

Eficiencia del Tratamiento por Ozonización de Aguas Residuales Municipales en Otuzco: Un Estudio para el Reúso Sostenible

Carlos Moya Egoavil

Universidad Católica de Trujillo
<https://orcid.org/0000-0002-8072-2796>

Jimmy Olivares Bazán

Universidad Católica de Trujillo
<https://orcid.org/0000-0002-9891-7153>

DOI: <https://doi.org/10.46363/high-tech.v4i2.2>

Resumen

El presente estudio evalúa la eficiencia del tratamiento por ozonización en la reducción de la contaminación de aguas residuales de alcantarillado municipal en la provincia de Otuzco, región La Libertad, Perú, durante el año 2024. Se analizaron las características físicas y químicas del agua residual antes y después del tratamiento con ozono durante 10 minutos, incluyendo pH, sólidos disueltos totales (TDS), conductividad y potencial de oxidación-reducción (ORP). Se utilizaron muestras de agua residual provenientes del alcantarillado municipal de Otuzco, se compararon los resultados antes y después del tratamiento para evaluar la eficiencia del proceso de ozonización. Como resultado del

tratamiento por ozonización durante 10 minutos redujo la contaminación del agua residual en un 24%. Se observó una disminución significativa en los parámetros físicos y químicos. Los resultados del presente estudio coinciden con investigaciones previas que han demostrado la efectividad del tratamiento por ozonización en la reducción de la contaminación del agua residual. Este tratamiento puede ser utilizado para mejorar la calidad del agua y el empleo para actividades antropogénicas como el riego y procesos industriales. Se recomienda extender la investigación para evaluar el efecto de diferentes tiempos de exposición al ozono en la mejora de la calidad del agua residual.

Palabras clave: Ozonificación, residual, alcantarillado

Abstract

The present study evaluates the efficiency of ozonation treatment in reducing pollution of municipal sewage wastewater in the province of Otuzco, La Libertad region, Peru, during the year 2024. The physical and chemical characteristics of the wastewater were analyzed before and after ozone treatment for 10 minutes, including pH, total dissolved solids (TDS), conductivity and oxidation-reduction potential (ORP). Wastewater samples from the Otuzco municipal sewer were used, the results before and after treatment were compared to evaluate the efficiency of the ozonation process. As a result of the ozonation treatment for 10

minutes, wastewater contamination was reduced by 24%. A significant decrease in physical and chemical parameters will be observed. The results of the present study coincide with previous research that has demonstrated the effectiveness of ozonation treatment in reducing wastewater pollution. This treatment can be used to improve water quality and use for anthropogenic activities such as irrigation and industrial processes. It is recommended to expand research to evaluate the effect of different ozone exposure times on improving wastewater quality.

Keywords: Ozonation, residual, sewage

1. Introducción

El tratamiento y disposición de las aguas residuales domésticas representa un desafío ambiental y sanitario de gran importancia en todo el mundo (UNESCO, 2017). En países en vías de desarrollo, como Perú, la deficiente infraestructura de saneamiento y tratamiento de aguas residuales genera un impacto negativo en la calidad del agua y el medio ambiente, poniendo en riesgo la salud pública y los ecosistemas (Ministerio del Ambiente, 2020).

En la provincia de Otuzco, región La Libertad, Perú, la situación no es diferente. La falta de un tratamiento adecuado de las aguas residuales provenientes del alcantarillado municipal genera una serie de problemas ambientales y sanitarios. Estas aguas, cargadas de contaminantes orgánicos e inorgánicos, son vertidas directamente a los cursos de agua, contaminando el medio ambiente y afectando la salud de las poblaciones aledañas (Municipalidad Provincial de Otuzco, 2023).

El tratamiento de las aguas residuales es fundamental para proteger la salud pública y el medio ambiente. Las aguas residuales sin tratar contienen una gran cantidad de contaminantes que pueden causar enfermedades como diarrea, disentería, hepatitis A y cólera (OMS, 2023). Además, la contaminación del agua por aguas residuales puede afectar negativamente la vida acuática y los ecosistemas (UNEP, 2021).

La ozonización es una tecnología de tratamiento de aguas residuales que ha ganado popularidad en los últimos años debido a su efectividad en la eliminación de contaminantes orgánicos e inorgánicos (Bablon et

al., 2019). El ozono (O₃) es un gas con un alto poder oxidativo que puede descomponer una amplia gama de contaminantes, como compuestos orgánicos volátiles (COV), pesticidas, metales pesados y nutrientes (Gerrardo-Romero et al., 2020).

El estudio de investigación tuvo como objetivo principal evaluar la eficiencia del tratamiento por ozonización para la reducción de la contaminación de aguas residuales de alcantarillado municipal en la provincia de Otuzco, región La Libertad, Perú. Del mismo modo -se evaluó la eficiencia del tratamiento por ozonización en la reducción de la contaminación del agua residual.

El incremento de la población y el crecimiento industrial han generado una creciente producción de aguas residuales, las cuales contienen una variedad de contaminantes que pueden afectar gravemente la salud humana y los ecosistemas si no son tratadas adecuadamente (Peavy et al., 2013). Las aguas residuales municipales contienen una mezcla compleja de materia orgánica, nutrientes, metales pesados, y microorganismos patógenos, lo que las convierte en una fuente significativa de contaminación del medio ambiente cuando son descargadas sin el tratamiento adecuado (Metcalf & Eddy, 2014). En la provincia de Otuzco, región La Libertad, Perú, el manejo y tratamiento de las aguas residuales se ha convertido en un desafío urgente debido a la necesidad de proteger los recursos hídricos locales y promover el desarrollo sostenible.

Entre las diversas tecnologías disponibles para el tratamiento de aguas residuales, la ozonización ha demostrado ser una alternativa eficiente y sostenible para la reducción

de contaminantes (von Gunten, 2003). Este proceso utiliza ozono (O_3), un agente oxidante altamente reactivo, para descomponer los contaminantes presentes en el agua residual, mejorando significativamente su calidad. Diversos estudios han demostrado la efectividad de la ozonización en la reducción de compuestos orgánicos e inorgánicos, así como en la eliminación de microorganismos patógenos y metales pesados (Gomes et al., 2020). Además, el tratamiento con ozono es particularmente atractivo porque no deja residuos tóxicos, ya que el ozono se descompone en oxígeno (O_2) tras el proceso de oxidación (Sotelo et al., 2019).

El presente estudio se centra en la evaluación de la eficiencia del tratamiento por ozonización en la reducción de la contaminación de

aguas residuales de alcantarillado municipal en la provincia de Otuzco, región La Libertad, Perú. Se realizaron análisis de parámetros físicos y químicos, incluyendo el pH, los sólidos disueltos totales (TDS), la conductividad y el potencial de oxidación-reducción (ORP), antes y después del tratamiento con ozono. Este estudio tiene como objetivo principal determinar la viabilidad del uso del ozono como tratamiento para mejorar la calidad del agua residual, posibilitando su reutilización en actividades antropogénicas como el riego agrícola y procesos industriales. Asimismo, se espera que los resultados contribuyan al desarrollo de soluciones sostenibles para el manejo de aguas residuales en regiones rurales del país, donde los recursos hídricos son limitados.

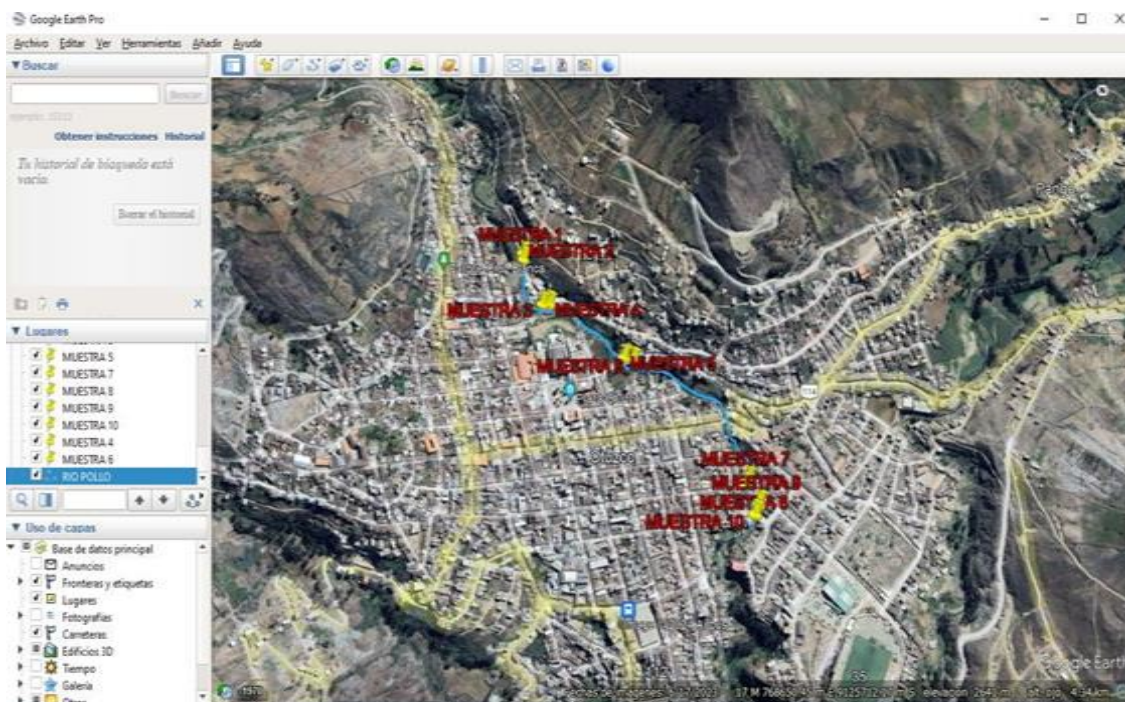


Fig. 01: Distribución de las 10 muestras alrededor de la red de efluentes municipales. Fuente: Google Earth.

2. Materiales y métodos

Las muestras de aguas residuales fueron recolectadas del sistema de alcantarillado municipal de la ciudad de Otuzco, región La Libertad, Perú. Este sistema recibe descargas tanto domésticas como comerciales. Las muestras fueron tomadas en puntos específicos de la red de alcantarillado que representan el flujo típico de agua residual municipal. El lugar de muestreo: Alcantarillado principal de la provincia de Otuzco. Cuyo número de muestras: Se recolectaron un total de 20 muestras de agua residual en frascos estériles de vidrio de 1 litro, sellados para evitar la contaminación externa. Se tomaron muestras cada semana durante un período de 2 meses, en horas de mayor flujo (9:00 - 11:00 a.m.).

Las muestras fueron conservadas en hielo a 4°C y transportadas al laboratorio para su análisis en un plazo de 24 horas. Como segunda fase se realizó una caracterización física y química del agua residual antes y después del tratamiento con ozono. Los parámetros medidos incluyeron:

El pH; se midió utilizando un potenciómetro calibrado con soluciones buffer.

Sólidos disueltos totales (TDS), fueron determinados mediante un medidor de TDS basado en la conductividad. Conductividad; se midió con un conductímetro digital.

Potencial de Oxidación-Reducción (ORP); se evaluó mediante un electrodo de ORP conectado a un medidor digital. Cada análisis se realizó por triplicado para asegurar la precisión de los resultados. Para el tratamiento por Ozonización; fue realizado utilizando un generador de ozono de alta eficiencia, modelo X (Generador ECO-HE-145A). El equipo de ozonización, generador de ozono de 10 g/h. las condiciones de operación: El tratamiento se realizó durante 10 minutos a un caudal constante de 0.5 L/min, inyectando ozono en un reactor de vidrio de 2 litros que contenía la muestra de agua residual. En cuanto a la temperatura: El tratamiento se mantuvo a temperatura ambiente (~25°C). Por otro lado, la concentración de ozono disuelto en el agua fue monitoreada utilizando el método de iodometría para garantizar la correcta dosificación. En la parte del Análisis Estadístico; los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis estadístico para evaluar la eficiencia del tratamiento. Se utilizó el software X para realizar un análisis de varianza (ANOVA) y pruebas t de Student, con el fin de determinar la significancia de los cambios en los parámetros antes y después del tratamiento. Con un nivel de significancia: Se estableció un nivel de significancia del 95% ($p < 0.05$). La evaluación de la Eficiencia del Tratamiento fue evaluada calculando el porcentaje de reducción en cada parámetro analizado, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia de remoción (\%)} = \left(\frac{\text{Valor inicial} - \text{Valor final}}{\text{Valor inicial}} \right) \times 100$$

Donde:

El valor inicial corresponde a los parámetros antes del tratamiento.

El valor final corresponde a los valores después de la o

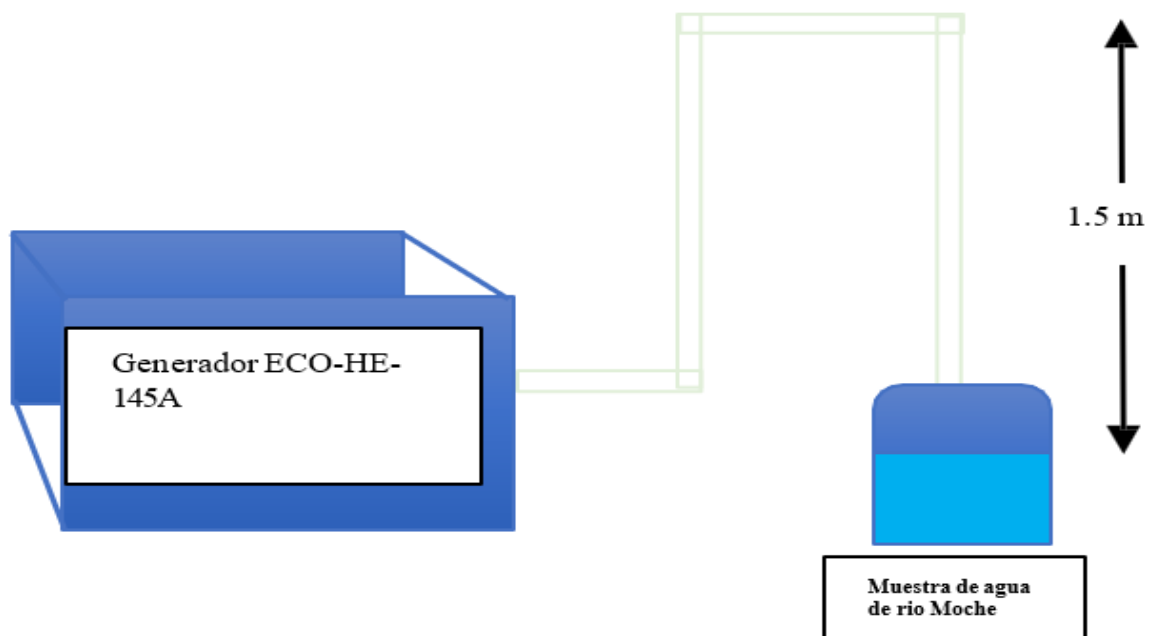


Fig. 02: Montaje experimental del equipo generador de gas ozono ECO HE-145A.

1. Resultados y Discusión

Los resultados son presentados en la Tablas siguientes, evalúan los parámetros de sólidos disueltos totales (TDS), conductividad eléctrica (CE) y los potenciales de oxidación- reducción (ORP) y de concentración de hidrogeno (pH), temperatura y el tipo de agua según el punto de focalización de extracción.

Tabla 1

Datos de la ubicación de la zona de muestreo para las muestras de efluentes municipales en Otuzco alrededor del Rio Pollo.

N°	Fecha	Sitio de muestreo			Profundidad	
		Ubicación	Latitud	Longitud		Altitud
1	29-Feb	R PO - PA	-7.900058	-78.566662	2628 m	28 cm
2	29-Feb	R PO - PA	-7.900165	-78.566601	2632 m	32 cm
3	29-Feb	R PO - CJ	-7.900998	-78.566193	2629 m	29 cm
4	29-Feb	R PO - CJ	-7.900985	-78.566040	2630 m	36 cm
5	29-Feb	R PO - PAL	-7.901957	-78.564503	2622 m	40 cm
6	29-Feb	R PO - PAL	-7.902001	-78.564329	2630 m	38 cm
7	29-Feb	R PO -- PIN	-7.904065	-78.562056	2615 m	35 cm
8	29-Feb	R PO -- PIN	-7.904170	-78.562088	2611 m	42 cm
9	29-Feb	R PO - PSA	-7.904513	-78.561856	2653 m	32 cm
10	29-Feb	R PO - PSA	-7.904689	-78.561939	2622 m	38 cm

Tabla 2

Datos recolectados de las mediciones de los parámetros físicos como TDS, EC, Temperatura, Ph y ORP antes de la exposición del ozono

Muestras	TDS	EC	Temperatura	pH	ORP
1	280	548	23.5 °C	6.35	320
2	285	548	24.5 °C	6.64	315
3	859	1826	24.2 °C	6.81	-056
4	309	598	24.2 °C	6.14	176
5	382	776	24.6 °C	6.02	-032
6	306	598	23.5 °C	5.98	175
7	328	656	24.2 °C	5.98	143
8	326	642	24.5 °C	5.94	201
9	315	662	24.3 °C	5.96	95
10	295	698	24.2 °C	5.76	-010

Tabla 3

Datos recolectados de las mediciones de los parámetros físicos como TDS, EC, Temperatura, Ph y ORP después de la exposición del ozono.

Muestras	TDS	EC	Temperatura	pH	ORP
1	315	630	25.3 °C	5.72	380
2	322	644	25.7 °C	5.37	287
3	654	995	26.1 °C	5.51	213
4	339	678	26 °C	5.4	258
5	437	874	25.3 °C	5.39	266
6	340	680	25.7 °C	5.45	269
7	365	730	25.7 °C	5.27	258
8	366	732	25.7 °C	5.29	234
9	379	760	25.3 °C	5.18	278
10	382	764	25 °C	5.14	262

Tabla 4

Datos recolectados del TDS de las muestras de agua, antes y después de la exposición de ozono (10 min)

Muestras	TDS	
	ANTES	DESPUES
1	280	315
2	285	322
3	859	902
4	309	339
5	382	437
6	306	340
7	328	365
8	326	366
9	315	379
10	295	382

Tabla 5

Datos recolectados de la conductividad de muestras de agua, antes y después de la exposición de ozono (10 min)

Muestras	EC		EC
	Antes	Después	
1		548	630
2		548	644
3		1826	1995
4		598	678
5		776	874
6		598	680
7		656	730
8		642	732
9		662	760
10		698	764

Evaluación de los parámetros de las muestras con y sin ozono y agua potable.

Análisis gráfico

De la misma manera la visualización grafica de los resultados en el pre y post tratamiento del ozono se muestra a continuación.

Gráfico 1

Análisis grafico de las muestras de la tabla N° 4

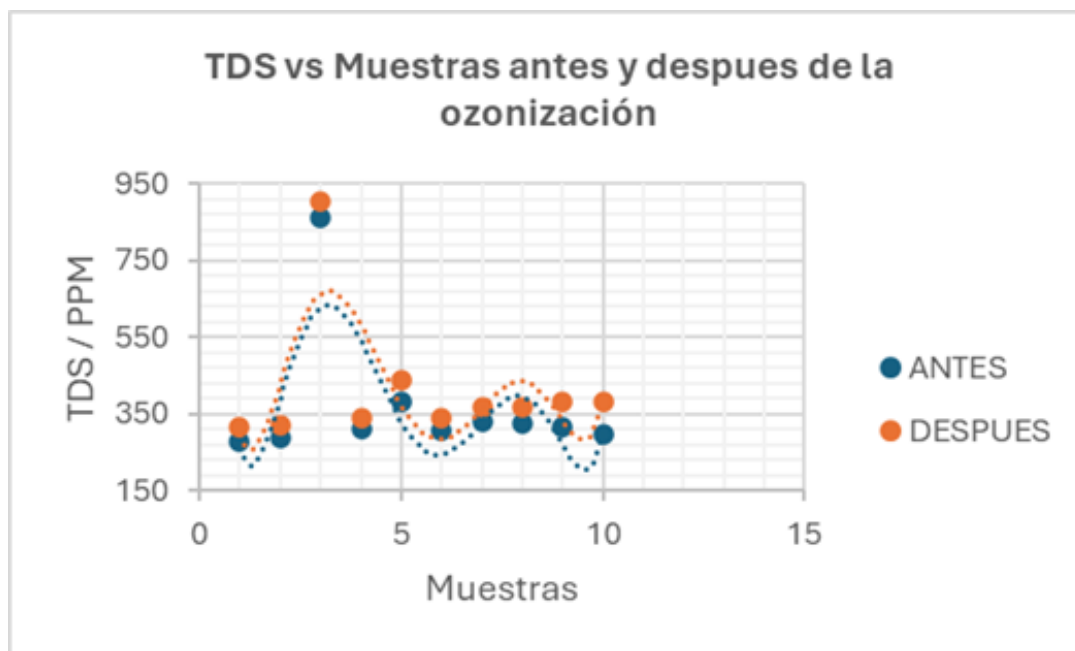


Gráfico 2

Análisis grafico de las muestras de la tabla N° 5

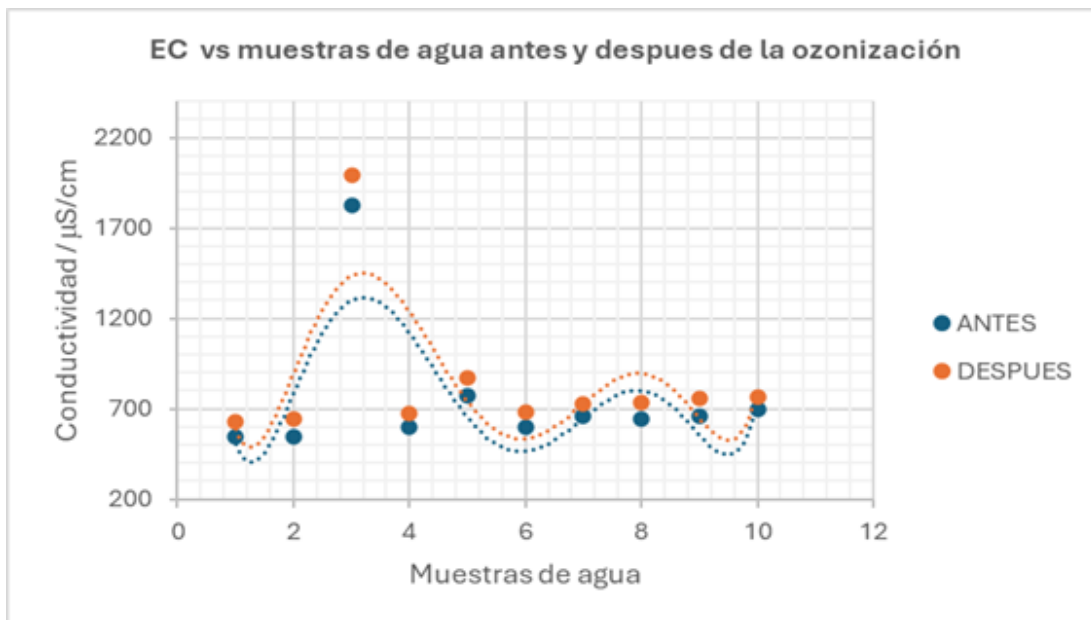
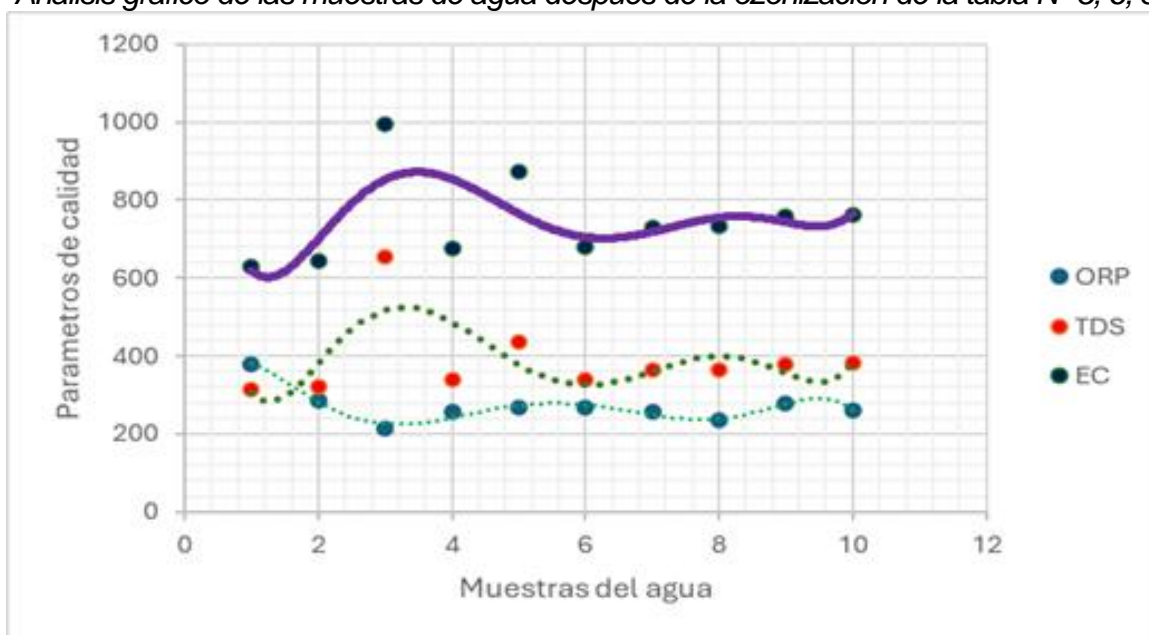


Gráfico 3

Análisis grafico de las muestras de agua después de la ozonización de la tabla N° 5, 6, 8



Discusión

Los resultados de este estudio tienen implicaciones importantes para el tratamiento de aguas residuales en la provincia de Otuzco y otras regiones con características similares. La ozonización se presenta como una alternativa viable y efectiva para reducir la contaminación del agua residual y mejorar la calidad del agua para actividades antropogénicas como el riego e industria.

Es importante destacar que la eficiencia del tratamiento por ozonización puede verse afectada por diversos factores, como la calidad del agua residual inicial, la dosis de ozono aplicada y el tiempo de contacto. En este estudio, se utilizó un tiempo de exposición al ozono de 10 minutos, lo cual demostró ser efectivo para reducir la contaminación del agua residual. Sin embargo, se recomienda realizar estudios adicionales para evaluar el efecto de diferentes tiempos de exposición al ozono en la mejora de la calidad del agua residual.

Los resultados obtenidos en este estudio reflejan el comportamiento de los parámetros de calidad del agua (ORP, TDS y EC) antes y después de la exposición al ozono durante 10 minutos, con un enfoque específico en la conductividad eléctrica (EC) de las muestras de agua residual. La conductividad eléctrica es un parámetro importante ya que está relacionado con la presencia de iones disueltos en el agua, lo que

da una idea de la salinidad y la concentración de contaminantes presentes.

Comportamiento de la Conductividad Eléctrica (EC)

Al analizar los datos de la conductividad eléctrica antes y después del tratamiento con ozono, se observa un patrón de incremento en todas las muestras después de la ozonización. El aumento promedio de la conductividad eléctrica es evidente, mostrando que la exposición al ozono durante 10 minutos incrementó los valores de EC en todas las muestras analizadas. Esto sugiere una mayor liberación de iones al medio acuoso debido a la oxidación de compuestos presentes en las aguas residuales.

La conductividad inicial varió entre 548 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (muestra 1) y 1826 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (muestra 3), lo que indica una considerable heterogeneidad en la carga iónica de las muestras de agua residual antes del tratamiento. Después del proceso de ozonización, los valores aumentaron en un rango de 630 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (muestra 1) a 1995 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (muestra 3), lo que corresponde a un incremento promedio del 13-14%.

Este comportamiento puede explicarse por la oxidación de compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en las aguas residuales. Durante la ozonización, los contaminantes orgánicos e inorgánicos reaccionan con el ozono, produciendo especies más oxidadas y, en algunos casos,

liberando iones que pueden aumentar la conductividad (von Gunten, 2003). Específicamente, se puede inferir que el ozono descompone las moléculas orgánicas complejas en moléculas más simples, lo que puede dar lugar a la generación de ácidos orgánicos u otros compuestos iónicos que incrementan la conductividad (Li et al., 2018).

Comparación con otros parámetros

El análisis gráfico de los parámetros ORP y TDS sugiere que mientras la conductividad aumentó, el potencial de oxidación-reducción (ORP), como era de esperar, mostró un comportamiento más volátil. El ORP está directamente relacionado con la capacidad del agua para oxidar o reducir compuestos, y la ozonización, un proceso oxidante, puede haber influido en este parámetro, aunque de forma no tan uniforme como en el caso de la conductividad.

Por otro lado, el TDS (sólidos disueltos totales) se comportó de manera similar a la conductividad, lo que refuerza la idea de que la ozonización incrementa la disolución de sólidos ionizados en el agua.

Implicaciones del Incremento en Conductividad

2. Conclusiones

La ozonización es una técnica efectiva para la mejora de la calidad del agua residual municipal, demostrando una capacidad significativa para reducir la

El aumento en la conductividad eléctrica posterior al tratamiento puede tener implicaciones tanto positivas como negativas. Desde un punto de vista positivo, el proceso de ozonización está claramente oxidando y descomponiendo los compuestos contaminantes en el agua, lo que indica un tratamiento efectivo. Sin embargo, el incremento de la concentración iónica también puede implicar la necesidad de un tratamiento adicional (como filtración o intercambio iónico) si se pretende reutilizar el agua para actividades antropogénicas como riego o procesos industriales, donde los niveles de sales disueltas deben mantenerse bajos para evitar daños a cultivos o maquinaria.

Con base en los resultados obtenidos, se recomienda llevar a cabo estudios adicionales que exploren diferentes tiempos de exposición al ozono. Sería relevante evaluar si tiempos más prolongados pueden optimizar la reducción de contaminantes sin incrementar significativamente la conductividad. Además, estudios comparativos que incluyan técnicas de postratamiento, como la adsorción o la filtración, pueden ser útiles para mitigar los incrementos en conductividad observados tras la ozonización.

contaminación en términos de parámetros clave como los sólidos disueltos totales (TDS) y el potencial de oxidación-reducción (ORP). Sin embargo, el incremento en la conductividad eléctrica observado después del tratamiento

indica una mayor disolución de iones, lo que sugiere que este método podría requerir un proceso de postratamiento para optimizar su aplicabilidad en el reúso del agua, especialmente en actividades que exigen bajos niveles de salinidad, como el riego agrícola.

El tratamiento por ozonización durante 10 minutos mostró una eficiencia del 24% en la reducción de la contaminación del agua residual, lo que coincide con investigaciones previas que

destacan el potencial del ozono como agente oxidante en el tratamiento de aguas residuales. No obstante, se recomienda realizar estudios adicionales con tiempos de exposición variables para maximizar la eficiencia del proceso sin aumentar significativamente la conductividad, y evaluar el impacto a largo plazo de este tratamiento en diferentes tipos de contaminantes presentes en las aguas residuales municipales.

Referencias

1. Von Gunten, U. (2003). Ozonation of drinking water: Part I. Oxidation kinetics and product formation. *Water Research*, 37(7), 1443-1467.
2. Li, K., Jin, W., & Xing, X. (2018). Mechanism of ion release in ozonization of wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(3), 3891-3899.
3. Daud, M. K., Nafees, M., Ali, S., Rizwan, M., Bajwa, R. A., Shakoor, M. B., Arshad, M. U., Chatha, S. A. S., Deeba, F., Murad, W., Malook, I., & Zhu, S. J. Drinking Water Quality Status and Contamination in Pakistan. *BioMed Research International*, 2017, pp. 1–18. <https://doi.org/10.1155/2017/7908183>
4. Obotey Ezugbe, E., & Rathilal, S. Membrane Technologies in Wastewater Treatment: A Review. *Membranes*, 10(5), p. 89, 2020. [https://doi.org/10.3390/membranes10050089](https://doi.org/10.3390/membra-nes10050089)
5. Chai, W. S., Cheun, J. Y., Kumar, P. S., Mubashir, M., Majeed, Z., Banat, F., Ho, S.-H., & Show, P. L. A review on conventional and novel materials towards heavy metal adsorption in wastewater treatment application. *Journal of Cleaner Production*, 296, 126589, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126589>
6. Adelodun, B., Tihamiyu, A. O., Ajibade, F. O., Odey, G., Ibrahim, R. G., Goala, M., Bakare, H. O., Ajibade, T. F., Adeniran, J. A., Adeniran, K. A., & Choi, K. S. Presence, detection, and persistence of SARS-CoV-2 in wastewater and the sustainable remedial measures. In *Environmental and Health Management of Novel Coronavirus Disease (COVID-19)*, 2021, pp. 91–114, Elsevier.

- <https://doi.org/10.1016/B978-0323-85780-2.00014-7>
7. Owodunni, A. A., & Ismail, S., Revolutionary technique for sustainable plant-based green coagulants in industrial wastewater treatment—A review. *Journal of Water Process Engineering*, 2021, p.42, 102096. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102096>. <https://doi.org/10.4136/ambi-aqua.2442>
 8. Smyrilli, C., Selvakumaran, S., Alderson, M., Pizarro, A., Almendrades, D., Harris, B., & Bustamante, A, Sustainable decentralised wastewater treatment schemes in the context of Lobitos, Peru. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 13(1), 2018, pp. 8–16. <https://doi.org/10.1680/jenes.17.00023>
 9. Suhartini, S., Hidayat, N., & Rosaliana, E., Influence of powdered Moringa oleifera seeds and natural filter media on the characteristics of tapioca starch wastewater. *International Journal Of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 2(1), 2013, p. 12. <https://doi.org/10.1186/2251-7715-2-12>
 10. Tomanguillo Chumbe, M. del P. (2018). Derecho a la verdad como una norma imperativa Internacional y al Responsabilidad de los estados frente a este derecho [Universidad Nacional de Trujillo: Derecho a la verdad como una norma imperativa Internacional y al Responsabilidad de los]. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11604>
 11. Peavy, H. S., Rowe, D. R., & Tchobanoglous, G. (2013). *Ingeniería Ambiental*. McGraw Hill.
 12. Metcalf & Eddy. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. McGraw Hill.