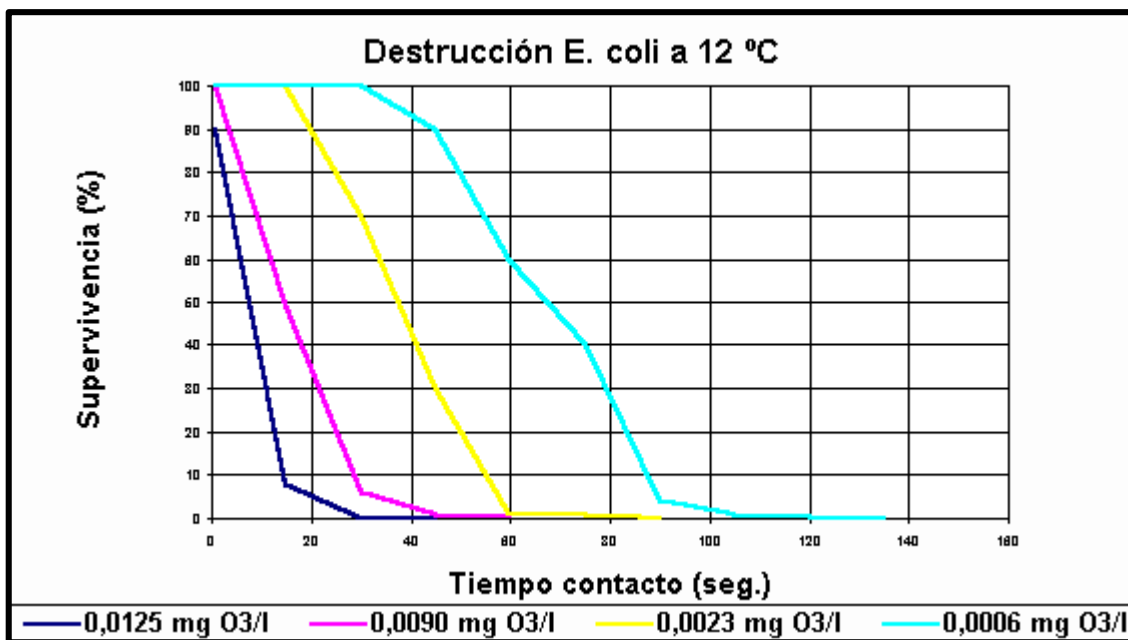


Figura 7. Porcentaje de supervivencia en el tiempo de contacto en segundos.

Un aspecto importante es la interrelación del potencial redox con el concepto de esterilización, habiéndose establecido el efecto esterilizante a 750 mV. Así, el potencial redox es un indicador del grado de contaminación de un agua y del poder germicida de la misma. Un potencial redox de 200 mV, indica que toda la gama de gérmenes posibles está presente en dicha agua. Sin embargo, simplemente pasando de 200 a 300 mV, los gérmenes se reducen del 90% al 10%. Si se aumenta el potencial a 400 mV, únicamente el 1% de los gérmenes originales estará presente. Las redes urbanas de agua potable trabajan, por ley, con valores superiores a 700 mV.

“El ozono, como agente oxidante, constituye uno de los más eficaces desinfectantes, al ser su potencial de oxidación de 2.070 mV frente a los 1.360 mV del cloro”.

2.2.7. Espectro de acción del ozono O₃.

Se puede decir que el ozono no tiene límites en el número y especies de microorganismos que no puede eliminar, dado que actúa sobre estos a varios niveles.

La oxidación directa de la pared celular constituye su principal modo de acción. Esta oxidación provoca la rotura de dicha pared, propiciando así que los constituyentes celulares salgan al exterior de la célula. Asimismo, la producción de radicales hidroxilos como consecuencia de la desintegración del ozono en el agua (Tabla Nro. 01), provoca un efecto similar al expuesto.

2.2.8. Los daños producidos sobre los microorganismos no se limitan a la oxidación

El ozono también causa daños a los constituyentes de los ácidos nucleicos (ADN y ARN), provocando la ruptura de enlaces carbono-nitrógeno, lo que da lugar a una despolimerización. Los microorganismos, por tanto, no son capaces de desarrollar inmunidad al ozono como hacen frente a otros compuestos.

El ozono es eficaz, pues, en la eliminación de bacterias, virus, protozoos, nematodos, hongos, agregados celulares, esporas y quistes (Rice, 1984; Owens, 2000; Lezcano, 1999). Por otra parte, actúa a menor concentración y con menor tiempo de contacto que otros desinfectantes como el cloro, dióxido de cloro y monoclóraminas. Además, el ozono, como indicábamos previamente, oxida sustancias citoplasmáticas, mientras que el cloro únicamente produce una destrucción de centros vitales de la célula, que en ocasiones no llega a ser efectiva por lo que los microorganismos logran recuperarse (Bitton, 1994).

2.3. Definiciones conceptuales

Las propiedades oxidantes del ozono le permiten eliminar gran cantidad de sustancias no biodegradables. Además, existe un interés renovado en esta sustancia debido a su capacidad de generar radical hidroxilo (OH^\cdot). Estos radicales todavía son más oxidantes y menos selectivos que el ozono, por lo que son capaces de eliminar una gran variedad de compuestos.

El ozono puede producir estos radicales con la presencia de iones hidróxido, de peróxido de hidrógeno, por radiación UV o de catalizadores, aunque existen otras técnicas que consiguen la producción de estos radicales. Todas estas tecnologías que se basan en la generación de radicales $[\text{HO}^\cdot]$ se conocen como Procesos de Oxidación Avanzada (AOP).

Dentro de estos procesos de oxidación avanzada se engloban las siguientes tecnologías (Andreozzi y Col. Pág. 20, 1999): Ampliar en el informe final en la página indicada.

- Fenton ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$)
- Foto-Fenton ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ (Fe^{3+})/UV)
- $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{3+}$ - Oxalato
- Mn^{2+} /Ácido Oxálico/ O_3
- Fotocatálisis ($\text{TiO}_2/h\nu/\text{O}_2$)
- Peroxono ($\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$)
- O_3/UV
- $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$

Figura 8. Procesos de Oxidación Avanzada (AOP).

Descomposición del ozono. El ozono se descompone en agua potable (pH: 6-8,5), parcialmente en radicales OH reactivos. Por lo tanto, el estudio de un proceso de ozono siempre involucra las reacciones de dos especies: ozono y radicales OH. Cuando estos radicales OH se

encuentran en las partículas dominantes de la disolución, se trata de un proceso de oxidación avanzada (PAO).

Dependiendo de la calidad del agua, el periodo de semidesintegración del ozono puede variar entre segundos y horas. Los factores que influyen en la descomposición del ozono en agua son la temperatura, pH, ambiente, concentración de sustancias disueltas y luz UV. A continuación, se discuten estos factores principales:

- a) Temperatura: Las temperaturas tienen gran influencia en el periodo de semidesintegración del ozono en el agua, se muestran estos valores en la tabla Nro. 05. La solubilidad del ozono disminuye al aumentar la temperatura y es menos estable. No es posible utilizar ozono disuelto en agua a temperaturas superiores a 40 °C, ya que a esta temperatura la vida media del ozono es demasiado corta.

Tabla 4.

Periodo de semidesintegración del ozono en gas y agua a diferentes temperaturas.

Disuelto en agua (pH 7)	
Temperatura (°C)	Periodo semidigestión
15	30 minutos
20	30 minutos
25	20 minutos
30	12 minutos
35	8 minutos

Nota. Fuente: <https://www.lenntech.es/biblioteca/ozone-decomposition.htm#ixzz6wubxVnz9>

b) pH: Como ya se ha mencionado anteriormente, el ozono se descompone parcialmente en radicales OH. Cuando el valor del pH aumenta, también lo hace la formación de radicales OH. Estos iones actúan como iniciadores en la descomposición de ozono:



Los radicales que se producen en la segunda reacción pueden inducir otras reacciones con ozono, causando la formación de más radicales OH.

Además, el pH tiene influencia en el equilibrio ácido/base de algunos compuestos y también en la velocidad de reacción del ozono. Esto también tiene influencia en la reacción con CO_3^{2-} , la cual es también dependiente del pH ($\text{Pka HCO}_3^{2-}/\text{CO}_3^{2-} = 10,3$).

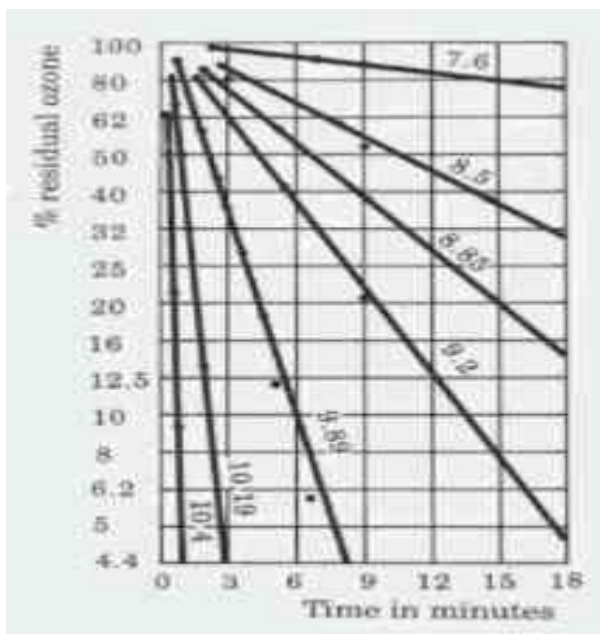


Figura 9. Efecto del pH en la descomposición del ozono ($T = 15\text{ }^\circ\text{C}$)

- c) Concentración de sólidos disueltos: El ozono disuelto puede reaccionar con una variedad de compuestos como, por ejemplo, compuestos orgánicos, virus, bacterias, etc. Esto da lugar a la descomposición del ozono. Tal y como se muestra en la Figura 9, el periodo de semidesintegración del ozono en agua destilada es mucho más corto que en agua potable.

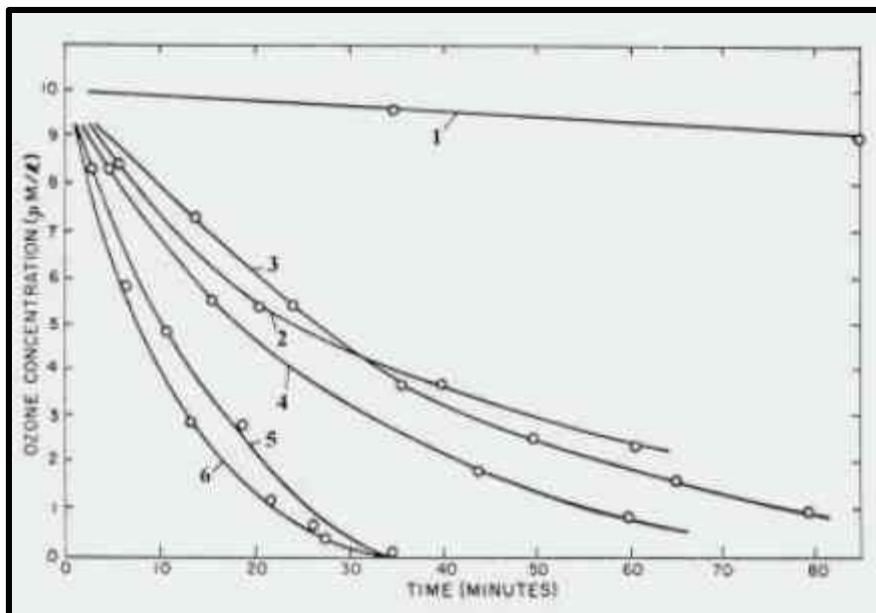


Figura 10. Descomposición del ozono en diferentes tipos de agua a 20 °C. 1 = agua doblemente destilada; 2 = agua destilada; 3 = agua potable; 4 = agua subterránea de baja dureza; 5 = agua filtrada del Lago Zurich (Suiza); 6 = agua filtrada del Bodensee (Suiza).

El ozono se descompone en el agua en radicales OH. Dependiendo de la naturaleza de los compuestos disueltos. El término “scavenging capacity” (capacidad de barrido) se utiliza a menudo para referirse a los radicales libres presentes en el proceso de ozonización del agua.

Los iones carbonato (CO_3^{2-}) son unos radicales libres mucho más fuertes que los iones bicarbonato (HCO_3^{2-}) (velocidad de reacción CO_3^{2-} : $k = 4,2 \cdot 10^8 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$

¹ y velocidad de reacción HCO_3^- : $k = 1.5 \cdot 10^7 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$). Es por esto que, para un proceso de producción de ozono en agua potable, la concentración de bicarbonato es menos importante [6]. La Figura 3 muestra la relación de la ratio de carbonato, ratio de bicarbonato y pH.

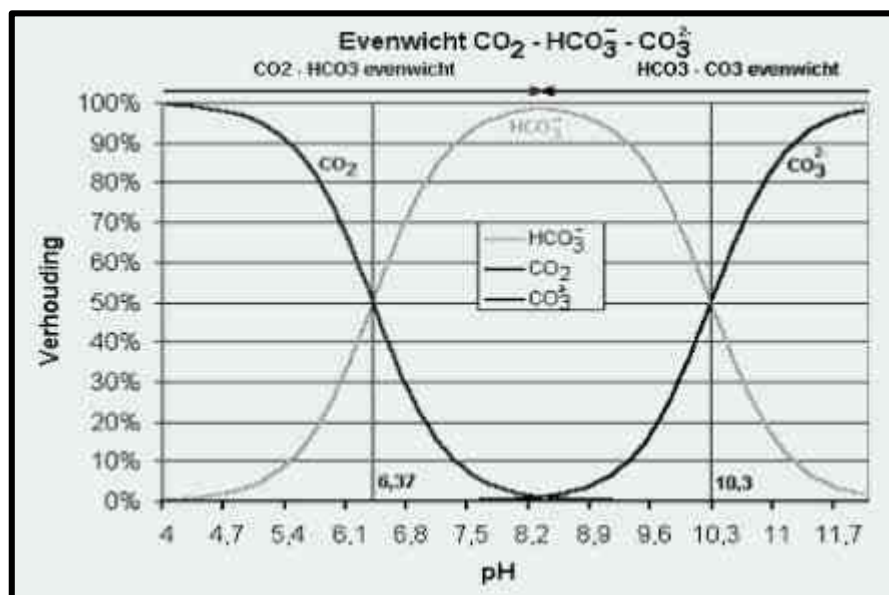


Figura 11. Equilibrio del carbonato, bicarbonato y dióxido de carbono.

- d) Materia Orgánica Natural: La Materia Orgánica Natural (MON) existe en cualquier tipo de agua natural y se mide normalmente como Carbono Orgánico Disuelto (COD). La MON reduce la calidad del agua con respecto al color y olor. El ozono puede emplearse en el tratamiento de agua para reducir la concentración de MON. Ésta puede variar entre 0,2-10 mg l^{-1} en aguas naturales [6]. La influencia de NOM en el ozono es doble. Depende del tipo de NOM, el ozono puede ser oxidado directamente por esta materia o los derivados de los sistemas de potabilización del agua con cloro. Es lo que ocurre en el caso de compuestos que reaccionan fácilmente con el ozono, como por ejemplo, compuestos con dobles enlaces, compuestos aromáticos activos, aminas desprotonadas, Trihalometanos

(THM) formados y sulfuros

Por otro lado, los radicales OH pueden reaccionar con la MON (reacciones indirectas) y actuar como promotores o radicales libres. En aguas naturales es difícil determinar la estabilidad del ozono debido al efecto indefinido del MON. Esto indica que no es posible estimar la fracción que acelera o ralentiza la reacción. (Fuente: Water treatment solutions. Lenntech. 2021).

2.3.1. El Ozono como biocida segura.

Por sus singulares características, el ozono cumpliría con gran parte de los ideales de una biocida como:

- a) Ser efectivo frente a un amplio rango de microorganismos.
- b) Tener un alto poder desinfectante, por lo que destruye los microorganismos del agua y del aire.
- c) Descomponerse fácilmente sin dejar sustancias peligrosas que puedan perjudicar la salud ni el medio.
- d) Actuar rápidamente y ser efectivo a bajas concentraciones en un amplio rango de pH.
- e) No causar deterioro de materiales.
- f) Tener un bajo coste, ser seguro y fácil de manejar y aplicar.
- g) Eliminación de contaminación química.
- h) Único sistema de desinfección en continuo.
- i) Mejora la salud de los usuarios de las instalaciones al permitir eliminar el exceso de cloro en el agua.

- j) Aumenta la satisfacción de los clientes al propiciar un ambiente limpio y libre de olores.

Único biocida cuyo empleo no está prohibido en presencia de personas y alimentos.

Este sistema puede, además, utilizarse tanto como tratamiento de choque como en pequeñas concentraciones de manera continua. Un tratamiento continuo asegura no sólo la ausencia de microorganismos patógenos: también elimina aquellos microorganismos que forman parte de la película biológica que se forma en los conductos de aire y agua, y que se presenta como un reservorio de patógenos a eliminar si se quiere prevenir una constante re-contaminación de las instalaciones.

2.3.2. Ventajas y utilidades.

Se deben considerar los siguientes aspectos sobre la biosida a utilizar:

- a) Amplia eficacia, cambios en la micro flora, potencial para la introducción de otros elementos peligrosos, potencial de peligrosidad para los usuarios y trabajadores, impacto sobre el medio ambiente y percepción por parte del consumidor del biocida.
- b) Además de las ventajas que a lo largo del presente trabajo se han expuesto, es importante indicar que el empleo del ozono O₃, resultar obligatorio a todo tipo de instituciones como, los Municipios, Centros educativos, Empresas y en los hogares el empleo de esta tecnología para protegernos de la pandemia que ahora nos aqueja COVID 19.
- c) El O₃ es el biocida ideal para ser utilizado dentro de un programa APPCC. Tanto en la descontaminación de agua como de conductos y pozos. Con un adecuado diseño del tratamiento se puede evitar el deterioro y contaminación de conductos por parte de microorganismos, así como proteger contra cualquier foco de infección tanto a

los usuarios como a los trabajadores de las instalaciones tratadas, lo que redundaría en una mayor seguridad de los usuarios.

- d) Efecto desinfectante del ozono O_3 . Se trata de una de las sustancias con un mayor poder desinfectante de las conocidas; se estima una potencia al menos 10 veces mayor que la popular desinfección con cloro y derivados, también con un efecto notablemente más rápido. Por tratarse de un gas inestable, no puede ser almacenado ni transportado como otros gases industriales, y debe ser generado in situ solo cuando es necesario.
- e) El ozono se degrada rápidamente –más rápido en agua que en aire– a su estado estable, el oxígeno diatómico (O_2), a la vez que genera átomos de oxígeno libres o radicales libres, los cuales son altamente reactivos y “atacarán” estructuras orgánicas (incluyendo microorganismos) e inorgánicas.

Entre sus mecanismos de acción biocida sobre microorganismos, destacan los siguientes:

- a) Destrucción directa por oxidación de la pared celular, con salida de los constituyentes celulares.



Figura 12. Efectos del ozono sobre bacterias

- b) Reacciones con radicales subproductos de la descomposición del ozono (formaldehído, radicales de bromato, etc.).
- c) Daño a las bases purínicas y pirimidínicas de los ácidos nucleicos.
- d) Rotura de enlaces carbono-nitrógeno conducentes a la despolimerización.

En la desinfección de aire y superficies, el ozono tiene la principal ventaja de su alta capacidad de penetración, pues, al tratarse de un gas, puede expandirse en un espacio cerrado y alcanzar zonas que no se alcanzarían con otras técnicas de desinfección (por ejemplo, las lámparas de radiación UV, que solo son eficaces sobre microorganismos presentes en el aire o zonas cercanas a la zona de emisión/aplicación). Además, de desintegra en oxígeno con una vida media de 20-60 minutos, por lo que no deja ningún residuo tóxico para los humanos ni contaminante para el medio ambiente.

2.3.3. Desventajas de la ozonización.

- a) Tiene requerimientos técnicos más complejos (que la cloración o la radiación UV).

- b) Es altamente reactivo y corrosivo también sobre materia inorgánica y, por ello, en la fabricación de ozonizadores se recomienda el uso de materiales como acero inoxidable.
- c) Su elevada toxicidad multiorgánica por vía inhalatoria obliga a evitar la exposición de personas.
- d) Coste relativamente alto en comparación con otras técnicas de desinfección.
- e) Puede ser explosivo a concentraciones altas ($> 240 \text{ g/m}^3$), haciendo necesario extremar las precauciones en el uso de los sistemas de generación.
- f) Incluso a concentraciones muy bajas, el ozono puede producir irritación de ojos, nariz y garganta, así como hipersensibilidad bronquial y respuesta inflamatoria en el tejido respiratorio.

Según el organismo consultado, los límites recomendados de exposición a ozono pueden diferir. La OMS considera que por debajo de un valor guía de 0,05 ppm (100 mcg/m^3) durante 8 horas, la protección de la salud es adecuada (Nótese que, en algunos estudios, el mayor poder desinfectante se ha descrito con concentraciones en el aire de 2,5-5 ppm mantenidas durante periodos de aproximadamente 30 min.); esa concentración y tiempo coinciden con el Valor.

Límite de Exposición Ambiental para la Exposición Diaria (VLA-ED) que establece el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), si bien éste también acepta menores concentraciones en menores tiempos de exposición ($0,2 \text{ ppm}$ o $400 \text{ (mcg)} \mu\text{g/m}^3$ en 2 h). La Agencia de Protección Ambiental estadounidense (EPA) considera, por su parte, un estándar medio horario de $0,125\text{-}0,164 \text{ ppm}$ ($250\text{-}320 \text{ mcg } \mu\text{g/m}^3$) para grupos de población vulnerable.

2.3.4. El ozono como desinfectante frente al coronavirus SARS-CoV-2.

Actualmente, sabemos que el SARS-CoV-2, COVID-19 se encuentra presente y se transmite fundamentalmente por contacto con las gotículas respiratorias que un paciente o infectado asintomático emite al hablar, toser o estornudar, y que por su tamaño no se suspenden mucho tiempo en el aire, depositándose sobre las superficies a entre 1 y 2 metros de distancia. Hay cierta controversia sobre la posibilidad de transmisión del virus a través de aerosoles (tamaño de partícula $5 \mu\text{m}$) y sobre el tiempo de viabilidad del virus en el entorno comunitario; algunos estudios apuntan a que puede persistir con capacidad infectiva en superficies de plástico o acero más allá de 72 h.

En base a ello, y a la consideración de que los coronavirus son sensibles a agentes oxidantes, en el contexto de pandemia actual se ha planteado que la desinfección con ozono de aire y superficies en espacios cerrados puede tener cierto papel en la lucha contra la COVID-19, por la reducción potencial de la carga viral ambiental y del riesgo de contagios. Sin embargo, aún no se ha evaluado específicamente su eficacia contra el nuevo coronavirus SARS-CoV-2, ni contra otra especie de coronavirus. Así lo reconoce en un comunicado la International Ozone Association, asociación que agrupa a las industrias del ozono, donde indica que, si bien el ozono es altamente efectivo para la inactivación de muchos virus, no se pueden sacar conclusiones respecto a la inactivación del SARS-CoV-2, COVID-19.

2.3.5. Desinfección con ozono de indumentarias hospitalarias contaminadas.

El efecto sobre los gérmenes viables del aire ozonizado en el control de la carga microbiana de las indumentarias contaminadas en la UCI del INEN es muy eficiente en

las concentraciones de 5 ppm de Ozono y tiempo de contacto de 15 minutos reportándose cero UFC/ml en cargas de gérmenes viables iniciales bajas.

¿Dónde usar el ozono contra el Covid-19?

- a) Ambientes cerrados sin presencia permanente de personas.
 - Túneles y cabinas de desinfección.
 - Vehículos y ómnibus.
 - Almacén de alimentos, indumentaria y medicamentos.
 - Todo tipo de espacio cerrado.
- b) Ambientes cerrados con presencia permanente de personas.
 - Hospitales.
 - Comisarias.
 - Centros Mineros.
 - Oficinas.
 - Hogares, Baños, Todo tipo de espacio cerrado.
- c) Tratamientos de choque focalizados.
 - Ropa Biocontaminada.
 - Indumentaria de protección personal.
 - Sistemas de aire acondicionado.
 - Embolsados de ozono en general (INKAOZONO. 2020 web).

2.3.6. Normas para desinfección.

La Agencia para la Protección Ambiental de EE.UU. (USEPA*) ha fijado los valores de CT (Concentración-Tiempo para la desinfección de agua al 99.9% de quistes de

Giardia lamblia, el más resistente al ataque de cualquier oxidante) y del 99.99% de virus, siendo el ozono el más poderosos desinfectante de uso práctico disponible.

Tabla 5.

Valores CT (md x min/L) para 99.9% de inactivación de giardia y 99.99% de virus.

	Cloro Libre (pH 6 a 7)	Cloramina (pH 8 a 9)	Dióxido de cloro (pH 6 a 7)	Ozono (pH6 a 7)
Giardia	122	2200	26.0	1.9
Virus	8	1988	33.4	1.2

Nota. Fuente: Carlos Albícker. El ozono y la Formación de Bromatos. (2013).

2.3.7. Descripción de la solución propuesta.

El empleo del ozono en la obtención del agua ozonizada, tendrá un impacto favorable, dada su eficiencia y potencialidades. El acelerado incremento de la aplicación de la ozonización en el tratamiento de aguas, junto a las consideraciones sobre los nuevos requerimientos de CT para el diseño de los sistemas de ozonización, el control adecuado de la formación de iones bromato, la desinfección de los TRIHALOMETANOS, y la posibilidad de evaluar el alcance real de su toxicidad, consideramos este sea el inicio de otras tesis que evalúen estas moléculas que dan lugar al proceso de sanitización por clorinación de las aguas potables del distrito de Huacho.

2.3.8. Ventajas y desventajas de la cloración frente a la ozonización.

2.3.8.1. Ventajas del proceso de cloración.

El poder desinfectante del cloro y derivados radica en su carácter oxidante fuerte.

- a) La desinfección es más eficiente a niveles de pH bajos

- b) Es más eficiente en términos económicos.
- c) El cloro residual que permanece en el efluente del agua residual puede prolongar el efecto de desinfección aún después del tratamiento inicial.
- d) Oxida fácilmente al hierro, sulfuros y manganeso.
- e) Reduce el olor, color y sabor del agua.
- f) Es muy efectivo como biocida.

2.3.8.2. Desventajas del proceso de cloración.

- a) Da lugar a la formación de subproductos halogenados.
- b) Trihalometanos (THM) Ácidos acéticos halogenados (AAH)
- c) Acetonitrilos halogenados (dicloroacetonitrilo) / MX (mutágeno X) / diclorocetaldehído / Clorofenoles.
- d) Algunas especies parasitas han mostrado resistencia a dosis bajas de cloro.
- e) El cloro es peligroso y corrosivo.
- f) Es menos efectivo a pH altos.

2.3.8.3. Ventajas del proceso de ozonización.

- a) Mayor poder oxidante. Elimina los microorganismos más eficazmente que el cloro.
- b) La ozonización en medio alcalino aumenta la velocidad de descomposición del ozono incrementando así la velocidad de formación de radicales libres. En medio ácido se favorece la vía molecular, se inhibe la descomposición del ozono.
- c) No produce TRIHALOMETANOS (en ausencia de bromo) y elimina los precursores de éstos.

- d) Requiere una concentración y un tiempo de contacto menor para la eliminación de bacterias y virus.
- e) Facilita la eliminación del hierro y manganeso y reduce en gran medida el olor, sabor y color del agua.

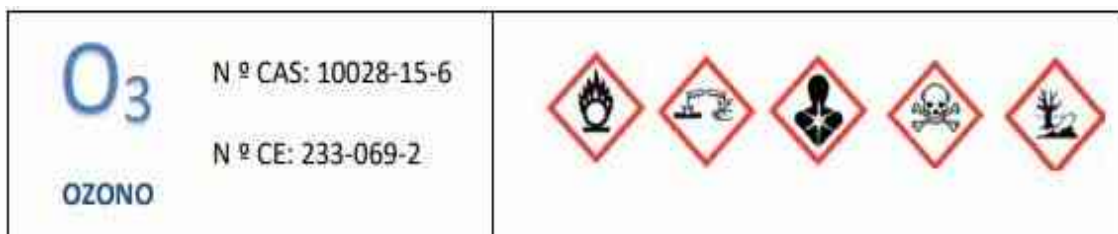


Figura 13. Datos identificativos del ozono y sus pictogramas.

2.3.8.4. Desventajas del proceso de ozonización.

- a) Mayor coste, tanto en equipos como en costes de operación.
- b) La generación de ozono requiere de una alta cantidad de energía y debe ser generado en el lugar donde se va a aplicar.
- c) Puede formar subproductos perjudiciales, entre los que destacan los bromatos y los aldehídos.
- d) Su principal limitación es su inestabilidad en el agua, su efectividad desaparece a los 30 minutos, por lo que no puede usarse como desinfectante residual en la red de distribución; sin embargo, si es efectivo como desinfectante primario en las plantas de tratamiento de agua.
- e) No mantiene una concentración residual persistente.
- f) Es irritante y posiblemente tóxico por lo que puede producir trastornos particularmente en los ojos y pulmones.

2.3.8.5. Límites permitidos de Ozono.

Son recomendados para áreas de trabajo los siguientes niveles máximos de ozono en el ambiente.

- a) 0.05 ppm trabajo pesado
- b) 0.08 ppm trabajo moderado
- c) 0.10 ppm trabajo ligero

Sin embargo, si el trabajo se desempeña en periodos menores a 2 horas (para trabajos pesado, moderado y ligero) se permiten concentraciones de hasta 0.2 ppm.

LÍMITES DE EXPOSICIÓN AL OZONO	
FDA (Food and Drug Administration)	Exige que la producción de ozono de los dispositivos médicos en interiores no supere las 0,05 ppm.
OSHA (Occupational Safety and Health Administration)	Requiere que los trabajadores no estén expuestos a una concentración promedio de más de 0,10 ppm durante 8 horas.
NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health)	Recomienda un límite superior de 0,10 ppm, que no debe excederse en ningún momento.
EPA (Environmental Protection Agency)	Establece una concentración máxima promedio de 8 horas al aire libre de 0,08 ppm.
OMS (Organización Mundial de la Salud)	Establece un límite de 0,10 mg/m ³ para una media máxima diaria de ocho horas.
INSST (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo)	Establece diferentes valores límite de exposición VLA-ED® en función del tipo de trabajo realizado o su duración:
	Trabajo PESADO: 0,05 ppm o 0,10 mg/m ³
	Trabajo MODERADO: 0,08 ppm o 0,16 mg/m ³
	Trabajo LIGERO: 0,10 ppm o 0,20 mg/m ³
	Trabajo PESADO, MODERADO O LIGERO ≤ 2 horas: 0,20 ppm o 0,40 mg/m ³

Figura 14. Límites de exposición al ozono establecidos o recomendados por diferentes organismos

2.4. Hipótesis de la investigación.

2.4.1. Hipótesis general.

La obtención de agua ozonizada [O₃] para su limpieza, desinfección, esterilización, sanitización y prevención contra el SARS-Cov-2 (Covid-19) a nivel piloto tendrá un impacto favorable en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica, que permitirá la solución del problema.

2.4.2. Hipótesis específica.

- a) ¿Cuál es el efecto del pH en la preparación del agua ozonizada a nivel piloto en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica?
- b) ¿Establecer el cambio de los TDS y C.E. en el tratamiento del agua ozonizada a nivel piloto en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica?
- c) ¿Precisar el cambio de la Dureza en la preparación del agua ozonizada a nivel piloto en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica?

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Diseño metodológico.

El diseño que se utilizado como fin principal la elaboración del agua ozonizada a una concentración eficiente de O₃ en el rango 2,3 a 5.5 ppm, se han determinado en un tiempo seleccionado entre 10, 20, 30 y 60 minutos.

3.1.1. Localización y selección de instrumentos.

El estudio se ha desarrollado con las muestras de agua que ingresa a la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica en los términos de sanitización, desinfección, oxidación de los Halometanos, precipitación de Hierro Manganeseo, con gas ozono, empleo de instrumentos, equipos y otros productos químicos para una evaluación objetiva de los parámetros seleccionados.

- a) Evaluación de los trabajos seleccionados.
- b) Fundamento de los métodos de desinfección química
- c) Cloro y derivados
- d) Ozono
- e) Presencia de subproductos en el proceso de desinfección y aspectos normativos
- f) Evaluación de la cloración frente a la ozonización

3.1.2. Tipo de Investigación.

El trabajo de investigación empleado es una investigación explicativa, nivel aplicativo cuasi experimental (tecnológico), proporciona conocimientos relevantes sobre la tecnología de ozonización, aplicada ya que la información empleada es de un proceso real y los resultados serán aplicado para solucionar un problema real. “Este tipo de

investigación está interesada en la aplicación de los conocimientos a la solución de un problema práctico inmediato” (Silvestre & Huamán, 2019, p. 76).

3.1.3. Nivel de Investigación.

Respecto al nivel de investigación para la preparación del agua ozonizada es una investigación explicativa, aplicada “esta investigación se realiza con el propósito de señalar las posibles relaciones causa efecto, sobre aquellos fenómenos o hechos que ya ocurrieron” (Silvestre & Huamán, 2019, p. 84).

3.1.4. Diseño de la Investigación a nivel Piloto.

Es un conjunto de pautas a seguir, en un estudio o experimento; es de carácter flexible, no de un recetario rígido (Sánchez – Reyes). El ozono es un oxidante potente que tiene muchos usos en el tratamiento del agua, incluida la oxidación de compuestos químicos orgánicos e inorgánicos. El ozono puede ser utilizado como un desinfectante primario. El gas de ozono (O₃) se forma haciendo pasar aire seco u oxígeno a través de un campo eléctrico de alta tensión. Se ha empleado un generador ozonizador temporizado, las soluciones ozonizadas se han evaluado mediante el kit de prueba de ozono HI38054, así como la evaluación del cloro residual, el comportamiento del agua ozonizada en función de la Dureza, TDS, pH, se dosificó directamente en el agua procedente de la E.P.S. Aguas de Lima Norte (SEDAPAL) que ingresa a la universidad, por medio de difusores porosos en los recipientes 2,5 litros y 7 litros con los difusores (deflectores). Los recipientes de contacto suelen tener 37 cm de profundidad y entre 10, 20, 30 y 60 minutos de tiempo de contacto. Debería poder disolverse al menos el 80% del ozono aplicado; el aire que sale del recipiente de prueba, que contiene el resto del ozono, pasa a través de un destructor de ozono y se ventila a la atmósfera a una altura de 4 metros. La eficacia de la

ozonización se basa en obtener la concentración deseada después de determinado tiempo de contacto. Para la oxidación de compuestos químicos orgánicos, como algunos plaguicidas oxidables, se usa generalmente un residual de aproximadamente 0.5 mg/l después de un tiempo de contacto de 20 minutos. Las dosis requeridas para lograrlo varían según el tipo de agua, pero suelen estar en el rango de 2 a 5.5 mg/l. Se necesitan dosis más altas para las aguas no tratadas, debido a la demanda de ozono de las sustancias orgánicas naturales. El ozono reacciona con las sustancias orgánicas naturales para aumentar su biodegradación, medida en términos de carbono orgánico asimilable. Para evitar el crecimiento bacteriano indeseable en la distribución, la ozonización se complementa normalmente con un tratamiento posterior, como la filtración biológica o el carbón activado granular (CAG), para eliminar compuestos orgánicos biodegradables, seguido de la aplicación de una concentración residual de cloro, ya que el ozono no produce un efecto desinfectante residual. El ozono es eficaz para degradar una amplia gama de plaguicidas y otras sustancias orgánicas.

Para lograrlo, se desarrollarán simulaciones de ozonización (dilución de O₃), teniendo en cuenta los parámetros de Dureza, pH, TDS. En conclusión, con la ejecución del proyecto investigación “Obtención de agua ozonizada a nivel Piloto en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica” se lograrán aumentar la calidad de vida de los integrantes afectados de la comunidad Universitaria, dando un suministro de agua ozonizada fiable y de calidad, al mismo tiempo de asegurar la protección de la salud, higienización de frutas, verduras y hortalizas, reducen drásticamente el contenido de patógenos y coliformes totales, Streptococcus metans, con la preparación del agua

ozonizada en concentración y tiempo (CT) [O3] a nivel piloto, tendrá indefectiblemente un impacto favorable en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica.

3.2. Población y Muestra

3.2.1. Población de la Investigación.

La población en estudio es la E.P.S. Aguas de Lima Norte (SEDAPAL) que ingresa a la universidad, así como se han tomado muestras correspondientes a cinco (5) zonas del distrito de Huacho, principalmente en lo relacionado a sus parámetros de Dureza, C.E., TDS, pH, Cloro residual en sitio.

3.2.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Análisis documentos: donde se revisan documentos informativos E.P.S. Aguas de Lima Norte (SEDAPAL), de la DIRESA y otros organismos, utilizados por las empresas que se dedican a distribuir agua potabilizada. Observación experimental y directa que registra las ocurrencias en el distrito de Huacho, verificar los experimentos, pruebas piloto, esquemas propuestos durante la formulación del agua ozonizada, que planteamos en el presente proyecto de investigación, debido a que se aplicará en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional José F. Sánchez Carrión de Huacho.

3.2.3. Descripción de los Instrumentos.

Los instrumentos a emplear en esta investigación son la lista de control, registros ya que las técnicas de recolección de la información es la técnica de observación y evaluación de los parámetros de control de Dureza, pH, TDS y C.E. en el mismo momento del proceso.

3.3. Operacionalización de Variables e Indicadores

Tabla 6.
Operacionalización de variables e indicadores.

Variable	Concepto	Dimensiones	Indicador
Dependiente			
Tiempo	Ozonización de la muestra de agua que ingresa a la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica de la UNJFSC.	Tiempo de ozonización con equipo generador de ozono RoHS.	Liberación de ozono
Independiente			
Concentración	Concentraciones óptima de la dosis de ozono [O ₃]	Medida de ozono [O ₃], con Test kit químico de Ozono HI:38054 (reactivo)	Variación de [O ₃] en ppm.
Interviniente		Condición del proceso	pH, Dureza, TDS, C.E. Temperatura.

3.4. Técnicas para el Procesamiento de la Información

En cuanto al Análisis se definirán las Técnicas Lógicas o Estadísticas, que se emplearán para descifrar lo que revelan los datos recolectados en función C y T, porcentajes, son numéricas por lo que para su procesamiento de la información se emplearán las técnicas estadísticas y el análisis descriptivo (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Análisis de los resultados.

El proceso de potabilización que efectúa EMAPA Huacho, consiste en inyectar cloro gaseoso por intermedio de una bomba Booster, para eliminar los agentes patógenos, asegurando la salud de los usuarios, el agua que ingresa a la universidad provenientes de los pozos tubulares 3 y 9, tiene un contenido 315 mg/L como CaCO_3 (junio 2021) que demuestra que el agua que consume la población de Huacho tiene una dureza dentro los rangos permisible, mejorando su tratamiento en comparación al año 2016 (380 -390 mg/L).

La desinfección con cloro convencional produce subproductos no deseados, por lo que se han desarrollado técnicas en base al uso del ozono que es un excelente desinfectante, que garantizan la inocuidad capaz de inactivar microorganismos patógenos del agua que ingresa a la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica.

La enorme ventaja del Ozono es que la base es Oxígeno, a lo que ninguna persona es alérgica, y es 3000 veces más potente y rápido en la desinfección del agua con el empleo de Cloro, que sí puede ser riesgoso en su uso y manejo, y dejar residuos tóxicos.

El Ozono, que es un gas, se puede esparcir en el ambiente por el mismo equipo para desinfectar el aire que respiramos, así como puede ser inyectado en agua para desinfectarla o para hacerla una solución desinfectante líquida.

A continuación, ampliaremos más la forma de uso y los beneficios de cada aplicación del Ozono ante esta Pandemia.

Dos estudios en Japón han revelado la alta efectividad del Ozono para inactivar el Coronavirus. Uno realizado en la Nara Medical University, donde se comprueba que el gas

ozono elimina al virus en 60 minutos a una concentración de entre 1 y 6 ppm, lo cual es apto para desinfectar espacios donde no haya personas o animales presentes.

Por otra parte, y más relevante aún, es el estudio hecho por el equipo del investigador, Takayuki Murata, de la Universidad de la Salud de Fujita, quien dio a conocer el pasado 26 de agosto del 2020 ante la agencia Reuters, que en concentraciones bajas de ozono, de 0.05 a 0.10 ppm, concentraciones aptas y saludables para el ser humano, el virus se destruye en más del 90% al cabo de 10 horas de contacto, lo que significa que si él se continúa teniendo ozono presente después de ese periodo de tiempo, entonces se tendrá un espacio continuamente desinfectado, no solo contra el SARS-Cov-2 (Covid-19), sino de muchos más microorganismos nocivos. Las concentraciones de ozono antes mencionadas son las aprobadas por FDA, EPA, OSHA, NIOSH y la NOM-127-SSA1.

¿Sabías que los equipos generadores de ozono producen desde 0.010 g/h. hasta 1000 g/h. de Ozono, y que un sólo rayo produce 200 kg de Ozono en un instante?

4.1.1. Análisis de Dureza.

La dureza del agua es una medición cuantitativa de los iones Calcio y Magnesio, también se sabe que otras especies de iones, como el hierro, zinc y manganeso contribuyen a la dureza del agua, se ha empleado el Kit HARDNESS BUFFER, HI3812. El nivel de dureza esta dado en mg/L (ppm) de carbonato de calcio, el indicador crea un complejo con los iones metálicos como calcio y magnesio para mezclar de color rojo como se aprecia en las fotos, luego se determina por una medición EDTA (Etileno-diamina-ácido tetracético) elimina los iones de metal mezclados con el indicador para formar una solución de color azul. Este cambio de rojo a azul es el punto final de la valoración.

- a) **Primero:** Mida 5 ml de agua a analizar y se ajusta esta solución a un pH a 10 con una solución Buffer.
- b) **Segundo:** Luego se añade el indicador 1 gota, la solución se torna rojo violeta, como se aprecia en la foto Nro.02. Mezcle suavemente.



Figura 15. Análisis de dureza – laboratorio.

- c) **Tercero:** Valorar con la solución EDTA (reactivo 3) gota a gota, utilizando una jeringa (micro bureta) se añade la solución valorante hasta conseguir la reacción final con cambio al color azul. Foto Nro. 3. cuadro Nr.05, 06.

Tabla 7.

Comparativo de Parámetros del Agua que ingresa a la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica con el agua destilada Patrón, Agua envasada San Luis y Agua Bells.

Muestra \ Parámetros	Patrón Agua destilada elaborado en Lima	Agua que ingresa a Domicilio	Agua de mesa San Luis	Agua envasada Bells	Agua tanque subterráneo de la Facultad
Temperatura °C	20.7	21.4	22.0	21.8	21.5
pH.	6,66	7,57	7,66	7,68	7,39
TDS, mg/L	022	948	034	389	1316
Dureza, mg/L	15	315	24	285	336
C.E. μ S					225
Cloro residual					3 ppm

Nota. Fuente elaboración propia.

4.1.2. Análisis del pH.

El pH del agua que se recibe en la facultad es en promedio 7,39. El efecto en el transcurso del tratamiento durante el proceso de ozonización del agua de la muestra se observa en el siguiente cuadro Nr.05, 06. Se observa una ligera tendencia hacia una alcalinidad, pH promedio de 8,08 (Agua alcalina),

Tabla 8.

Efectos y Cambios pH, TDS y Dureza en función del tiempo de ozonización del Agua que ingresa a la Facultad de Ingeniería Química Metalúrgica

Tiempo	20 minutos	40 minutos	60 minutos
Parámetro			
pH	7,95	8,05	8,24
TDS	996	954	956
Dureza: ppm	273	273	273
C.E. μ S	183	183	183

Nota. Fuente elaboración propia.

Se observa también que la dureza disminuye de 336 a 273 ppm, en el proceso de ozonización. Luego se deduce que tiene un efecto el proceso de la ozonización ha influido en la disminución de la dureza del agua que ingresa a la Facultad de Ingeniería Química.

4.1.3. TDS.

“Total de Sólidos Disueltos” Es una medida de la cantidad de material disuelto en el agua, expresa la calidad del agua. Este material puede incluir los siguientes: carbonato, bicarbonato, cloruro, sulfato, fosfato, nitrato, calcio, magnesio, sodio, iones orgánicos, y otros iones.

En el estudio llevado a cabo comparando con los valores de la OMS, se llegó a obtener el valor de TDS: 1316 mg/l. Clasificada como inaceptable, con lo cual demostramos que el agua que ingresa a la Facultad requiere de una vigilancia y un tratamiento posterior.

El TDS para la calidad regular según la clasificación por el OMS se clasifican:

- a) Menos de 300 (mg/l): Excelente
- b) Entre 300 – 600(mg/l): Bueno
- c) Entre 600 – 900(mg/l): Regular
- d) Entre 900 – 1,200(mg/l): Pobre
- e) Más de 1,200(mg/l): Inaceptable

En el cuadro Nro. 06 se indica la interpretación de los efectos y cambios en los parámetros del agua sin ozonizar y agua ozonizada, mostrando la interpretación de los resultados de los propósitos de resolución de la tesis planteada.

Tabla 9.

Interpretación de los Efectos y Cambios en los parámetros: pH, TDS, C.E. y Dureza en las muestras de agua sin ozonizar y del a gua ozonizada que ingresa a la Facultad de Ingeniería Química Metalúrgica

Parámetro	Sin Ozonizar	Ozonizado	Interpretación
T = 21 °C			
pH	7,39	8,10	Ligeramente alcalina
TDS ppm	1316	967	Disminuye
Dureza ppm	336	273	Disminuye
C.E.µS	225	183	Disminuye

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Instalación del equipo Generador de Mi Ozono

Al colocar un equipo generador de Mi ozono en un área, el Ozono tiene interacción con los gérmenes logrando inactivarlos en poco tiempo, como se mencionó anteriormente. El espacio puede ser pequeño, como una Oficina, Aula, Laboratorio, hasta un espacio muy grande como puede ser el Pabellón de la Facultad, un Hospital completo o un Aeropuerto.

Para lograr una alta desinfección y esterilización de la Facultad de Ingeniería Química, solamente con gas ozono, como en algunos quirófanos, se requieren concentraciones de gas [O₃] por encima de las 20 ppm, por lo que ninguna persona debe estar presente en dicho lugar. La metodología con ozono gas es muy útil para tener un ambiente controlado de forma continua bacteriológico, bacteriostático y microbiológicamente.



Figura 16. Generador de Ozono – laboratorio.

Un sistema de ozonización del agua comprende fundamentalmente de un equipo ozonizador en contacto con el agua (contactor) que consta de un difusor de burbuja acondicionados en bidones de 7 litros con agua que ingresa a la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica de la Universidad Nacional José F. Sánchez Carrión, el ozono residual liberado o desprendido se ha

acondicionado en la parte superior para su expulsión al medio ambiente, donde se convierte en oxígeno molecular (Figura 16)

Al ser el ozono un oxidante fuerte, puede producir trastornos en los tejidos humanos y particularmente en los ojos y pulmones. Hay establecidos unos límites para los ambientes de trabajo que se exponen a continuación.

Tabla 10.

Soluciones de agua ozonizada: Límites para ambientes de trabajo y desinfección de frutas, verduras, lavado de vajillas, lavado bucal, lavado de manos, superficies, limpieza con sistemas de aspersión de oficinas y aulas de estudio la concentración óptima

Límites de concentración.	Tiempo de ozonización
0.001ppm [O ₃]	Por 4 minutos: Agua de acuarios y piscinas, recirculación reduce el cloro residual.
0,01 a 0,05 ppm [O ₃]	Por 30 segundos de iniciado la ozonización. Olor detectable, identificación cualitativa
0,5 y 0,8 ppm. Concentración [O ₃] suficiente (mínima) para conseguir una calidad de agua excepcional y desinfectante.	Por 3 a 4 minutos
1 ppm [O ₃]	Por 8 minutos
2,3 ppm y 3 ppm. Concentración [O ₃] óptima para uso de ambientes de trabajo y desinfección de frutas, verduras, lavado de vajillas, lavado bucal, lavado de manos, superficies, limpieza con sistemas de aspersión de oficinas y aulas	Por 10 y 20 minutos: Concentración óptima para ambientes de trabajo y desinfección de frutas, verduras, lavado de vajillas, lavado bucal, lavado de manos, superficies, limpieza con

desinfección en la Facultad Ingeniería Química y Metalúrgica.	sistemas de aspersión de oficinas y aulas
4,0 ppm [O ₃]	Por 40 minutos
5,5 ppm [O ₃]	Por 60 minutos

Nota. Fuente: Elaboración propia.

4.3. Características destacadas generador mi ozono, empleado

- a) Es perfectamente adecuado para su uso en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica, así como para uso familiar. Dese un estilo de vida saludable y sentir las propiedades de limpieza, desinfección, esterilización, sanitización y prevención contra el SARS Cov-2. (Covid-19) con el uso de soluciones ozonizadas. Este generador de ozono es 600 mg de ozono por hora y ha sido desarrollado para diversas aplicaciones en el hogar o en la oficina.
- b) El ozonizador viene con todo lo necesario para eliminar los olores, destruir las bacterias y hongos, incluso para purificación de agua potable. Funciona de forma natural, sin productos químicos, cuenta con una pantalla LED 3, muy fácil de usar la potencia deseada configuración y ahorro energético, dispositivos sólo de 12 vatios de electricidad y tiene una larga vida.

Ozonización del agua que ingresa a la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Partiendo del aire, se suministra al ozonizador Mi Ozono, se genera una mezcla de aire ozonizado, se conduce hasta el recipiente de contacto donde se encuentra el agua de ensayo a tratar a través de un difusor poroso, con objeto de que las burbujas de gas se mezclen con el agua sean muy finas.

Después del tiempo de ozonización entre 10 y 20 minutos se obtiene la concentración de ozono de entre 2,3 ppm y 3 ppm como la concentración óptima para fines de pospotabilización,

limpieza, desinfección, esterilización y prevención frente al SARS-COV 2 y sanitización en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica.

4.4. Análisis de concentración de ozono

El ozono es un agente oxidante y un germicida. Se utiliza para oxidar la materia orgánica, el descenso de la formación potencial de los trihalometanos (THMFP)), aunque hay que señalar que en ciertos casos en aguas con elevados contenidos de ion bromuro, la ozonización de estas aguas favorece la formación de trihalometanos bromados como resultado de la oxidación del ion $[\text{Br}^+]$ - para formar BrOH . El ozono es 12,5 veces más soluble en agua que el oxígeno.



Figura 17. Análisis de concentración de ozono

La solubilidad del ozono en agua depende de la temperatura, humedad relativa, empleo de aire seco u oxígeno puro, de ésta y de la concentración de ozono en la fase gaseosa. En la tabla 11, reflejan datos de solubilidad.

Tabla 11 .

Solubilidad del ozono a diferentes temperaturas.

Concentración	5 °C	10°C	15°C	20 °C
[O ₃]				
1,5 %	11,10	9,75	8,40	6,43
2 %	14,80	13,00	11,20	8,57
3 %	22,18	19,50	16,80	12,86

Nota. Fuente. Publicado por www.retema.es Septiembre/octubre 2017.

El ozono es muy inestable, motivo este que obliga a generar insitu, en el lugar de ozonización del agua, se descompone rápidamente vida media del ozono O₃ es de 2 a 3 días volviendo a originar oxígeno diatómico.

Tabla 12 .

Propiedades físicas del Ozono.

Peso molecular	48
Temperatura de condensación	-112°C
Temperatura de fusión	-192,5°C
Densidad	1,32
Vida media O ₃ en el agua*	30 minutos
Vida media O ₃ en el aire	20 minutos
Densidad (líquida: a -182°C)	1,572 g/mol
Peso de un litro de gas (a 0° y 1 atm)	1,114 g

Nota. Fuente: Laphan (2011). Publicado por www.retema.es Septiembre/octubre

2017. (*Proyectos ambientales PHOENIX C.A.)

La mitad de la vida del ozono en el aire es de unos 20 minutos, en el agua es muy variable, dependiendo de diversos factores (temperatura, pH, sustancias presentes en el agua, etc.), puede variar de 1 minuto hasta 300 minutos. A igualdad de condiciones es más estable en el agua, que en el aire. Es 1,3 veces más denso que el aire.

La determinación del ozono residual en el agua se realizó según el método espectrofotométrico OZONE TEST KIT HI38054, HANNA instruments con el reactivo yoduro de potasio, en este sentido se pudo obtener la concentración de ozono en las muestras de agua del tanque subterráneo de la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión de Huacho, se ha determinado una concentración de ozono $[O_3]$ residual en un rango 0,44 mg/L y 0,5 mg/L después de un tiempo de contacto de 20 minutos, esto significa que el agua ha consumido ozono O_3 . Notándose una mejora en sus propiedades organolépticas, de mejor sabor, mejor olor, se nota una frescura del agua después de la ozonización, probablemente requieren más estudios que pueden ser abordados por otros tesisistas en este tema que tiene transcendencia única por la pandemia que vive el momento nuestra sociedad.



Figura 18. Determinación de ozono residual.

Las dosis requeridas para asegurar una sanidad varían según el tipo de agua, pero suele estar en el rango de 2 a 5 mg/L. Se necesitan dosis más altas para aguas no tratadas, debido a la demanda de ozono [O₃] frente a las posibles sustancias de origen natural, derivados del empleo del cloro, de conservación y mantenimiento del tanque de recepción, mantenimiento interno de las tuberías, llaves, conexiones internas, limpieza, desinfección, esterilización, sanitización y prevención contra el SARS Cov-2. (Covid-19).

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Discusión de resultados

1. Según el objetivo es establecer la evaluación de la concentración de $[O_3]$ en el agua ozonizada para la limpieza, desinfección, esterilización, sanitización, la prevención contra el COVID 19, la desinfección con cloro convencional produce subproductos no deseados como los Triahalometanos (THM), ácidos halo acéticos y clorito, compuestos que requieren seguimiento y mitigación, estas plantean preguntas de ¿si el remedio es peor que la contaminación?, puesto que estos compuestos pueden ocasionar enfermedades gastrointestinales y hasta el cáncer estomacal, a nivel piloto en la Facultad de Ingeniería Química de la UNFSC que permita la solución de problema.
2. En las últimas décadas, se ha preferido emplear el gas ozono en el tratamiento de aguas, en este sentido, se ha diseñado una estrategia para inactivar patógenos emergentes y resistentes (Malley 2005).
3. Los nuevos reglamentos a nivel mundial para la calidad del agua potable, en particular la preocupación por los subproductos de la desinfección como los trihalometanos, hacen que el uso del cloro ya no sea una opción. Debido al gran poder oxidante del ozono y la disminución en la formación de subproductos con el empleo de ozonizadores del agua.
4. La aplicación de una dosis de 2, a 3 ppm de $[O_3]$ empleada, mejora las propiedades fisicoquímicas, propiedades organolépticas como se puede apreciar la sensación de frescura al momento de oler y sentir el gusto (sabor), esto refleja los cambios en los parámetros que se muestran en las tablas Nro. 04 y tabla Nro. 05. La aplicación de ozono generará mejoras incuantificables en cuanto a la calidad de consumo de los usuarios, aspecto que establece la

indiscutible necesidad de que en la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia se instalen ozonizadores.

5.2. Conclusiones

1. Se obtuvo agua ozonizada para limpieza, desinfección, esterilización, sanitización y prevención contra el SARS Cov-2. (Covid-19). a nivel piloto en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica.
2. Se determinó la concentración $[O_3]$ óptima de ozono en el rango comprendido entre 2,3 ppm y 3 ppm para limpieza, desinfección, esterilización, sanitización y prevención contra el SARS Cov-2. (Covid-19). a nivel piloto en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica. Cuadro Nro. 07
3. Es bien conocido el uso del ozono para el tratamiento de aguas. Actualmente nos servimos de ese conocimiento, tanto para el tratamiento de todo tipo de aguas, como para tratar ambientes e incluso directamente sobre el organismo humano con fines terapéuticos. Una de las ventajas más importantes del ozono con respecto a otros bactericidas es que este efecto se pone de manifiesto a bajas concentraciones (0.01 ppm o menos, a 30 segundos de iniciado la ozonización con los difusores de burbujas o mediante inyectores del tipo Venturi en agua), así como también muestran gran eficacia en los procesos de oxidación avanzada AOP y durante periodos de exposición muy cortos.
4. A mayor tiempo de contacto de ozonización con el gas ozono O_3 producido por el generador Mi Ozono, se obtiene mayor grado de desinfección, así como a mayor tiempo de contacto mejor poder de esterilización.

5. Campos en donde se utiliza el ozono usando el efecto:
 - Tratamientos ambientales (agricultura), higienización y desodorización.
 - Eliminación de olores, mohos, gérmenes, virus, y bacterias.
 - Tratamiento de aguas y piscinas.
 - Síndrome de edificio enfermo
6. Aplicaciones en la técnica de la ventilación y oxigenación (Vida media del gas O₃ descontaminación atmosférica-aire):
 - Aplicaciones en granjas, cuadras, cría de animales y aves:
 - Aplicaciones en la medicina (Ozonoterapia).
 - Aplicaciones en la conservación de alimentos:
 - El ozono destruye estos agentes dañinos, garantizando una asepsia total del producto.
 - El ozono destruye estos agentes dañinos, garantizando una asepsia total del producto.
 - El ozono destruye estos agentes dañinos, garantizando una asepsia total del producto.
7. El generador de ozono fue efectivo en la producción continua de las dosis de ozono requeridas en los experimentos de ozonización del agua realizados en el marco del proyecto.
8. Se observó que el generador de ozono fue efectivo en la producción continua de las dosis de ozono requeridas en los experimentos de ozonización del agua realizados en el marco del proyecto. Sin embargo, se considera conveniente optimizar el diseño del generador, para lo cual será necesario realizar nuevas evaluaciones.
9. Concentraciones de entre 0.5 y 0.8 mg/l de ozono durante unos tres o cuatro minutos son suficientes para conseguir una calidad de agua excepcional y desinfectada. Cuadro Nro. 04 y 06.

10. Las concentraciones de agua ozonizada se obtuvieron haciendo uso de un equipo ozonizador capaz de producir 3.4232 ppm de O₃ en un tiempo de 15 min.
11. Para la cuantificación de O₃ se usó el método yodo métrico, seguidamente se procedió a preparar agua ozonizada a concentraciones más diluidas, aplicando la ecuación de dilución.

5.3. Recomendaciones.

1. En la actualidad las condiciones poco favorables en las que se puede encontrar el agua en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica, puede limitar el consumo del líquido por parte de los Docentes, Estudiantes y Trabajadores y la comunidad, nos obliga recomendar la adquisición de un equipo ozonizador, cuyas características serán el resultado de un estudio definitivo con una investigación similar: El mantenimiento y modificación del tanque subterráneo, desde donde se bombea a los tanques Roto Plas que se encuentran en el tercer piso, desde donde se inicia la distribución a los Laboratorios, servicios higiénicos y para consumo en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica.
2. Se recomienda instalar un generador de ozono en el tanque de recepción.
3. Para ello sugerir el desarrollo de un proyecto de investigación de implementación (antes del inicio de las clases presenciales), en la que se calculen la altura de ozonificación, el volumen, la dureza, pH, TDS, MON, HALOMETANOS, Cálculo de cloro residual del agua a ozonizar.
4. Los tanques de depósitos de agua potable deberán hacerse pruebas microbiológicas semanales para su control microbiológico, para lo cual se recomienda la compra de los insumos para las evaluaciones microbiológicas.
5. Se deberán hacer el análisis diario de cloro libre residual en los depósitos de agua potable.

6. Es importante un buen lavado y desinfectado con el agua ozonizada en los bidones retornables ya que podría contaminar el agua tratada durante su almacenamiento.
7. Se deben contar con un tanque de contacto que genere turbulencia para que el ozono se combine en su totalidad con el agua tratada.
8. Se debe diseñar un sistema de tratamiento de aguas que el ozono y tiempo debido que puede oxidar la MON, Trihalometanos (THM), ácidos halo acéticos y clorito, compuestos que requieren seguimiento y mitigación.
9. Se recomienda el uso de agua ozonizada con una concentración [O₃] óptima de ozono en el rango comprendido entre 2,3 ppm y 3 ppm para limpieza, desinfección, esterilización, sanitización y prevención contra el SARS Cov-2. (Covid-19) a nivel piloto en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica.
10. En el cuadro 7 se muestra la combinación ideal, la cual mantiene a los microorganismos heterotróficos en 0.0 UFC/ml. PROWATER (2016) ya que el empleo de la misma es capaz de causar trastornos en la salud de quien la ingiere
11. Para la cuantificación de O₃ se usó el método yodo métrico. De manera simultánea se recogieron datos de los parámetros Cuadro Nro. 04, que consignan la respuesta al problema planteado.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS

6.1. Referencias documentadas

- Domínguez, T. (2017). *Desarrollo de métodos de análisis y control de subproductos de desinfección en aguas de abastecimiento público* (tesis de pregrado). Universidad de Huelva, Huelva, España.
- Merma, A., & Vara, K. (2015). *Simulación de un proceso de desinfección eficiente de agua a potabilizar, mediante ozono, respetando el medio ambiente* (tesis de pregrado). Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
- Galvis, A., & Aponte, A. (2005). *Evaluación del funcionamiento de un Generador de Ozono a escala piloto en la desinfección de agua para consumo humano* (tesis de pregrado). Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- Gonzales, C. (2014). *Diseño e implementación de un sistema antiséptico aplicado a la desinfección de habitaciones en hospitales mediante el uso del ozono* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica, Lima, Perú.
- Jácome, E. (2010). *Uso de iones de plata y ozono en el tratamiento de agua para consumo humano* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador.
- Pacheco, E. (2015). *Método alternativo de desinfección del agua cruda con ozono en el sitio la chilca, cantón santa rosa, provincia de el oro* (tesis de pregrado). Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador.
- Cáceres, J. (2018). *Uso de iones de plata y ozono en el tratamiento de agua para consumo humano* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Navarro, J. (2017). *Diseño de reactores de burbujeo para el tratamiento de aguas residuales mediante ozono* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

6.2. Referencias electrónicas

Casero, D. (2007). *Potabilización del agua*. Recuperado de <https://www.eoi.es/es/>

Rodríguez, G. & Ramos, C. (2001). *Influencia del Agua ozonizada en panificación*. Recuperado de <https://1library.co/>

Salas, N. & Pinto, R. (2018). *Acción Terapéutica de aceites y agua ozonizada*. Recuperado de <https://1library.co/>

Bataller, L. (Marzo de 2002). *Aplicación del ozono en el tratamiento de agua en embotelladoras de agua en Cuba*. Centro de investigaciones del ozono, Habana Cuba. Asociación Internacional de ozono. Conferencia Regional, México.

Instituto de Evaluación de Tecnologías en Salud e Investigación. (2021). *Seguro social de salud - Es salud instituto de evaluación de tecnologías en salud e investigación. Túneles de desinfección peatonal pulverizadores de ozono y otros desinfectantes para disminuir la propagación del sars-cov-2. 2020* (21). Recuperado de <http://www.essalud.gob.pe/>

ANEXOS

ANEXO 01: Purificador de ozono

Afortunadamente, mientras que el ozono es una cosa terrible para respirar, no es ni la mitad de peligroso si se pone en agua. Se utiliza comúnmente para el tratamiento de aguas municipales y se embotella para eliminar bacterias. Por supuesto, incluso el mejor purificador de agua de ozono tiene sus limitaciones. Al igual que cualquier otro sistema de filtración. Pero de ninguna manera es una estafa - sólo otro método de purificación de agua.



¿Cómo funciona el purificador de agua de ozono? La tecnología utilizada para introducir ozono al agua es trivial. La energía eléctrica se utiliza para forzar partículas de oxígeno en el estándar de ozono que después se disuelve en el agua. Dado que el ozono es 3000 veces más rápido que el cloro para reaccionar (que a menudo se utiliza en lugar del cloro en purificadores de agua municipales), es mucho más eficaz para matar las bacterias que su predecesor.

El purificador de agua de ozono requiere poco además de una fuente de electricidad y agua, es relativamente fácil de instalar y mantener. No hay filtros que tienen que cambiar de vez en cuando y el número de piezas en movimiento se reduce al mínimo.

ANEXO 02: Matriz de consistencia

Título: OBTENCIÓN DE AGUA OZONIZADA A NIVEL PILOTO EN LA FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA Y METALÚRGICA.

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Metodología
Problema principal	Objetivo general	Hipótesis general	Variable 1. Tiempo Dimensiones V1 Identificación de parámetros. Variable 2. Dimensiones VD Concentración [O ₃] en agua ozonizada	Dimensiones V1 Identificación de parámetros. Concentración [O ₃] Volumen Tiempo Kg. Secuencia lógica del sistema	Enfoque. Cualitativo y cuantitativo Tipo de Investigación Investigación aplicada (Tecnológico) Nivel de investigación: Explicativa Diseño: No experimental
¿Determinar la concentración de O ₃ en la obtención del agua ozonizada para su limpieza, desinfección, esterilización, sanitización y prevención contra el SARS Cov-2 (Covid 19) a nivel piloto en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica?	Evaluar la concentración de O ₃ en el agua ozonizada para su limpieza, desinfección, esterilización y prevención contra el SARS Cov-2 (Covid 19) a nivel piloto en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica.	La obtención de agua ozonizada [O ₃] para limpieza, desinfección, esterilización, sanitización y prevención contra el SARS Cov-2 (Covid 19) a nivel piloto tendrá un impacto favorable en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica, que permitirá la solución del problema.			
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas			
¿Cuál es el efecto del pH con la ozonización? ¿Establecer el cambio de la TDS y C.E.? con la ozonización? ¿Precisar el cambio de la Dureza o no con la ozonización?	Determinar el efecto del pH. Establecer el cambio de la TDS y C.E. Comprobar el cambio de la Dureza en la obtención del agua ozonizada.	¿Cuál es el efecto del pH en la preparación del agua ozonizada? ¿Establecer el cambio de la TDS y C.E.? ¿Precisar el cambio o no de la Dureza? Que permitirá diseñar un sistema de ozonización a nivel piloto en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica.			
¿El ozono es más potente y de más rápida acción como desinfectante que el cloro, el dióxido de cloro y las cloraminas?	El ozono actúa de forma muy eficaz en la eliminación de numerosas sustancias que dan olor y sabor al agua, a este respecto estas sustancias se pueden englobar en varios grupos:	Compuestos inorgánicos originan sabor como el hierro, manganeso, cobre y cinc y compuestos inorgánicos que dan olor como gas sulfhídrico SH ₂ Compuestos orgánicos, subproductos de la formación de los Halometanos, aldehídos aromáticos, provocan olor y sabor			

