

## Ozonización hídrica en la Campiña de Moche: Una propuesta científica para el reúso doméstico y el desarrollo Sostenible

**Carlos Moya Egoavil**

*Universidad Católica de Trujillo*

<https://orcid.org/0000-0002-8072-2796>

**Karen Hashimoto Ávila**

*Universidad Católica de Trujillo*

<https://orcid.org/0000-0002-3228-850X>

### Resumen

El estudio preliminar se llevó a cabo para evaluar la eficiencia del ozono en el tratamiento del agua del río Moche, ubicado a 27 m s.n.m. en la ciudad de Trujillo-La Libertad, Perú, con el fin de su posible reúso para riego agrícola y diferentes actividades domésticas. Se extrajo el agua siguiendo las recomendaciones de la EPA y se caracterizó antes y después del tratamiento con un generador de ozono, ECO-HE-145A, administrando 0.5 mg/L de gas O<sub>3</sub> durante 5 a 25 minutos, según las normas internacionales ISO 3165 y 22637. Se evaluaron varios parámetros, como conductividad (EC), temperatura (T), sólidos disueltos totales (TDS), potencial de hidrógeno (PH) y oxidación-reducción (ORP), tanto con y sin inyección de ozono, en cumplimiento con las normativas locales DS N° 007-2019 y RM N° 256-2022-MINAM.

El análisis estadístico de las variables TDS, Ph, EC y ORP mostró una reducción del 16 al 24% de los parámetros con la exposición al ozono durante diferentes periodos de tiempo. Estos resultados, en línea con los estándares de calidad del agua y las recomendaciones nacionales e internacionales, sugieren la viabilidad del tratamiento del agua del río Moche para reúso doméstico, lo que podría contribuir al desarrollo sostenible de la región La Libertad y abrir nuevas oportunidades para investigaciones futuras.

Palabras clave: ozonificación; calidad; tratamiento; eficiencia; físico-químico.

### Abstract

The preliminary study was carried out to evaluate the efficiency of ozone in the treatment of water from the Moche River, located at 27 m a.s.l. in the city of Trujillo-La Libertad, Peru, with the aim of its possible resource for agricultural irrigation and different domestic activities. The water was extracted following EPA recommendations and characterized before and after treatment with an ozone generator, ECO-HE-145A, administering 0.5 mg/L of O<sub>3</sub> gas for 5 to 25 minutes, according to international standards ISO 3165. . and 22637. Various parameters, such as conductivity (EC), temperature (T), total dissolved solids (TDS), hydrogen potential (PH) and oxidation-reduction (ORP), both with and without ozone injection, were evaluated in compliance with local regulations DS N° 007-2019 and RM N° 256-2022-MINAM.

The statistical analysis of the variables TDS, Ph, EC and ORP showed a reduction of 16 to 24% of the parameters with exposure to ozone during different periods of time. These results, in line with water quality standards and national and international recommendations, suggest the viability of treating Moche River water for domestic reuse, which could contribute to the sustainable development of the La Libertad region and open new opportunities for future research.

Keyword: ozonation; quality; treatment; efficiency; physiochemical.

## 1. Introducción

Como se conoce el ozono es un agente oxidante que se usa en la desinfección de agua para el uso antropogénico y doméstica. La población de la campiña de moche se dedica a la agricultura y el turismo, por los restos arqueológicos de la huaca del sol y la luna, del mismo modo de las fuentes secundarias de ingreso como la ganadería y el cultivo del maíz para la elaboración de la chicha de jora, bebida ancestral de la cultura moche.

El agua es uno de los bienes más importantes y escasos que tienen las personas alrededor del mundo, el acceso de este recurso hídrico en los campos verdes de la campiña de moche es una necesidad prioritaria y por tanto un derecho que todo poblador debe de tener.

En todos los ríos de la costa del Perú, tal es el caso del río moche, las descargas de agua de los efluentes permiten una marcada diferencia en valores extremos del caudal, dando un promedio de  $23 \text{ m}^3/\text{s}$  en promedio en las localidades aledañas a los pobladores de la campiña de moche. El río moche descarga un volumen medio anual de 154.6 millones de metros cúbicos de agua, entre febrero y abril, mientras que junio a diciembre corresponden a periodos de sequía.

En la campiña de moche se tiene en cuenta un programa de educación ambiental en la población por ende se vierte basura y todo contaminante al río sin piedad. Los organismos encargados en aplicar las medidas respectivas según el ordenamiento municipal y del órgano central del estado no está aportando en el control y cuidado de las aguas del río.

El lugar donde se extrajo las cantidades necesarias del río, se vio muy complejo ya que está delimitado

por un cerco por posibles actividades de la zona, de manera inescrupulosas se desarrollan sin tomar las consecuencias de sus acciones sobre el impacto ambiental que pueden producir. La zona delimitada para la experimentación se denota a continuación (ver Fig. 01). De la misma manera el recojo de material hídrico se contó con normatividades internacionales y locales.



Fig. 01: En la delimitación territorial para la exploración del agua proveniente del río Moche, está marcado de color rojo. Fuente: Google Earth.

Más del 80 % de las aguas residuales son producidas por actividades antropogénicas y causan más de 40 enfermedades y muertes infantiles en todo el mundo (Lin et al., 2022).

La calidad del agua dulce en entornos rurales y urbanos se ve afectada por procesos naturales e influencias humanas. Debido a esto, los

cuerpos de agua o recursos hídricos es cada vez más escasa a medida que aumentan la actividad humana e industrial en el mundo (Khatri & Tyagi, 2015). Las aguas con potencial de potabilización son afectadas por la actividad humana. La principal fuente de contaminación son las aguas residuales, que se descargan en grandes cantidades al sistema de suministro de agua potable. Las fuentes secundarias de contaminación son la descarga de productos químicos tóxicos de las aguas residuales industriales, plaguicidas y fertilizantes de origen agrícola a los cuerpos de agua (Daud et al., 2017).

El tratamiento de aguas residuales es una forma importante de reciclar recursos para hacer frente al uso de recursos naturales en las ciudades modernas (Wang et al., 2021). Los métodos convencionales de tratamiento de efluentes eliminan la contaminación de manera efectiva con el tiempo. Una vez tratado, el efluente puede liberarse al medio ambiente sin

## 2. Materiales y Métodos

El día 14 de diciembre del 2022, a las 10:00 a.m. se localizó la zona o lugar de extracción de la muestra, la campiña de Moche, y delimitó la zona de exploración para reconocer los recursos naturales tanto flora y fauna. En la exploración se tuvo en cuenta un escaneo a priori para reconocimientos de recursos. El cual se extrajo las muestras de agua del río Moche en la delimitación de exploración. Se tuvo en cuenta el caudal. En el sitio de extracción se tuvo las siguientes consideraciones:

Los envases para la recogida de las muestras deben estar limpios y secos. Se rotularon con tinta indeleble o

mayor contaminación (Obotey Ezugbe & Rathilal, 2020).

La reutilización de aguas residuales tratadas es posible una vez que se desarrollen métodos para tratarlas mejor. Esto permitiría que el agua se utilice en los hogares, las industrias y la agricultura (Obotey Ezugbe & Rathilal, 2020).

Existen varias tecnologías de tratamiento de aguas residuales, como la adsorción, que es la técnica más utilizada para eliminar metales pesados de las aguas residuales debido a su diseño flexible, operación y rentabilidad (Chai et al., 2021).

Los tratamientos biológicos más utilizados incluyen la sedimentación (decantadores primarios y secundarios), la descomposición biológica (incluyendo piscinas aeróbicas, anóxicas, anaeróbicas o similares), seguidas de procesos de desinfección como la cloración, la radiación ultravioleta o el ozono (Adelodun et al., 2021)

etiqueta indicando: número/nombre de la muestra, fecha y hora. En general se utilizarán envases de plástico de politetrafluoroetileno o polietileno. Solo para el caso del análisis de compuestos orgánico-volátiles se utilizarán envases de vidrio. Antes de llenar el envase con la muestra, hay que lavarlo 2 o 3 veces con el agua que se va a recoger, a menos que el envase contenga conservante o colorante. Algunos parámetros se determinaron "In situ", ya que sus propiedades varían indefectiblemente a los pocos minutos de la toma de muestras: caudal, sólidos disueltos totales (TDS), conductividad eléctrica (CE) y los potenciales de

oxidación- reducción (ORP) y de concentración de hidrogeno (pH).

En cuanto a las Técnicas de muestreo, de determino mediante un protocolo medurado para el desplazamiento de las muestras de agua, mediante cuatro principios nos ayudaron a conseguir una muestra con esas cualidades. La elección de un lugar adecuado para tomar la muestra. Se consideró el tiempo adecuado para tomar la muestra. Con las técnicas basadas en la heterogeneidad y la profundidad de extracción. El muestreo compuesto nos proporcionará una muestra representativa del agua de río en su totalidad del mismo modo nos mostrará un panorama general de la calidad de agua en todo el efluente de estudio, esta normatividad esta regida por la directriz estándar por la agencia de protección ambiental de los EE. UU (EPA).

Para las mediciones de los parámetros se inoculó 0.5-0.6 mg/l de ozono, con todas las adecuaciones y medidas de prevención y riesgo contra la salud del experimentador, en un periodo de 5, 10, 20 y 25 min de exposición. Posteriormente las muestras de agua residual ozonizada, mediante la centrifugadora se esperó la sedimentación durante un período de 5 minutos entre 100-150 RPM. Finalmente se midieron los parámetros antes mencionados. Cuyos parámetros están regidos bajo recomendaciones o normas internaciones ISO 3165 y 22637, la primera es la normativa referencial más relevante para determinar la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, en segundo lugar, una guía para el manejo del ozono y tratamiento de agua residual, incluyendo la concentración homogénea y el tiempo de contacto del

ozono remendados. Una de las normas importantes sobre recomendaciones y estrategias para la concentración de ozono en agua residual, el tiempo de contacto y de los requisitos que debe presentar el equipo generador es la ISO 22367-2:2017

Para la evaluación estadística se contrastó de las muestras de agua con exposición de ozono, conformando nuestro grupo experimental y agua potable de consumo humano, el grupo de control, esta última provenientes de la empresa de servicios SEDALIB, como fuente local.

Para el uso del generador de ozono ECO-HE-145A para agua, se tuvo las siguientes alcances y acoplamientos. Se Eligió la concentración adecuada de la máquina de ozono para diferentes entornos y propósitos de trabajo. Se administró la máquina en una buena ubicación con disipación de calor y ventilación, asegurándose que la manguera de silicona esté bien conectada con la salida de ozono. Para el tratamiento del agua, se colocó el tubo de silicona a una altura de al menos 1,5 metros para evitar el retroceso en caso de daños en él. Para lograr el mejor efecto de desinfección, se gestionó una área cerrada y desocupada. Con el panel encendido, y activado el interruptor de la bomba, el indicador de ozono alertará una producción de gas (por 15 g/h por encima de la máquina de ozono, puede recibir diferentes capacidades de ozono ajustando el interruptor de concentración); hasta alcanzar los 5 mg en los tiempos predeterminados. Finalizado el tratamiento el ozono en interiores se diluye generalmente de forma automática después de 1-2 horas se descompone en oxígeno. Cuando la desinfección se ha completado, se retira la máquina de ozono para secar

en un lugar ventilado.  
 Recomendaciones sugeribles (ISO 22367-2:2017 y 10147:2019)

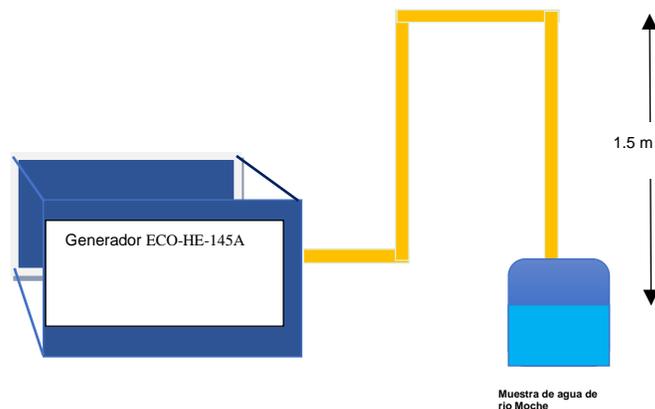


Fig. 02: Montaje experimental del equipo generador de gas ozono ECO HE-145A.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados son presentados en la Tabla 1, 2, 3, 4, 5 y 6 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, el tipo de agua según el punto de focalización de extracción y el tiempo de contacto del ozono y el agua residual de la misma forma el tabla 6 muestra la efectividad del proceso.

**Tabla 1.**

*Variables estudiadas de las muestras sin efecto del ozono.*

Tipo de agua	MUESTRAS	Conductividad ( $\pm 1$ ms/cm)	Temperatura ( $\pm 0.1$ °C)	TDS- Sólidos disueltos totales ( $\pm 1$ ppm)	ORP-Potencial educación-oxidación ( $\pm 1$ mV)	PH
Agua potable	M1	510	24.7	255	561	7.1
Agua de río 2	M2	940	24.2	468	364	7.1
Agua de río 3	M3	1016	24.2	508	344	7.1
Agua de río 4	M4	1020	24.2	602	456	7.2
Agua de río 5	M5	1006	24.2	580	390	7.2

**Tabla 2.**

*Variables estudiadas de las muestras con efecto del ozono a un tiempo de exposición de 5 min.*

Tipo de agua	MUESTRAS	Conductividad ( $\pm 1$ ms/cm)	Temperatura ( $\pm 0.1$ °C)	TDS- Sólidos disueltos totales ( $\pm 1$ ppm)	ORP-Potencial reducción-oxidación ( $\pm 1$ mV)	PH
Agua potable	M1	510	24.7	255	561	7.1
Agua de río 2	M2	914	24.1	424	378	7.1
Agua de río 3	M3	976	24.1	460	388	7.1
Agua de río 4	M4	989	24.1	547	489	7.2
Agua de río 5	M5	954	24.1	497	427	7.2

**Tabla 3.**

*Variables estudiadas de las muestras con efecto del ozono a un tiempo de exposición de 10 min.*

Tipo de agua	MUESTRAS	Conductividad ( $\pm 1$ ms/cm)	Temperatura ( $\pm 0.1$ °C)	TDS- Sólidos disueltos totales ( $\pm 1$ ppm)	ORP-Potencial reducción-oxidación ( $\pm 1$ mV)	PH
Agua potable	M1	510	24.7	255	561	7.1
Agua de río 2	M2	877	24.2	415	389	7.1
Agua de río 3	M3	905	24.2	443	401	7.1
Agua de río 4	M4	914	24.2	513	495	7.1
Agua de río 5	M5	886	24.2	465	447	7.1

**Tabla 4.**

*VARIABLES ESTUDIADAS DE LAS MUESTRAS CON EFECTO DEL OZONO A UN TIEMPO DE EXPOSICIÓN DE 20 MIN.*

Tipo de agua	MUESTRAS	Conductividad ( $\pm 1$ ms/cm)	Temperatura ( $\pm 0.1$ °C)	TDS- Sólidos disueltos totales ( $\pm 1$ ppm)	ORP-Potencial reducción-oxidación ( $\pm 1$ mV)	PH
Agua potable	M1	510	24.7	255	561	7.1
Agua de río 2	M2	868	24.2	406	391	7.1
Agua de río 3	M3	902	24.2	438	409	7.1
Agua de río 4	M4	912	24.2	509	498	7.1
Agua de río 5	M5	880	24.2	456	451	7.1

**Tabla 5.**

*VARIABLES ESTUDIADAS DE LAS MUESTRAS CON EFECTO DEL OZONO A UN TIEMPO DE EXPOSICIÓN DE 25 MIN.*

Tipo de agua	MUESTRAS	Conductividad ( $\pm 1$ ms/cm)	Temperatura ( $\pm 0.1$ °C)	TDS- Sólidos disueltos totales ( $\pm 1$ ppm)	ORP-Potencial reducción-oxidación ( $\pm 1$ mV)	PH
Agua potable	M1	510	24.7	255	561	7.1
Agua de río 2	M2	865	24.2	404	392	7.1
Agua de río 3	M3	899	24.2	436	409	7.1
Agua de río 4	M4	913	24.2	507	497	7.1
Agua de río 5	M5	878	24.2	453	450	7.1

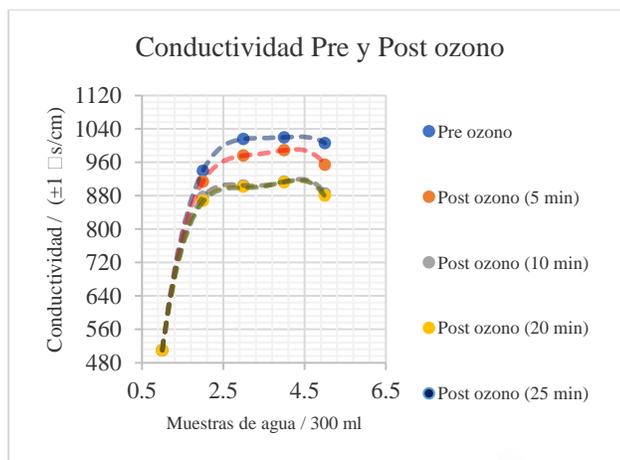
Evaluación de los parámetros de las muestras con y sin ozono y agua potable.

**Tabla 6.**

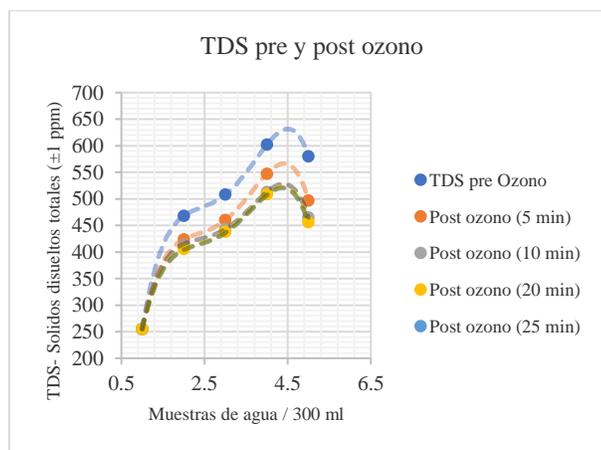
*Comparación de variables estudiadas de las muestras con y sin efecto del ozono en los tiempos estudiados.*

Tiempo (min)	Conductividad (±1 ms/cm)	Temperatura (±0.1 °C)	TDS- Solidos disueltos totales (±1 ppm)	ORP-Potencial reduccion-oxidacion (±1 mV)	PH
0	995.5	24.2	539.5	388.5	7.15
5	958.25	24.1	482	420.5	7.15
10	895.5	24.2	459	433	7.1
20	890.5	24.2	452.25	437.25	7.1
25	813	24.3	411	461.8	7.1
Eficiencia	18%	1%	24%	16%	1%

De la misma manera la visualizacion grafica de los resultado en el pre y post tratamiento del ozono se muestra a continuacion.



**Figura 1.** Efecto del ozono en las muestras vs CE



**Figura 2.** Efecto del ozono en las muestras vs TDS

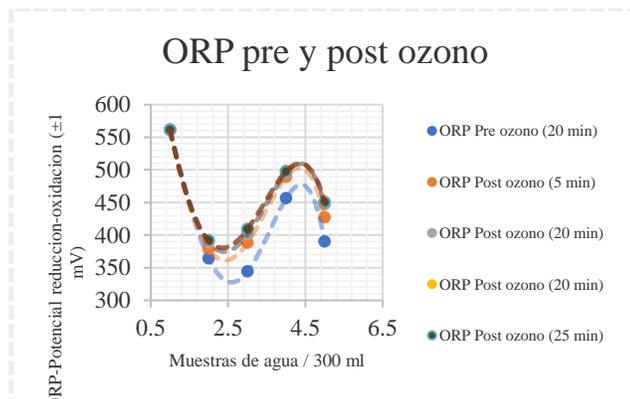


Figura 3. Efecto del ozono en las muestras vs ORP

Evaluación de la eficiencia del tratamiento de aguas del rio Moche, se contrastó los parámetros de calidad de agua con el antes y después de la ozonificación.

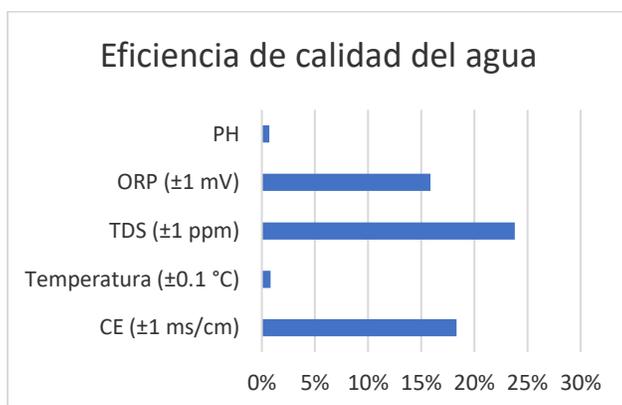


Figura 4. Resultados de la eficiencia de las medias muestrales de agua del rio luego de aplicado el tratamiento

Es importante tener en cuenta los estándares y recomendaciones específicos de la EPA, protección ambiental de los EE.UU y OMS, organización mundial de salud y contextualizarlo con las normas locales como son los DS N° 007-2019 y RM N°

256-2022-MINAM. Tomando como referencia rangos o máximos permitidos de los parámetros estudiados para la obtención de agua tratada bajos los estándares mínimos de calidad para reúso domestico son:

Parámetros	Aceptabilidad
Solidos disueltos totales	500 - 1000 mg/L
Conductividad	500 – 1500 $\mu$ S/cm
Salinidad	< 500 mg/L
pH	6.5 – 8.5
Potencial de oxidación-reducción	-200 a 200 MV

#### 4. DISCUSION

En los resultados obtenidos en el tratamiento de agua por ozonificación con los parámetros que rigen los estándares de calidad del agua (ANA). Se contrastó el pre y post de la inmersión de 6 mg/l de ozono a periodos de exposición entre 5-25 min y bajo el sistema de agitación de 150 RPM. Con estas características y según el contexto geográfico y las limitaciones de la experiencia se pudo notar una eficiencia significativa en los sólidos disueltos totales (TDS) con un 24% de disminución respecto a la muestra bruta (inicio) este valor es de gran potencialidad en el tratamiento porque baja la turbidez de la muestra. Así mismo recalco que a pesar esta gran disminución no es preponderante para el consumo humano. Otro indicador es la conductividad eléctrica (CE), con una disminución hasta el 18% producto de la reacción del ozono, este parámetro es muy importante para conocer la concentración de sales minerales y otras partículas conductoras en el agua sin embargo aun no se llega a los mejores estándares para la calidad de este. La concentración del potencial de oxidación-reducción (ORP) presenta un 16% mediante este tratamiento, nos indica la capacidad de absorción y expulsión de sales diluidas para el mejor saneamiento del agua del rio

#### 4. CONCLUSIONES

Las diferentes muestras de aguas del rio Moche ubicado en la campiña de moche, ubicado a 8° S aproximadamente de latitud y 79° W aproximadamente de Longitud, que han pasado por el tratamiento de ozonificación muestran una eficiencia significativa del 24% de reducción en

tratada. Por último, el parámetro de potencial de acidez (PH) del agua tratada no hay una diferencia significativa, esto nos informa que el grado de alcalinidad de mantiene constante entre 7.1 aproximadamente, todas las mediciones realizadas a las muestras han estado regidas bajo normativas y leyes en el marco de la gestión ambiental locales e internacionales y garantizar la confiabilidad y aceptabilidad del procedimiento experimental.

Las limitaciones del estudio están dadas por la falta de pruebas microbiológicas por su alto costo en el mercado. Pero abre la oportunidad de seguir surgiendo nuevas alternativas de estudio para el mejoramiento de la calidad del agua del rio moche para el reúso en actividades antropogénicas y domésticas. Esto de no quiere decir que la propuesta es fallida todo lo contrario se evidenció el tratamiento de ozono en aguas del rio el saneamiento de la calidad del recurso hídrico del rio Moche y la comparación oportuna de los valores en los rangos permitidos en los estándares de calidad de agua tratada para el reúso doméstico. Esta está regulada por un marco normativo, con requisitos técnicos y de calidad necesarios para garantizar la seguridad y eficacia del proceso.

los sólidos disueltos totales y a la vez la caída de la turbidez y 18% en la concentración de metales o sales minerales conductores de electricidad en el agua del Rio Moche. Esto es muy importante para los objetivos del estudio preliminar como alternativa de mejoramiento de la calidad de agua

para el uso agrícola y doméstico de las familias pertenecientes al distrito de Moche. Estos resultados sugieren que el tratamiento con ozono es una opción viable para el tratamiento del agua del río Moche para su reúso doméstico,

pero para optimizar las condiciones del tratamiento y garantizar el cumplimiento con los estándares de calidad a plenitud se debe realizar un análisis microbiológico.

#### REFERENCIAS

- [1] Lin, L., Yang, H., & Xu, X, Effects of Water Pollution on Human Health and Disease Heterogeneity: A Review. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 2022.  
<https://doi.org/10.3389/fenvs.2022>.
- [2] Khatri, N., & Tyagi, S. Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas, *Frontiers in Life Science*, 8(1), 23–39, 2015.  
<https://doi.org/10.1080/21553769.2014.933716>
- [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>
- [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/B978-0-323-85780-2.00014-7>
- [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-agua.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/UNI TRU/11604>
- [11] Tomperi, J., Isokangas, A., Tuuttila, T., & Paavola, M., Functionality of turbidity measurement under changing water quality and environmental conditions. *Environmental Technology*, 43(7), 2022, pp. 1093–1101. <https://doi.org/10.1080/09593330.2020.1815860>
- [12] Wang, D., Ha, M., & Qiao, J., Data-Driven Iterative Adaptive Critic Control Toward an Urban Wastewater Treatment Plant. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 68(8), 2021, pp. 7362–7369. <https://doi.org/10.1109/TIE.2020.3001840>
- [13] Zapana, J. S. P., Arán, D. S., Bocardo, E. F., & Harguinteguy, C. A., Treatment of tannery wastewater in a pilot scale hybrid constructed wetland system in Arequipa, Peru. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(11), 2020, pp. 4419–4430. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02797-8>
- [14] Black & Veatch Corp., *White's Handbook of chlorination and alternative disinfectants*. 5<sup>o</sup> ed. Wiley and sons inc, 2010.
- [15] Gordon, G. Bubnis, B., Residual ozone measurement: Indigo sensibility coefficient adjustment. *Ozone*, 2022.
- [16] Gottschalk, C.; Libra, J.A.; Saupe A., *Ozonation of water and wastewater, a practical guide to understanding ozone and its application*. Wiley-VCH, 2000.
- [17] Gurol, M. Singer, P., Kinetic and decomposition: A dynamic approach. *Environ. Sci. Technol.* 16, 1982, pp. 377-383.
- [18] Hanela, S., Durán, J., Jacobo, S., Experiencias en el montaje y puesta en marcha de un sistema piloto de tratamiento de efluentes líquidos empleando UV-ozono seguido de un lecho fijo de zeolita modificada, Primer Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos (IFRH 2012).
- [19] Hoigné J., Bader H. (1983), Rate Constants of reactions of ozone with organic and inorganic compounds in water – *Water Research* Vol.17, pp.173-194, 1983.
- [20] HOIGNE, J. Characterization of Water Quality Criteria for Ozonation Processes. Minimal Set of Analytical Data. *Ozone Science & Engineering*. Vol 16. 1993, pp. 113-120.
- [21] SOLSONA, F. y MENDEZ J. P. Desinfección del agua. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 2002. Lima. Perú.
- [22] Martin, E. J. and E. T. Martin, *Technologies for Small Water and Wastewater Systems*. Environmental Engineering Series, Van Nostrand Reinhold, pp. 209 – 213, New York, 1991.
- [23] Informe Técnico N°028-2012-ANA-DGCRH/RGC, Resultados del monitoreo de la calidad del agua en la cuenca del río Moche, 2012.

- [24] Informe Técnico N°068-2016-ANA-ALAMVCH, Resultado del monitoreo participativo de la calidad del agua de la cuenca del río Moche, La Libertad – Perú, 2016.
- [25] Municipalidad Provincial de Trujillo, “Plan Vial provincial Participativo de Trujillo 2010-2019.
- [26] Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Asuntos Ambientales, “Estudio de Evaluación Ambiental Territorial y de Planteamientos para la Reducción o Eliminación de la Contaminación de Origen Minero en la Cuenca del río Moche”, 1997.
- [27] Claudia Vargas Aliaga, Gestión Integrada del Agua de Riego en la Cuenca baja del río Moche, Trujillo-Perú. Universidad de Piura, 2015.