

Análisis de la calidad del agua en playas de Omoa, Honduras mediante diseño de experimentos

Analysis of water quality on beaches in Oma, Honduras through design of experiments

Astrid Ariana Girón Canales¹ , Paola Michelle Pascua Cantarero*^{1,2} , Viviana Gómez Barrantes³ 

¹ Ingeniería Industrial y de Sistemas, Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica Centroamericana, Tegucigalpa, Honduras

² Instituto de Investigaciones One Health, Universidad Tecnológica Centroamericana, Tegucigalpa, Honduras

³ Diseño e Innovación Curricular, Vicerrectoría de Docencia, Universidad Nacional de Costa Rica, Heredia, Costa Rica

Resumen / Introducción. A través de un enfoque cuantitativo y la aplicación de herramientas de diseño de experimentos, la investigación se centró en evaluar la calidad del agua en las playas Central y Mar de Plata de Omoa, Cortés, Honduras, en Centroamérica. **Métodos.** Se realizaron dos tomas de muestras en cada uno de los tres puntos seleccionados en ambas playas, como parte de la muestra representativa, durante el mes de noviembre del año 2023. Posteriormente, se procedió a realizar un análisis fisicoquímico y microbiológico de estas muestras, basado en los parámetros de calidad establecidos por la normativa del Centro de Estudios y Control de Contaminantes (CESCCO). **Resultados.** Al aplicar la herramienta de análisis de un solo factor, ciertos parámetros de las muestras cumplen con las normativas establecidas, mientras que otros no alcanzan los estándares requeridos. **Conclusión.** Este hallazgo sugiere que ambas playas; la Central y Mar de Plata, carecen de la idoneidad necesaria para ser consideradas aptas para el uso recreativo, planteando así una preocupación significativa en cuanto a la seguridad y salud de quienes podrían frecuentar dichas áreas y del ecosistema marino.

Palabras Clave Aguas costeras, Estadística, Playa, Química del agua, Química experimental

Abstract / Introduction. The present research is based on a quantitative approach and the implementation of design of experiments tools, focused on the evaluation of water quality in the Central and Mar de Plata beaches in Omoa, Cortes, Honduras. **Methods.** Two samples were taken at each of the selected points on both beaches during the month of November 2023. The samples collected were subjected to physicochemical and microbiological analysis in the faculty laboratory and in an external laboratory, using quality parameters established by the regulations applied by the Centro de Estudios y Control de Contaminantes (CESCCO). **Results.** By applying the single-factor analysis tool, it was identified that some parameters such as chromium, iron, zinc, and hydrogen potential (pH) meet the standards established by the regulations, while others such as dissolved oxygen, copper, arsenic, lead, mercury, cadmium, manganese and thermotolerant coliforms do not meet the required levels. **Conclusion.** This finding suggests that both beaches, Central and Mar de Plata, lack the necessary suitability to be considered fit for recreational use, thus raising significant concerns regarding the safety and health of those who may frequent these areas and the marine ecosystem.

Keywords Beach, Coastal waters, Experimental chemistry, Statistics, Water chemistry



Este trabajo está bajo una licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 BY, NC.

Recepción: 17 diciembre 2024 / Aceptación: 26 junio 2025 / Publicación: 27 junio 2025

Autor corresponsal: paomich1@gmail.com

Cita: Girón Canales, A. A., Pascua Cantarero P. M. y Gómez Barrantes V. (2025). Análisis de la calidad del agua en playas de Omoa, Honduras mediante diseño de experimentos. *Innovare, Revista de Ciencia y Tecnología*, 14(1), 1-7.

<https://doi.org/10.69845/innovare.v14i1.427>

INTRODUCCIÓN

El análisis de la calidad del agua en las playas no solo es esencial para la preservación de los ecosistemas marinos, sino también para garantizar la salud y seguridad de quienes disfrutan de estas zonas recreativas. En relación con esta problemática se encontraron diferentes estudios nacionales asemejados. En Honduras en el año 2017, se realizó un estudio sobre la sistematización del sistema de monitoreo de calidad de aguas en Roatán, los resultados obtenidos mostraron que en las diferentes estaciones del año (invierno y verano) no se notan grandes diferencias en las mediciones,

y contrario a lo que se creía, los cambios son muy minuciosos (Salles, 2017).

En la ciudad de San Pedro Sula, Honduras en abril del 2021, estudiantes de la Universidad Tecnológica Centroamericana de Honduras (UNITEC) desarrollaron un estudio de una técnica para la reducción de contaminación en el medio costero en localidades de Omoa por medio de la robótica. En esta investigación se evaluó la calidad del agua de las playas, finalmente propusieron un prototipo de boya robótica que se puede implementar en futuras investigaciones teniendo en cuenta que esta ayudará para la recolección de datos de los factores físicos del agua y que de

esta forma se pueda monitorizar como se encuentra el agua con respecto a cargas bacterianas (Reyes-Duke *et al.*, 2022).

En julio de 2022 UNITEC publicó en San Pedro Sula, una tesis sobre datos del relleno sanitario de Omoa, en esta se encontró información valiosa que sustenta que los residuos no son transportados de la manera correcta; en Omoa para el año 2021 se estimó que su generación anual de desechos sólidos era de 34,406 toneladas, lo que generó diferentes repercusiones, una de ellas que el relleno sanitario se llenó por completo sin tener más espacio disponible por lo que gran parte de los desechos no se depositaron en un lugar seguro y que estos contribuyeron a la contaminación en las playas, comunidades y generaron enfermedades (Bonilla *et al.*, 2022).

En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo general el análisis del índice de la calidad del agua en tres diferentes puntos de muestreo de las playas de Mar de Plata y Playa Central de Omoa, Honduras, Centroamérica. Se formularon tres objetivos específicos: el primero fue la medición del índice de la calidad del agua de las playas por medio de la toma de muestras, para la realización de las pruebas de Oxígeno Disuelto (OD), Metales pesados, pH y prueba de coliformes termotolerantes siendo estos los parámetros establecidos por la normativa para un cuerpo de agua de uso recreativo que utiliza Centro de Estudios y Control de Contaminantes de Honduras (CESCCO), con lo cual se hizo un análisis para cada uno de los tres puntos de muestreo de cada playa utilizando la herramienta ANOVA. Como segundo objetivo, se realizó una comparación de cada uno de los resultados obtenidos de los parámetros en los dos muestreos realizados en ambas playas mediante la herramienta de comparación de medias. El tercer objetivo, fue validar el análisis realizado de los parámetros de la calidad del agua por el método de triangulación con expertos.

MÉTODOS

Los métodos empleados para alcanzar los objetivos se basaron en las herramientas de diseño de experimentos.

Enfoque y alcance

Este estudio definió como objetivo analizar el índice de la calidad del agua de las playas Central y Mar de Plata de Omoa, Cortés, Honduras, en Centroamérica, lo que conllevó la toma de muestras, por la cual esta investigación es de enfoque cuantitativo, ya que permite hacer la medición objetiva y precisa de los parámetros específicos del índice de calidad del agua lo que implica utilizar métodos de recopilación de cada una de las muestras tomadas, para realizar posteriormente el análisis estadístico de los parámetros cuantificables, como las pruebas fisicoquímicas y microbiológicas, aplicadas a cada muestra tomada en ambas playas.

Los diseños experimentales son aquellos en los que el investigador tiene la intención de determinar el efecto potencial de una causa específica que se manipula de manera controlada. Este alcance se emplea con el propósito de establecer relaciones de causa y efecto, permitiendo al

investigador examinar de manera sistemática cómo la manipulación de una variable particular podría influir en el resultado deseado (Sampieri *et al.*, 2010).

En el marco de la investigación sobre la calidad del agua en las playas de Omoa el alcance experimental se vuelve fundamental, al aspirar a determinar de manera precisa y controlada el posible impacto de diversas variables en la calidad del agua de estas playas. Este enfoque se convierte en una herramienta valiosa para explorar cómo la manipulación controlada de factores específicos, como la presencia de contaminantes o la variabilidad en las condiciones ambientales, puede influir directamente en la calidad del agua en estas zonas costeras.

Población y muestra

1) Población: Tres puntos correspondientes a la Playa Central de Omoa y tres a la Playa Mar de Plata

2) Muestreo: En este caso se utilizó un muestreo por selección intencionado o conocido también por conveniencia (Sampieri *et al.*, 2010), el cual se utiliza en aquellos casos que la muestra se toma según el acceso que se tiene a las mismas, en esta investigación intervinieron factores como la accesibilidad, costos involucrados y dificultades climatológicas al momento de recolectar muestras de agua en el mes que se realizó la actividad (noviembre de 2023), para la selección de este tipo de muestreo.

En los siguientes párrafos se desglosa los tipos de muestra de acuerdo con el tipo de prueba (metales pesados, coliformes termotolerantes), que se realizaron en cada punto dentro de cada una de las playas, considerando inclusive el tipo de frasco utilizado.

Muestra por cada punto de la playa Central para metales pesados.

Muestra 1: 2 tomas de un litro de agua en frasco de propileno (recogidas) en el primer punto del centro de la playa Central.

Muestra 2: 2 tomas de un litro de agua en frasco de propileno (recogidas) en el segundo punto izquierdo de la playa Central.

Muestra 3: 2 tomas de un litro en frasco de propileno (recogidas) en el tercer punto derecho de la playa Central.

Muestra por cada punto de la playa Mar de Plata para metales pesados.

Muestra 1: 2 tomas de un litro de agua (recogidas) en el primer punto del centro de la playa Mar de Plata.

Muestra 2: 2 tomas de un litro de agua (recogidas) en el segundo punto izquierdo de la playa Mar de Plata.

Muestra 3: 2 tomas de un litro de agua (recogidas) en el tercer punto derecho de la playa Mar de Plata.

Muestra por cada punto de la playa central y playa Mar de Plata para análisis de metales pesados en laboratorio externo

Muestra 1: se tomó 1 galón con agua de los tres puntos anteriores para la playa Central. Muestra 2: se tomó 1 galón con agua de los tres puntos anteriores para la playa Mar de Plata. Muestra por cada punto de la playa Central para análisis microbiológico.

Muestra 1: 2 tomas de 200ml (recogidas) en el primer punto de centro de la playa Central. Muestra 2: 2 tomas de

200ml (recogidas) en el segundo punto de izquierdo de la playa Central.

Muestra 3: 2 tomas de 200ml (recogidas) en el tercer punto derecho de la Playa Central.

Muestra por cada punto de la playa Mar de Plata para análisis microbiológico.

Muestra 1: 2 tomas de 200ml (recogidas) en el primer punto de centro de la Playa Mar de Plata.

Muestra 2: 2 tomas de 200ml (recogidas) en el segundo punto de izquierdo de la playa Mar de Plata.

Muestra 3: 2 tomas de 200ml (recogidas) en el tercer punto derecho de la playa Mar de Plata.

Muestra por los dos puntos de la playa Central para el análisis del parámetro de oxígeno disuelto.

Muestra 1: se hizo una toma de 500ml en un frasco de DBO con agua del punto central de la playa Central.

Muestra 2: se hizo una toma de 500ml en un frasco de DBO con agua del punto central de la playa Central.

Muestra por los dos puntos de la playa Mar de Plata para el análisis del parámetro de oxígeno disuelto.

Muestra 1: se hizo una toma de 500ml en un frasco de DBO con agua del punto central de la playa de Mar de Plata.

Muestra 2: se hizo una toma de 500ml en un frasco de DBO con agua del punto central de la playa Mar de Plata.

Variables analizadas

Variables independientes: Las variables independientes de esta investigación fueron: Ubicación de la playa y X playas específicas (Playa Central o Playa Mar de Plata).

Variables dependientes: Se establecieron como variables dependientes para la investigación: calidad del agua, medida mediante los parámetros del índice de calidad, OD, DBO₅, arsénico, cadmio, cobre, cromo total, hierro, manganeso, plomo, mercurio, zinc, pH, coliformes termotolerantes, cumplimiento con los estándares de calidad para uso recreativo.

Instrumentos y técnicas aplicadas

Instrumentos: Los instrumentos que se utilizaron dentro de esta investigación para la toma de datos fueron; frascos DBO X (para la recolección de la muestra de oxígeno disuelto) y el software Minitab en el que realizaron los desarrollos de las dos técnicas que se implementaron.

Técnicas: Las técnicas que se utilizaron para el desarrollo de la investigación fueron

1. Comparación de medias: se utilizaron para hacer la comparación entre los resultados obtenidos y de esta forma obtener una media.
2. Análisis de varianza (ANOVA): se utilizó para hacer comparaciones entre los diferentes tres puntos de muestreos de cada playa por medio del análisis de un factor.
3. Prueba T de 2 muestras: esta técnica es una de las opciones que brinda Minitab, y se realizó ya que por medio de ella se logró determinar si las medias de ambas playas difieren significativamente.
4. Microsoft Excel: para la tabulación de los resultados obtenidos.

5. Comparación de medias: se utilizaron para hacer la comparación entre los resultados obtenidos y de esta forma obtener una media.

RESULTADOS

Índice de oxígeno disuelto (OD)

El análisis preliminar del parámetro se realizó con la prueba in situ con los frascos de DBO que en ese mismo instante se prepararon junto con el sulfato de manganeso y azida de sodio, para luego hacer la fijación y colocar en refrigeración en la hielera. Para la prueba en el laboratorio se utilizó tiosulfato para la determinación del parámetro.

En Tabla 1 se muestra los resultados obtenidos del índice de oxígeno disuelto, de acuerdo con la normativa de cuerpos de agua para uso recreativo del Centro de Estudios y Control de Contaminantes (CESCCO). Se concluye que el oxígeno disuelto de las muestras de ambas playas no cumple con el parámetro ya que el límite máximo permisible es de 5mg/L.

La relación entre las medias tomadas de los datos muestra que los niveles de oxígeno disuelto de las playas y se expone que la playa Central de Omoa tiene un mayor porcentaje de Oxígeno Disuelto que la playa Mar de Plata con un menor porcentaje, no obstante, en este parámetro ambas playas no cumplen con la normativa en relación con oxígeno disuelto de 5mg/L. La Tabla 1 muestra los porcentajes en relación con el índice de calidad del agua.

En la búsqueda de energía renovable al nivel nacional, el MMARN reportó que el consumo anual era 83.5% de combustible fósil, con una porción de 16.5% de energía renovable (6.6% hidro, 5.3% viento, 3.3% sol y 0.9% biomasa), con apoyo de 94 centrales energéticas (42 hidroeléctricas, 10 parques eólicos, 9 plantas solares y 1 biomasa) en 2022 (Guillén, 2023). Específicamente, los MMARN, MSP y MEPyD han realizado esfuerzos significativos conjuntos que acentúan el liderazgo y compromiso político para minimizar el impacto del cambio climático, relacionados a las amenazas descritas, en el país De acuerdo con los resultados mencionados en la anterior tabla 1, según la evaluación de este parámetro (Oxígeno Disuelto) lo que podría verse afectado sería la vida marina de las playas en mención, dado que es un dato conocido que, si existe un elevado grado de oxígeno disuelto, este puede causar embolia de gas en los peces, perjudicando el ecosistema marino y afectando a la comunidad de las zonas. (Baldoceca Ortiz, 2014)

Índice de potencial de hidrógeno (pH)

Para las pruebas de pH se utilizaron las muestras tomadas en los frascos de propileno y se utilizó el pH metro en el cual se midió cada una de las muestras, en este parámetro se utilizaba cierta parte de muestra para colocar el pH metro en él y de esta forma indicaba el resultado en la tabla 1. de pH, los resultados que se obtuvieron fueron demasiados cercanos en ambas playas y estos indican que las dos playas en estudio cumplen con la normativa utilizada, la cual estipula que dichos niveles deben de estar entre 6 y 9 pH.

Tabla 1. Resultados del análisis de composición del agua.

Oxígeno disuelto		
Playa	N. de muestra	Resultado
Playa Central	1	7.40
	2	7.70
Playa Mar de Plata	1	6.60
	2	7.40

Índice de la calidad – pH			
Playa	Punto	Muestra	Resultado
Playa Mar de Plata	Izquierdo	1	7.85
		2	7.84
	Centro	1	7.88
		2	7.86
	Derecho	1	7.89
		2	7.86
Playa Central	Izquierdo	1	7.84
		2	7.82
	Centro	1	7.80
		2	7.83
	Izquierdo	1	7.78
		2	7.80

Índice de la calidad – cobre			
Playa	Punto	Muestra	Resultado
Playa Mar de Plata	Izquierdo	1	3.15
		2	3.12
	Centro	1	2.68
		2	2.71
	Derecho	1	2.31
		2	2.35
Playa Central	Izquierdo	1	1.36
		2	1.20
	Centro	1	1.02
		2	1.19
	Derecho	1	1.80
		2	1.48

Índice de la calidad - hierro			
Playa	Punto	Muestra	Resultado
Playa Central	Izquierdo	1	0.18
		2	0.16
	Centro	1	0.12
		2	0.09
	Derecho	1	0.12
		2	0.10
Playa Mar de Plata	Izquierdo	1	0.12
		2	0.12
	Centro	1	0.13
		2	0.12
	Derecho	1	0.13
		2	0.11

Índice de la calidad – zinc			
Playa	Punto	Muestra	Resultado
Playa Central	Izquierdo	1	0.02
		2	0.02
	Centro	1	0.02
		2	0.02
	Derecho	1	0.06
		2	0.04
Playa Mar de Plata	Izquierdo	1	0.13
		2	0.35
	Centro	1	0.08
		2	0.03
	Derecho	1	0.03
		2	0.02

Índice de la calidad – manganeso			
Playa	Punto	Muestra	Resultado
Playa Central	Izquierdo	1	0.60
		2	1.10
	Centro	1	0.50
		2	0.50
	Derecho	1	0.20
		2	0.70
Playa Mar de Plata	Izquierdo	1	0.20
		2	0.50
	Centro	1	0.60
		2	0.80
	Derecho	1	0.50
		2	1.50

Metales específicos		
Playa específica	Metal	Resultado
Playa Central	Cromo	0.01
Playa Mar de Plata	Cromo	0.01
Playa Central	Arsénico	2.00
Playa Mar de Plata	Arsénico	5.70
Playa Central	Plomo	0.18
Playa Mar de Plata	Plomo	0.41
Playa Central	Mercurio	0.31
Playa Mar de Plata	Mercurio	0.21
Playa Central	Cadmio	0.10
Playa Mar de Plata	Cadmio	0.10

En relación con las medias, los tres puntos de la playa de Mar de Plata muestran un nivel de 7 mg/L que no hay mucha variación, lo que aporta validación a los resultados expuestos. El pH en la playa Mar de Plata en el extremo izquierdo indica un valor más bajo en comparación a las medias de sus puntos analizados centro y lateral derecho, sin embargo, aun cuando esta diferencia cumplen los límites establecidos, lo que indica que el pH dentro del rango es adecuado es el hecho que el agua no tiene niveles extremadamente altos de acidez o alcalinidad, caso contrario, es decir, si hubiera índices altos de pH esto podría indicar la presencia de contaminantes o desequilibrios en el ecosistema acuático (Sigler & Bauder, 2012).

Las medias en la playa Central tienen un nivel de variabilidad mayor de 7.83 mg/L, sin embargo, no es suficiente para descartar los resultados, ya que indica que el punto más bajo de pH fue en el lado derecho de la playa Central es de 7.79 pH, en cambio en el punto lateral izquierdo obtuvo un valor un poco más alto de 7.83 pH, sin embargo, ninguno de los valores anteriores sobrepasa los límites de la normativa. El mantener un pH dentro de un rango adecuado es esencial para la salud y la supervivencia de la vida marina (Pérez-López, 2016).

Índices de cobre

Para el análisis del cobre, se empleó el espectrofotómetro utilizando la metodología de HACH, el cual consistió en colocar una parte de muestra junto con el reactivo, dejando que el reactivo se mezcle con la muestra por el tiempo determinado e introducir al espectrofotómetro para poder observar cuanta cantidad de cobre hay en la muestra en los tres puntos. Los resultados muestran que en la playa Mar de Plata los indicadores son mayores al límite máximo permisible de acuerdo con la normativa, 2mg/L Por lo que

se concluye la presencia de cobre en el agua de esta playa, lo cual podría tener consecuencias negativas para la vida marina y la salud del ecosistema acuático (Choque Cruz, 2023).

De forma específica se encontró que en el punto lateral izquierdo se encontró mayor concentración de cobre en la playa Mar de Plata en relación a Playa Central, por otro lado, se observa que en el lado derecho como en el central se encontró un índice menor de concentración de cobre, sin embargo, la presencia de cobre en los tres puntos supera el límite máximo permisible, lo que podría ocasionar problemas respiratorios y de reproducción en la vida marina que existe en la playa (Baldoceña Ortiz, 2014). Sin embargo, respecto a Playa Central se encontró una variación significativa en el punto lateral derecho donde existe mayor concentración de cobre de 1.6 mg/L.

Índice de hierro

En el caso del parámetro del hierro de igual forma se utilizó la metodología de HACH. En este caso se colocó 10 ml de la muestra y posteriormente se mezclaba el reactivo con la mezcla dejándolos interactuar cierto tiempo para determinar con el espectrofotómetro si en la muestra de agua había existencia de hierro es baja, lo cual es beneficioso para las playas ya que de esta forma se puede descartar que se harán formaciones de lodos y sedimentos ferrosos en el lecho marino evitando así las consecuencias para la salud de los organismos bentónicos afectando a los ciclos biogeoquímicos y la nutrición de estos organismos (Doria Argumedo, & Deluque Vilorio, 2015).

El punto lateral izquierdo de la playa Central obtuvo resultados más altos de hierro, sin embargo, se encuentra dentro del límite máximo permisible de 0.3 mg/L, lo que podría significar que en esta playa el agua tendrá la tendencia a oxidarse y precipitar en forma de partículas insolubles y que esta precipitación no afectará la claridad del agua y tampoco contribuirá a la formación de depósitos en el fondo. Al considerar la variabilidad en los resultados se define como no significativa, a excepción del punto central de la playa Mar de Plata en donde se encontró el nivel más alto de hierro, pese a estos incrementos los niveles se encuentran dentro de los límites de normativa de 0.3 mg/L.

Índice de zinc

En este parámetro de igual forma se utilizó la metodología de HACH, sin embargo, este parámetro lleva mayor complejidad, ya que para su análisis se le añade a la muestra el reactivo y luego se mezcla para dividir en 10 ml la muestra y poder incorporar el segundo reactivo para que estos interactúen y pasados 3 minutos se introduce al espectrofotómetro. Las concentraciones de zinc reflejan que los niveles encontrados son bajos lo que indica que este parámetro si cumple con la normativa la que establece como el límite máximo permisible que es 3mg/L, lo que indica que no puede interferir con procesos fisiológicos y causar daño en sistemas biológicos de la vida marina (Elizondo Acosta & Freijo Torres, 2020).

Las medias de los muestran que existe una pequeña variabilidad entre los tres puntos evaluados en Playa Central,

sin embargo, no es significativa como para rechazar dichos resultados. En el punto lateral derecho se encontró una concentración mayor en comparación al punto central y al lateral izquierdo, esta concentración se encuentra dentro de los límites permisibles sobre concentración de zinc por lo cual no representaría riesgo para la salud de las personas.

El punto lateral izquierdo es el que obtuvo mayor concentración de Zinc, sin embargo, se encuentra dentro del límite máximo permisible lo que indica que no existe riesgo de tener impactos en la composición y la diversidad de los ecosistemas marinos y se evita afectar las interacciones entre diferentes especies (Soria, 2021).

Índice de manganeso

Para el índice de manganeso se utilizaron dos reactivos con los que se mezcló la muestra. En este caso se coloca un reactivo primero y luego el siguiente, se X esperó por tres minutos para introducirlo en el espectrofotómetro. Los resultados sobrepasan el límite máximo permisible que es ≤ 0.1 mg/L; el manganeso puede experimentar procesos de oxidación, lo que puede llevar a la formación de partículas sólidas de manganeso que se depositan en el lecho marino (Román Samaniego, 2016).

Para el punto lateral Izquierdo en Playa Central se encontró que el porcentaje de manganeso es más alto. Sin embargo, en los tres puntos el límite máximo permisible es superado, lo que indica que este metal puede ser dañino para la preservación del ecosistema marino y en el caso del contacto con los humanos no se descartan enfermedades ocasionadas por el mismo, como por ejemplo enfermedades respiratorias, problemas hepáticos o manganismo, entre otras.

En el punto lateral derecho de la playa Mar de Plata la concentración es mayor, aunque se observa un nivel relativamente bajo en el punto lateral izquierdo, encontrándose que los tres puntos no cumplen con el límite máximo permisible de 0.1 mg/L que establece la normativa. Las concentraciones elevadas de manganeso pueden tener efectos tóxicos para algunos organismos acuáticos, especialmente si se acumula en niveles perjudiciales (Malatesta Aulestia, 2016).

Coliformes termotolerantes

Para este parámetro se realizó el procedimiento microbiológico en el que la muestra utilizada fue la recolectada en los recipientes estériles, Para este parámetro se preparó el cultivo y luego se colocó el medio de cultivo en las placas Petri, a las cuales se incorporó 1 ml, 3 ml y 5 ml de cada muestra, de esta forma se logró obtener mayor eficiencia en los resultados, anteriormente se hicieron tres de pilotaje y habían salido positivos, se realizó una segunda ronda de pruebas de *E. coli*, pero con un medio de cultivo diferente para comparar si en realidad no existe presencia de la bacteria. En la primera medición se logra analizar que no existe ninguna creación de colonias por parte de la bacteria, por lo que se concluyó que no hay existencia de bacterias que puedan generar enfermedades para los seres humanos y contaminación dentro del ecosistema marino de las especies (Huayanay-Quevedo et al., 2022). Posteriormente, con este

parámetro se realizó una segunda prueba de coliformes termotolerantes la cual consistió en cambiar el medio de cultivo, en este caso se utilizó el verde brillante, mismo que se combinaba con 1 ml de muestra y se dejaba en incubación. Los resultados en este caso salieron positivos, ya que se formaron burbujas en las campanas de los tubos de ensayo evidenciando presencia de *E. coli* en el agua de la playa y contaminación con bacterias fecales.

E. coli es una bacteria comúnmente encontrada en el intestino de animales de sangre caliente, incluidos los seres humanos. Su presencia en el agua podría indicar la posible contaminación con materia fecal y la presencia de otros patógenos asociados con desechos humanos. La exposición a aguas contaminadas con *E. coli* y otros patógenos fecales puede provocar enfermedades gastrointestinales y otros problemas de salud (Cruz Ortiz & Galicia Jiménez, 2012).

Resultados de metales en laboratorios externos

Para los metales pesados como: cromo, plomo, arsénico, cadmio y mercurio se realizaron los respectivos estudios en un laboratorio privado de la ciudad de San Pedro Sula, Cortes, Honduras. En este caso los resultados obtenidos muestran que solo el metal cromo se encuentra dentro del límite máximo permisible ya que los valores son menores a ≤ 0.05 , con respecto al arsénico, el plomo y el cadmio su límite máximo permisible es ≤ 0.01 y en los resultados se observa que son mayores, por ende, son un riesgo, para el mercurio el límite máximo permisible es ≤ 0.001 el cual se observó que en ambas playas no cumplen con este índice de calidad.

CONCLUSIÓN

Por sus características la investigación cumplió con todos los parámetros y alcances de un diseño experimental. Los niveles altos de oxígeno disuelto obtenidos fueron de 7.7 mg/L y presentan un riesgo a la vida marina ya que puede causar posibles obturaciones en las vías respiratorias de los peces. Por otra parte, los niveles de pH obtenidos en los puntos analizados de la playa Mar de Plata y Playa Central del municipio de Omoa, Cortés, Honduras presentaron niveles aceptables ya que no sobrepasan el límite de 9 pH para las actividades recreativas humanas lo que no causaría daños leves como irritación en la piel o los ojos.

Adicionalmente, con relación a los niveles de pruebas de coliformes termotolerantes estos fueron positivos; indicando que hay presencia de bacterias que están asociadas con desechos fecales, lo cuales pueden contener patógenos que pueden causar enfermedades. Los niveles de cromo, hierro y zinc encontrados en ambas playas no sobrepasan los límites de 0.05mg/L, 0.3 mg/L, 3mg/L respectivamente, con lo cual cumplen con la normativa utilizada por el Centro de Estudios y Control de Contaminantes (CESCCO).

Respecto a los índices de cobre, arsénico, plomo, mercurio, cadmio y manganeso encontrados en la playa Mar de Plata y Playa Central superan los límites máximos permisibles de 2mg/L, 0.01mg/L, 0.01mg/L, 0.001mg/L, 0.01mg/L y 0.1mg/L, siendo significativamente más alto el de la playa Mar de Plata, por lo cual la vida marina en dicho

lugar se podría ver afectada y a su vez generar efectos negativos a la salud humana al consumirlos. Los resultados de la presente investigación en relación únicamente a las muestras medidas y pruebas realizadas evidencian que la playa Mar de Plata y playa Central de Omoa, departamento de Cortés, Honduras podrían no ser aptas en su totalidad para el uso recreativo humano.

De manera general se encontró en el estudio que existen varios índices como el oxígeno disuelto, el cobre, arsénico, mercurio, plomo, cadmio, manganeso y coliformes termotolerantes que no cumplen con la normativa, lo que podría ocasionar riesgos para la salud humana, con posibles problemas gastrointestinales, neurológicos y cutáneos, así como afectaciones a la vida marina mediante la toxicidad para organismos acuáticos y desequilibrios en los ecosistemas. Además, la contaminación persistente compromete la calidad de los recursos hídricos, con repercusiones económicas al afectar la actividad turística y la salud de los ecosistemas marinos.

Contribución de los autores

Todos los autores participaron en la concepción y preparación del manuscrito y aprobaron la versión final.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés. En este escrito, las opiniones son propias de los autores y no necesariamente reflejan posturas oficiales de las instituciones a las cuales están afiliados.

Financiamiento

Ninguno.

Uso de IA

No se utilizó en este estudio ni en la preparación del manuscrito.

REFERENCIAS

- Baldoceda Ortiz, F. A. (2014). Evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en la playa la Chira, impactados por efluentes domésticos— Chorrillos, 2014. Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/124267>
- Bonilla, C., Saavedra, R., & Hernández, H. (2022). Actualización de datos de relleno sanitario Omoa, Cortés, Honduras, abril 2022 [UNITEC]. <https://repositorio.unitec.edu/handle/123456789/10170>
- Choque Cruz, A. G. (2023). Evaluación del grado de contaminación por metales pesados del agua en la playa turística San Juan de la ciudad Juli, 2022. Universidad Privada San Carlos. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/537>
- Cruz Ortiz, I., & Galicia Jiménez, M. M. (2012). Detección de bacterias enteropatógenas en la arena de las playas principal y puerto angelito de Puerto Escondido, Oaxaca [Thesis, La autora]. <http://localhost:8383/jspui/handle/123456789/464>
- Doria Argumedo, C., & Deluque Vilorio, H. (2015). Niveles y distribución de metales pesados en el agua de la zona de playa de Riohacha, La Guajira, Colombia. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 6(1), 123-131. <https://doi.org/10.22490/21456453.1268>
- Elizondo Acosta, E. M., & Freijo Torres, T. R. (2020). Estudio comparativo de la concentración de metales en el alga parda

- (Padina durvillaei) recolectada en la zona intermareal rocosa de las playas de Salinas y Ballenita [Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Químicas]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/49245>
- Gómez, J., & Salcedo, G. (2016). Evaluación de la calidad del agua en las Playas Turísticas de Puerto Colombia, Atlántico y su relación con las fuentes de contaminación. <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/279/1.140.873.174%20-%201.140.873.173.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Huayanay-Quevedo, C. M., Aldoradin Basilio, V., Guerra Santa Cruz, A., Huayanay-Quevedo, C. M., Aldoradin Basilio, V., & Guerra Santa Cruz, A. (2022). Presencia de *Escherichia coli* en la playa Pucusana, Lima, y su potencial efecto en la salud pública. *Acta Médica Peruana*, 39(1), 31-39. <https://doi.org/10.35663/amp.2022.391.2305>
- Malatesta Aulestia, S. A. (2016). Determinación de hierro y manganeso en el agua subterránea de consumo humano, Localidad El Triunfo, Distrito Las Piedras, Madre de Dios—Año 2016. <https://repositorio.uap.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12990/2191>
- Pérez-López, E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 29(3), 3-14. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i3.2884>
- Reyes-Duke, A. M., Paredes-Madrid, E., Escobar-Lara, A. F., & Ordóñez-Ávila, J. L. (2022). Economic Study of Robotic Ecosystem for the Coastal Zones of Omoa Honduras. 2022 IEEE *Central América and Panamá Student Conference (CONESCAPAN)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/CONESCAPAN56456.2022.9959128>
- Román Samaniego, O. R. (2016). Determinación de la presencia de nitratos/nitritos y manganeso en el agua proveniente del pozo parador turístico que alimenta la zona baja del cantón Huaquillas y su efecto a la salud pública. Propuesta de remoción usando un prototipo piloto. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/11951>
- Salles, V. M. (2017). Sistematización del monitoreo de calidad de agua marina. <https://marfund.org/en/wp-content/uploads/2018/04/Marine-Water-Quality-Monitoring-Program-Honduras.pdf>
- Sampieri, R., Collado, C., & Lucio, P. (2010). *Metodología de la Investigación* (5ta edición). <https://www.icmujeres.gob.mx/wp-content/uploads/2020/05/Sampieri.Met.Inv.pdf>
- Sigler, P. W. A., & Bauder, J. (2012). Alcalinidad, pH, y Sólidos Disueltos Totales. http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS%202012-11-15-SP.pdf
- Soria, P. L. D. (2021). Efecto bactericida de nanopartículas de hierro, cobre, zinc y plata en el tratamiento y desinfección de aguas residuales. *Revista Naturaleza y Tecnología*, Número 1, Enero-Abril 2021. <http://repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/6429>