



Evaluación sanitaria de playas mediante el uso de Drones y el índice de calidad en el litoral costero, Pisco, Ica

Beach health assessment using drones and the coastal quality index, Pisco, Ica

Avaliação da saúde das praias através do uso de Drones e do índice de qualidade na costa costeira, Pisco, Ica

ARTÍCULO ORIGINAL



Isis Cristel Córdova Barrios

isis.cordova@unica.edu.pe

Pedro Córdova Mendoza

pedro.cordova@unica.edu.pe

Teresa Oriele Barrios Mendoza

oriele.barrios@unica.edu.pe

Hernández Maytahuari Patricia Del Rosario

patricia.hernandez@unica.edu.pe

Paitan Cahua, Antonio Wilmer

antonio.paitan@unica.edu.pe

Universidad Nacional San Luis Gonzaga. Ica, Perú

Escanea en tu dispositivo móvil

o revisa este artículo en:

<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i25.339>

Artículo recibido: 20 de noviembre 2024 / Arbitrado: 20 de diciembre 2024 / Publicado: 27 de enero 2025

RESUMEN

Los drones son herramientas revolucionarias que mejoran la eficiencia del monitoreo de la calidad del agua, contribuyendo a una gestión más efectiva y sostenible de nuestros recursos hídricos. El objetivo de la investigación fue evaluar la calidad sanitaria de las playas en Pisco, Ica, utilizando drones y el Índice de Calidad del Agua Marina (ICAM) para monitorear la contaminación y su impacto en el turismo. Se emplearon drones con cámaras de alta resolución y sensores para capturar imágenes geoespaciales de las playas La Mina y San Andrés. Se analizó el ICAM considerando parámetros como pH, DBO5, turbidez y oxígeno disuelto. Los resultados mostraron que el ICAM osciló entre 88.33 y 88.52 en octubre y entre 88.43 y 88.13 en noviembre, indicando una calidad de agua favorable. La afluencia turística fue mayor en La Mina durante ambas fechas, manteniendo la calidad del agua en un rango aceptable ($70 < \text{ICAM} \leq 90$). Esto sugiere que las playas de Pisco tienen agua marina adecuada para actividades recreativas. El uso de drones facilitó una evaluación eficiente de áreas extensas, complementando la recopilación de datos del ICAM y mejorando el monitoreo ambiental. Se destacó la relación entre calidad del agua y turismo, ya que mejores condiciones acuáticas coincidieron con mayor afluencia. En conclusión, la combinación de drones e ICAM demostró ser efectiva para el monitoreo y gestión de la calidad del agua en las playas de Pisco, favoreciendo tanto la salud pública como el desarrollo turístico sostenible.

Palabras clave: Calidad del agua; Contaminación; Drones; Monitoreo; Turismo

ABSTRACT

Drones are revolutionary tools that enhance the efficiency of water quality monitoring, contributing to more effective and sustainable management of our water resources. The aim of the research was to assess the sanitary quality of the beaches in Pisco, Ica, using drones and the Marine Water Quality Index (ICAM) to monitor pollution and its impact on tourism. Drones equipped with high-resolution cameras and sensors were employed to capture geospatial images of La Mina and San Andrés beaches. The ICAM was analyzed considering parameters such as pH, BOD5, turbidity, and dissolved oxygen. Results showed that the ICAM ranged from 88.33 to 88.52 in October and from 88.43 to 88.13 in November, indicating favorable water quality. Tourist influx was higher in La Mina during both dates, maintaining water quality within an acceptable range ($70 < \text{ICAM} \leq 90$). This suggests that the beaches of Pisco have suitable marine water for recreational activities. The use of drones facilitated an efficient evaluation of extensive areas, complementing the data collection from the ICAM and improving environmental monitoring. The relationship between water quality and tourism was highlighted, as better aquatic conditions coincided with increased visitor numbers. In conclusion, the combination of drones and ICAM proved effective for monitoring and managing water quality in the beaches of Pisco, benefiting both public health and sustainable tourism development.

Key words: Contamination; Drones; Monitoring; Tourism; Water quality

RESUMO

Drones são ferramentas revolucionárias que aumentam a eficiência do monitoramento da qualidade da água, contribuindo para uma gestão mais eficaz e sustentável dos nossos recursos hídricos. O objetivo da pesquisa foi avaliar a qualidade sanitária das praias em Pisco, Ica, utilizando drones e o Índice de Qualidade da Água Marinha (ICAM) para monitorar a poluição e seu impacto no turismo. Foram utilizados drones equipados com câmeras de alta resolução e sensores para capturar imagens geoespaciais das praias La Mina e San Andrés. O ICAM foi analisado considerando parâmetros como pH, DBO5, turbidez e oxigênio dissolvido. Os resultados mostraram que o ICAM variou de 88,33 a 88,52 em outubro e de 88,43 a 88,13 em novembro, indicando uma qualidade de água favorável. A afluência turística foi maior em La Mina durante ambas as datas, mantendo a qualidade da água dentro de um intervalo aceitável ($70 < \text{ICAM} \leq 90$). Isso sugere que as praias de Pisco possuem água marinha adequada para atividades recreativas. O uso de drones facilitou uma avaliação eficiente de áreas extensas, complementando a coleta de dados do ICAM e melhorando o monitoramento ambiental. A relação entre qualidade da água e turismo foi destacada, pois melhores condições aquáticas coincidiram com um aumento no número de visitantes. Em conclusão, a combinação de drones e ICAM provou ser eficaz para o monitoramento e gestão da qualidade da água nas praias de Pisco, beneficiando tanto a saúde pública quanto o desenvolvimento turístico sustentável.

Palavras-chave: Contaminação; Drones; Monitoramento; Qualidade da água; Turismo

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional, la expansión del turismo y las actividades industriales en las zonas costeras han incrementado la presión sobre los ecosistemas marinos y su capacidad de regeneración, afectando la calidad ambiental de playas y cuerpos de agua. En este contexto, la vigilancia sanitaria de playas es un proceso fundamental para garantizar la salud pública, prevenir enfermedades relacionadas con la contaminación y promover un uso sostenible de estos espacios. La evaluación periódica del estado sanitario de las playas resulta crucial, especialmente en áreas como el litoral costero de Pisco, Ica, donde convergen importantes actividades socioeconómicas y ambientales.

El avance tecnológico en el nuevo milenio ofrece herramientas innovadoras, como el uso de drones (Vehículos Aéreos No Tripulados - UAV). Un dron es una aeronave pilotada a distancia, reutilizable y semiautónoma o autónoma, que permite realizar monitoreos aéreos precisos y de bajo costo. Facilitan la obtención de datos espaciales en tiempo real (1), detectando focos de contaminación y alteraciones en la línea costera, complementando la evaluación sanitaria basada en índices de calidad del agua. El Índice de Calidad de Playas (ICP) y otros indicadores ambientales permiten cuantificar el grado de contaminación según parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

En el siglo XXI, las zonas costeras enfrentan una situación crítica debido al incremento exponencial de las actividades humanas, como el turismo masivo, el desarrollo urbano no planificado y las descargas incontroladas de aguas residuales. Estos factores han exacerbado la contaminación de playas y ecosistemas marinos, generando problemas de salud pública y deterioro ambiental significativo (2). La acumulación de residuos sólidos, la presencia de microorganismos patógenos y la pérdida de calidad del agua constituyen amenazas que requieren monitoreo constante y soluciones innovadoras para garantizar la sostenibilidad de estos entornos.

En esta dirección, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) señala que numerosos destinos turísticos enfrentan desafíos significativos en la conservación de la calidad del entorno natural. Esta problemática afecta directamente la satisfacción de los visitantes y, como consecuencia, reduce los ingresos generados por las actividades turísticas (3). Lo cual se agrava con la descarga de aguas residuales en zonas costeras lo que aporta una elevada concentración de patógenos a los cuerpos de agua receptores (4), lo que aumenta significativamente el riesgo de problemas de salud para las comunidades costeras.

Asimismo, el litoral costero de Pisco, caracterizado por un clima árido y su vulnerabilidad

a la contaminación derivada de actividades humanas y descargas residuales, se presenta como un escenario ideal para implementar tecnologías emergentes. La combinación del uso de drones con el análisis del índice de calidad permite obtener una perspectiva integral sobre el estado sanitario de las playas, facilitando la identificación de riesgos para la salud y el diseño de estrategias efectivas de gestión ambiental. Esta investigación, al integrar metodologías innovadoras y herramientas tecnológicas, busca abordar los desafíos del nuevo milenio, promoviendo un equilibrio entre el desarrollo socioeconómico y la preservación de los ecosistemas costeros.

Por otro lado, la perspectiva de Principios y Práctica de la Gestión de Playas se centra en el análisis de parámetros físico-químicos y bacteriológicos para garantizar la calidad sostenible de los balnearios, considerando la seguridad, infraestructura, calidad del agua, limpieza y estética del entorno (5). Además, los estudios sobre contaminación de aguas marinas abordan aspectos económicos, como el Índice Integrado de Playas (Integrated Beach Index), utilizado en áreas urbanas costeras de California, México y Brasil (6). Su enfoque también valora el paisaje y las cualidades estéticas, reflejado en el método propuesto por Ergin, que ofrece una visión estática de la evaluación de playas (7).

En relación al índice de calidad del agua marina y costera es una herramienta fundamental

para analizar tanto las condiciones naturales como los impactos provocados por actividades humanas en los recursos hídricos de estas áreas. Este índice evalúa la calidad físico-química y sanitaria del agua, utilizando una escala de cinco niveles que varía desde óptima hasta pésima. Esta clasificación permite interpretar de manera clara el estado de conservación o degradación del entorno marino y costero, contribuyendo a una gestión eficiente y a la toma de decisiones enfocadas en su protección y uso sostenible (8).

Por otra parte, El Índice de Calidad Ambiental del Agua Marina para Uso Recreativo (ICAMPRAP) se desarrolló en un programa integral de monitoreo para analizar los desechos marinos en Kandakuliya, Sri Lanka. Este trabajo enfatiza áreas dependientes del turismo, donde la acumulación de desechos representa un desafío ambiental y socioeconómico. Garantizar un monitoreo continuo y eficiente de la calidad de las playas es esencial para evaluar el nivel de contaminación y tomar medidas que reduzcan los impactos negativos en estos ecosistemas frágiles, principalmente afectados por residuos marinos (9,10).

Además, la Ley General del Ambiente, en su artículo 2, establece principios fundamentales como el derecho de toda persona a vivir en un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de la vida, así como la obligación del Estado de garantizar la protección, conservación y mejora de la calidad ambiental. Además, se debe velar por

el uso sostenible de los recursos naturales, lo que incluye la regulación sobre la calidad del agua (11).

En este contexto, Playa Las Minas, ubicada en la Reserva Nacional de Paracas, destaca por su alta biodiversidad y atractivo turístico, mientras que Playa San Andrés enfrenta presiones por actividades humanas como la pesca y el turismo, convirtiéndose en un área clave para evaluar los impactos sobre la calidad del agua y el estado sanitario de las playas. Esta dualidad permite obtener un análisis integral sobre el estado sanitario de las playas en el litoral de Pisco, Ica, proporcionando datos valiosos para la planificación ambiental y la gestión sostenible del recurso marino-costero.

Por tanto, el objetivo de la investigación es evaluar la calidad sanitaria de las playas en el litoral costero de Pisco, Ica, mediante el uso de drones y el Índice de Calidad del Agua Marina (ICAM), con el fin de monitorear la contaminación del agua y su impacto en la actividad turística.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo bajo un enfoque cuantitativo, de tipo observacional-transversal, aplicado y con un alcance descriptivo. Este enfoque permite observar las condiciones sanitarias de las playas en tiempo real, utilizando drones y un índice de calidad, sin intervenir directamente en los factores evaluados (carácter observacional). Asimismo, la naturaleza transversal del estudio implica que los datos se recopilan en un momento específico para evaluar el estado sanitario de las playas seleccionadas.

En este sentido, Playa Las Minas, se ubica dentro de la Reserva Nacional de Paracas, es un entorno de alta biodiversidad y atractivo turístico. Por otro lado, Playa San Andrés, está situada en las proximidades de una zona urbana y portuaria Figura 1.

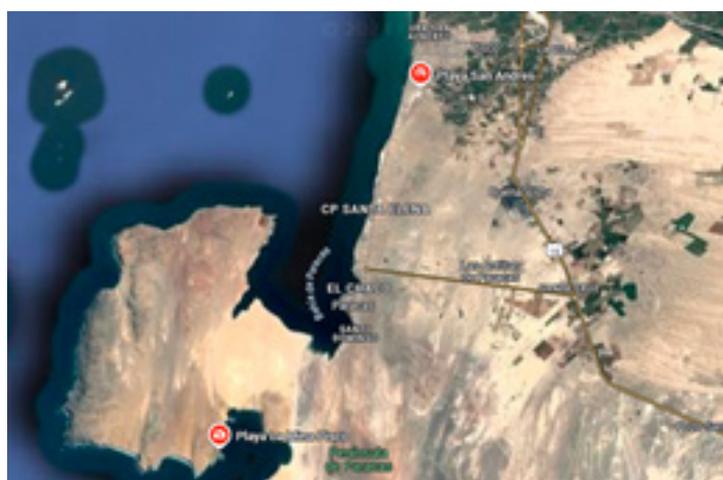


Figura 1. Playa la Mina y playa San Andrés.

La población objeto de investigación estuvo conformada por las playas del litoral costero de Pisco, y la muestra a investigar fueron las Playas Las Minas y San Andrés, seleccionadas por su relevancia ambiental y vulnerabilidad a actividades humanas. Estas playas son adecuadas para evaluar la calidad ambiental y sanitaria de sus aguas. Los puntos de muestreo fueron determinados mediante un método no probabilístico por conveniencia, considerando criterios como accesibilidad, representatividad ambiental y proximidad a fuentes de contaminación. En cada punto, se realizaron mediciones y recolección de muestras en diferentes jornadas, teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas durante la recolección.

En cuanto a las técnicas empleadas para la recolección de datos incluyeron equipos portátiles y sensores para medir parámetros físico-químicos como pH, temperatura, oxígeno disuelto y turbidez, lo que permitió obtener datos en tiempo real sobre las condiciones del agua en las zonas de muestreo. Se realizaron muestreos de agua siguiendo un protocolo riguroso para garantizar la calidad y representatividad de las muestras, que fueron transportadas a un laboratorio certificado para análisis microbiológicos y químicos.

Además, se utilizaron drones para registrar imágenes aéreas detalladas de las playas, complementando la evaluación visual del entorno y ayudando a identificar fuentes de contaminación.

Finalmente, los datos obtenidos se compararon con los estándares de calidad del agua establecidos en la normativa vigente, específicamente el D.S. N°004-2017-MINAM, para evaluar el cumplimiento ambiental y determinar áreas que requieren intervención.

Asimismo, fueron empleados un medidor de pH, termómetro de alta precisión, medidor de oxígeno disuelto (OD), turbidímetro. Además, materiales como bolsas de muestreo de agua y botellas esterilizadas, las cuales se utilizaron para recolectar muestras de agua en distintos puntos del litoral costero.

En relación a los materiales se utilizaron envases de plástico y vidrio con capacidad de 1 litro, de color ámbar, destinados para la recolección de muestras. Probetas graduadas de 1000 ml y 100 ml, así como conos Imhoff, empleados para realizar mediciones volumétricas precisas. Cajas térmicas diseñadas para el transporte y conservación adecuada de las muestras a completar el formulario de registro de custodia.

Luego, para el procesamiento de las muestras en el laboratorio acreditado INACAL y de campo, se evaluaron los parámetros fisicoquímicos en los puntos de monitoreo (PC-01 y PC-02) para determinar su influencia en la calidad del agua marina para la actividad turística de contacto primario, según el D.S. N°004-2007-MINAM. Los parámetros analizados incluyeron demanda bioquímica de oxígeno, sólidos totales

suspendidos, pH, temperatura y oxígeno disuelto. Los muestreos se realizaron siguiendo las regulaciones ambientales vigentes en Perú, de acuerdo con la Ley General del Ambiente (Ley N° 28611). El laboratorio Envirotest S.A.C., acreditado por INACAL, garantizó la validez de los resultados obtenidos.

En cuanto al procesamiento, análisis e interpretación de datos, los mismos se sometieron

a un proceso de ponderación de la calidad del agua marina para uso recreativo, elaboración de la escala de calidad del agua marina enfocado a fines recreativos (ICAMRAP), obtención de curvas de calidad, ecuación para subíndice de calidad, ecuación para determinar el índice de calidad del agua marina para uso recreativo (ICAMRAP) (8), Tabla 1.

Tabla 1. Ponderación de las variables para la formación de ICAM.

Tipo de Variable	Parámetro	Método	Referencia	Unidad de medida	Ponderación
Físico químicas	pH	Potenciométrico	APHA et al., 2012 (N°4500-H B)	Unidad	0,24
	DB05	Incubación directa a 20°C por 5 días	APHA et al., 2012 (N°5210 B)	mg/L	0,18
	OD	Membrana permeable	APHA et al., 2012 (N°4500-O G).	mg/L	0,21
	Temperatura			°C	0,16
	Turbiedad	Turbiedad	APHA et al., 1995 (N°2130-B)	NTU	0,14

*El ICAM utiliza variables con unidad de medida, métodos y factores de ponderación para evaluar la calidad del agua marina y costero (13).

Para la elaboración de la escala de calidad del agua marina enfocado a fines recreativos (ICAMRAP), se utilizaron las escalas de calidad como puntos de referencia para convertir el resultado del índice en una evaluación cualitativa que refleja la calidad del cuerpo de agua analizado.

La Tabla 2 proporcionó esta información, permitiendo asignar una categoría de calidad al cuerpo de agua, lo que facilitó la interpretación de los resultados y posibilitó una evaluación cualitativa de su condición (8).

Tabla 2. Escala de valoración del ICAM.

Escala de calidad	Color	Categorías	Posibles acciones a implementar
Óptima	Azul	100 - 90	Calidad excelente de agua
Adecuada	Verde	90 - 70	Calidad del agua satisfactoria
Aceptable	Amarillo	70 - 50	Calidad del agua aceptable
Inadecuada	Naranja	50 - 25	Calidad del agua deficiente
Pésima	Rojo	25 - 0	Calidad del agua muy pobre

Posteriormente, para determinar el subíndice de calidad, se emplean las siguientes ecuaciones. Cabe resaltar que este índice está diseñado y aplicado de manera exclusiva para evaluar la

calidad de las aguas marinas, tomando en cuenta los diversos aspectos ambientales y biológicos relevantes, según se muestra en la tabla 3 (12,13).

Tabla 3. Subíndices de calidad del agua marina.

Variable	Ecuación para subíndice calidad
pH	$X_{pH} = 0.0149(pH)^6 - 0.2019(pH)^5 - 3.2287(pH)^4 + 79.072(pH)^3 - 568.84(pH)^2 + 1735.3(pH) - 1929$
OD	$X_{OD} = 0.0058(OD)^5 - 0.1548(OD)^4 + 1.2426(OD)^3 - 2.987(OD)^2 + 12.105(OD) - 0.4845$
DBO5	$X_{DBO5} = 0.0252(DBO5)^5 - 0.1176(DBO5)^4 + 4.7091(DBO5)^3 - 22.767(DBO5)^2 + 6.0583(DBO5) + 99.403$
Temperatura	$X_{Temp} = 0.000006(T)^6 - 0.0002(T)^5 + 0.0033(T)^4 + 0.0181(T)^3 - 0.7687(T)^2 - 0.6377(T) + 92.44$
Turbiedad	$X_{Turb} = 0.000001(Turb)^4 - 0.0004(Turb)^3 + 0.0443(Turb)^2 + 2.5597(Turb) + 98.273$

En esta dirección, en el desarrollo de un índice de calidad, se emplea comúnmente una fórmula de agregación conocida como promedio geométrico ponderado. Esta fórmula asigna pesos a cada parámetro y calcula un promedio ponderado, lo que permite obtener una medida integral y equilibrada de la calidad del fluido, considerando la relevancia de cada parámetro evaluado (8,13).

$$ICAM = \left(\prod_{i=1}^n X_i^{w_i} \right)^{\frac{1}{\sum w_i}} \quad (\text{Ecu.1})$$

Seguido, se realiza una modificación en la ecuación, que se resume de la siguiente manera: la ecuación utilizada para determinar el ICAM (13).

$$ICAM_{RAP} = \left[(X_{pH})^{0.24} (X_{O.D.})^{0.21} (X_{DBO5})^{0.18} (X_{Temp})^{0.16} (X_{Turb})^{0.14} \right] \quad (\text{Ecu.2})$$

Por último, se utilizó una función de agregación para la elaboración del ICAM de la Escala de calidad para variables del ICAM. En esta investigación se aplicó la función de agregación de la media

geométrica ponderada, una de las técnicas más comunes y sensibles para desarrollar un índice de calidad del agua. Esta ecuación permite evaluar los

cambios en la calidad del agua y es ampliamente utilizada a nivel mundial, como se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4. Escala de calidad para variables del ICAM.

Categoría de Calidad	Índice	pH (Unidad)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Temp. (°C)*
Optima	100 - 90	8,5-7,5	10 - 7,0	0,0 - 1,0	0 - 2,9	0 - 1
Adecuada	90 - 70	7,5 - 7,0	7,0 - 6,0	1,0 - 1,5	2,9 - 13	1 - 8,5
Aceptable	70 - 50	7,0 - 6,5	6,0 - 4,0	1,5 - 2,0	13 - 30	5,5 - 8,5
Inadecuada	50 - 25	6,5 - 6,0	4,0 - 2,0	2,0 - 3,0	30 - 66	8,5 - 3,5
Pésima	25 - 0	<6,0 - >9,0	2,5 - 0 ->10	> 3,0	>80	>15

* La Escala de calidad para la Temperatura manejada en el índice corresponde al diferencial entre temperatura ambiente y temperatura del agua ($T_{\text{ambiente}} - T_{\text{agua}}$) (13).

La información obtenida se sometió a un análisis estadístico detallado, permitiendo evaluar las características físico-químicas y microbiológicas del agua. Posteriormente, los resultados se compararon con los estándares de calidad del agua marino-costero establecidos en el D.S. N°004-2017-MINAM, para determinar el nivel de cumplimiento ambiental y sanitario de las playas estudiada (14).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las actividades turísticas de contacto primario, como la natación y el buceo, dependen de la calidad del agua para garantizar la seguridad y satisfacción de los turistas. Por lo tanto, el uso de drones en el monitoreo ambiental en estas áreas busca proporcionar información precisa y en tiempo real sobre el estado del agua, permitiendo la implementación de medidas correctivas en caso de ser necesario y contribuyendo a la sostenibilidad del

turismo en la región. Esto permitió una evaluación más precisa de la temperatura en la calidad del agua, así como la capacidad de responder rápidamente a cualquier cambio en la calidad del agua natural por condiciones antropogénicas.

La toma de muestras en las playas bajo investigación se realizó durante la mañana, las temperaturas ambientes fueron de 27.2 oC y 27.9 oC, en las fechas 13/10/2024 y 10/11/2024 respectivamente. Lo que permitió obtener datos consistentes y representativos de las condiciones del agua en las horas iniciales del día, cuando la actividad humana suele ser más baja.

En este sentido, los análisis fisicoquímicos del agua marina de la costa de Pisco, se presentan en la tabla 5. En las muestras tomadas el 13 de octubre y el 10 de noviembre de 2024, el pH se mantuvo entre 7.51 y 7.54, indicando un ambiente ligeramente alcalino. La demanda biológica de oxígeno (DBO5)

fue similar en ambas playas, oscilando entre 1.45 y 1.50 mg/L, lo que sugiere una baja contaminación orgánica. La concentración de oxígeno disuelto (OD) se mantuvo alrededor de 6 mg/L, esencial para la vida acuática. Las temperaturas variaron

entre 28.2 y 28.9 °C, y la turbidez fue moderada, destacando la importancia de estos resultados para el monitoreo ambiental y la gestión sostenible de recursos hídricos en la región.

Tabla 5. Datos de parámetros fisicoquímicos.

Fechas	Características del muestreo	Playa La Mina (PC-01)	Playa San Andrés (PC-02)
13/10/2024	pH	7.51	7.54
	DBO5 (mg/L)	1.45	1.50
	OD (mg/L)	6.01	6.00
	Temperatura (°C)	28.4	28.2
	Turbiedad	7.9	7.1
10/11/2024	pH	7.52	7.54
	DBO5 (mg/L)	1.45	1.48
	OD (mg/L)	6.02	6.01
	Temperatura (°C)	28.9	28.9
	Turbiedad	7.4	7.2

Por otra parte, al evaluar la calidad del agua en las playas La Mina y San Andrés en las dos fechas señaladas, utilizando el ICAM. Los resultados obtenidos para cada uno de los seis puntos de monitoreo fueron los siguientes: PC-01=88.33, PC-02=88.52, PC-03=88.43, PC-04=88.15.

Lo que confirma que la calidad del agua utilizada en las playas turísticas de Ocucaje, en la ciudad de Ica, se encuentra en la categoría adecuada, según la escala de calidad establecida ($70 < \mu$ (Categoría: Adecuada) ≤ 90). Por lo tanto, se debe mantener una vigilancia permanente

para prevenir posibles fuentes de contaminación o acciones que puedan impactar negativamente en la naturaleza del agua, y se recomienda crear conciencia en la sociedad sobre la importancia del cuidado del ambiente. Además, se observó que la calidad del agua marina en la zona costera de la provincia de Pisco se encuentra dentro de los límites establecidos por el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM, lo que indica que la naturaleza del fluido en las playas de la provincia de Pisco, es satisfactoria.

Tabla 6. Valoración de la calidad del agua marina de las playas La Mina y San Andrés.

P.M.	Dist. (m)	Prof. (m)	pH	DBO ₅	OD	ΔT (°C)	Turb.	ICAM	Calidad Agua
PC-1	15	0.3	7.51	1.45	6.01	5.5	7.9	88.33	
PC-2	15	0.3	7.54	1.50	6.00	5.6	7.1	88.52	
PC-3	15	0.3	7.53	1.48	6.00	5.4	7.7	88.43	
PC-4	15	0.3	7.52	1.45	6.02	5.5	7.4	88.15	

Además, se analizó la relación entre el índice de calidad del agua marina para uso recreativo y la afluencia de turistas en las playas turísticas de la provincia de Pisco. En términos generales, se observa que los valores del ICAM se mantienen en un rango alto en ambas fechas, lo que indica una calidad satisfactoria del agua marina en las playas de la provincia de Pisco. Los valores de ICAM

oscilan entre 88.15 y 88.43 el 10 de noviembre, y entre 88.33 y 88.52 el 13 de octubre. Dado que el ICAM utiliza una escala de 0 a 100, estos valores sugieren que la calidad del agua es adecuada, ya que se encuentra en el rango correspondiente ($70 < ICAM \leq 90$), según lo establecido en el estudio Tabla 7.

Tabla 7. ICAMR_{AP}

Fechas	La Mina	San Andrés
	ICAMR _{AP}	ICAMR _{AP}
13/10/2024	88.83	88.52
10/11/2024	88.43	88.15

Discusión

Los resultados de la evaluación sanitaria de playas mediante el uso de drones y el índice de calidad en el litoral costero de Pisco, Ica resalta la efectividad de esta tecnología, para monitorear la calidad del agua en las playas. El uso de drones (UAS) y sistemas de información geográfica (SIG) permite realizar un mapeo preciso y detallado de los cuerpos de agua costeros, facilitando la

detección de contaminación y la evaluación de las condiciones sanitarias de las playas en tiempo real. Esto no solo mejora la capacidad de respuesta ante posibles problemas ambientales, sino que también ayuda en la planificación de estrategias de manejo y conservación, lo que coincide con otros autores (15), que han desarrollado protocolos para la recolección de datos mediante drones y verificación en campo, utilizando aprendizaje automático para

la clasificación y mapeo de hábitats costeros, mejorando la eficiencia y precisión en estos procesos.

En este sentido, los resultados obtenidos en la zona de estudio muestran que la calidad del agua en las playas de Pisco, Ica, se mantuvo dentro de rangos aceptables según los estándares nacionales e internacionales, lo que refleja una buena gestión en cuanto a la conservación del entorno marino. De acuerdo con estudios previos (16), la calidad del agua es un factor determinante para el desarrollo de actividades turísticas sostenibles, lo que subraya la importancia de mantener un monitoreo constante utilizando tecnologías avanzadas.

Además, el Índice de Calidad de Agua Marina (ICAM) utilizado en este estudio permitió clasificar las playas según la calidad del agua y contribuir a la protección de la biodiversidad marina. La capacidad de los drones para detectar zonas con mayores niveles de contaminación, especialmente en áreas cercanas a la costa, facilita la identificación de puntos críticos que requieren intervención. Este hallazgo coincide con investigaciones (17), que también destacaron la efectividad de los drones en la detección temprana de contaminantes y la mejora de la gestión ambiental en zonas costeras.

Por último, la relación entre la calidad del agua y la atracción turística ha sido documentada por otros autores (18), quienes encontraron que las playas con mejor calidad de agua atraen a más turistas, especialmente en destinos de turismo de contacto primario. Esta conexión refuerza la idea

de que el monitoreo continuo de la calidad del agua mediante drones puede ser un factor clave no solo para la protección ambiental, sino también para el impulso de la actividad turística en la región costera de Ica.

CONCLUSIONES

La evaluación sanitaria de playas en Pisco, Ica, mediante drones y el Índice de Calidad del Agua Marina (ICAM) destaca la relevancia de la tecnología en el monitoreo ambiental. Los drones se mostraron efectivos para el monitoreo de la calidad del agua, permitiendo la detección temprana de contaminación y una respuesta rápida. El ICAM facilitó la evaluación objetiva de parámetros como pH y turbidez, indicando que las playas cumplen con los estándares para uso recreativo. Además, se evidenció que la calidad del agua influye en la actividad turística, ya que playas con mejor calidad atraen más visitantes. Este enfoque no solo beneficia la salud pública, sino que también apoya el desarrollo económico a través del turismo. Asimismo, el uso de drones y el ICAM contribuyen a la conservación de la biodiversidad marina, permitiendo implementar medidas preventivas ante la contaminación. Este modelo podría replicarse en otras zonas costeras para mejorar la gestión ambiental.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS

- Ojeda-Bustamante W, Flores-Velázquez J, Ontiveros-Capurata R. Uso y manejo de drones con aplicaciones al sector hídrico. 1st ed. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA); 2016. https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/riego-drenaje/uso-y-manejo-de-drones.pdf
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Acción Planetaria. Nueva York: Programa Para el Medio Ambiente; 2021. <https://www.unep.org/resources/making-peace-nature>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Foro de medio ambiente en Colombia busca promover la agenda medioambiental de los ODS. Objetivos del desarrollo sostenible. Colombia; 2016. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2016/03/pnuma-foro-de-medio-ambiente-en-colombia-busca-promover-la-agenda-medioambiental-de-los-ods/>
- Lukoseviciute G, Panagopoulos T. Management priorities from tourists' perspectives and beach quality assessment as tools to support sustainable coastal tourism. *Ocean Coast Manag.* 2021; 208:105646. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2021.105646.
- Beach Management Principles & Practice. 1st ed. London: Earthscan in association with the International Institute for Environment and Development; 2009. <https://n9.cl/ia16p>
- Cervantes O, Espejel I. Design of an integrated evaluation index for recreational beaches. *Ocean Coast Manag.* 2008;51(5):410-419. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2008.01.007.
- Rangel-Buitrago N, Correa I, Anfuso G, Ergin A, Williams AT. Assessing and managing scenery of the Caribbean Coast of Colombia. *Tour Manag.* 2013; 35:41-58. doi: 10.1016/j.tourman.2012.05.008.
- Vivas-Aguas L, Navarrete-Ramírez S. Protocolo indicador calidad de agua (ICAMPFF). Indicadores de monitoreo biológico del subsistema de áreas marinas protegidas (SAMP). Colombia: AquaDocs; 2014. <https://observatorio.epacartagena.gov.co/protocolo-indicador-calidad-de-agua-icampff-indicadores-de-monitoreo-biologico-del-subsistema-de-areas-marinas-protegidas-samp/>
- Sandaruwan D, Bellanthudawa K, Perera J, Udayanga A, Jayapala P. Index based approach for assessment of abundance of marine debris and status of marine pollution in Kandakuliya, Kalpitiya, Sri Lanka. *Mar Pollut Bull.* 2023; 197:115724. doi: 10.1016/j.marpolbul.2023.115724.
- Lima L. Efecto del vertimiento de aguas residuales domiciliarias en la calidad del agua en el río Sicra Lircay – Huancavelica 2018. Universidad Continental; 2020. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8449/4/IV_FIN_107_TE_Lima_Huacho_2020.pdf.
- Ley General del Ambiente N° 28611, LEY No 28611; 2005. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-28611.pdf>
- Orosco-Moreyra E, Vivas-Aguas L, Alcantara A. Desarrollo de un índice numérico de calidad de agua marina para la pesca y maricultura en la costa central del Perú. *Rev Investig Fac Minas Metal Ciencias Geogr.* 2022; 25:401-410. <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/681710>
- Gómez J, Salcedo G. Evaluación de la calidad del agua en las playas turísticas de Puerto Colombia, Atlántico y su relación con las fuentes de contaminación. Universidad de la Costa; 2016. <https://repositorio.cuc.edu.co/entities/publication/5443cd9a-2055-4100-bde6-d9c9e5d33e6f>
- DS N°004-2017-MINAN. Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias [newspaper]. *El peruano*; Lima - Perú; 2017. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-004-2017-minam/>
- Kvile KØ, et al. Drone and ground-truth data collection, image annotation and machine learning: A protocol for coastal habitat mapping

and classification. *MethodsX*. 2024; 13:102935 doi: 10.1016/j.mex.2024.102935.

16. Vázquez-Rowe I, Biberos-Bendezú K, Moya L, Deville A, Ita-Nagy D, Kahhat R. Analyzing the behavior of beachgoers in the city of Lima and their relationship with potential plastic emissions. *Mar Policy* . 2024; 170:106403 doi: 10.1016/j.marpol.2024.106403.

17. McCarroll R, Kennedy D, Liu J, Allan B, Ierodiaconou D. Design and application of coastal erosion indicators using satellite and drone data for a regional monitoring program . *Ocean Coast Manag.* 2024 ;253 :107146 doi :10 .1016 /j. ocecoaman .2024 .107146.

18. Diniz LL, et al. Evaluation of tourist carrying capacity to support recreational beaches management. *Ocean Coast Manag.* 2024 ;249 :107022 doi :10 .1016 /j. ocecoaman .2004.107022.

ACERCA DE LOS AUTORES

Isis Cristel Córdova Barrios. Ingeniera Ambiental y Sanitaria, Universidad Nacional San Luis Gonzaga-Ica. Magister Scientiae en Ingeniería Química con mención en Seguridad Industrial y Ambiental, Universidad Nacional del Altiplano-Puno. Doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Universidad Inca Garcilaso de la Vega. Docente Auxiliar de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria - UNICA. Docente Investigador - UNICA. Especialista en Sistemas Integrado de Gestión y Auditora Ambiental. Expositor Nacional e Internacional. Publicación de artículos científicos en revistas indexadas, Perú.

Pedro Córdova Mendoza. Ingeniero Químico. Magister en Ingeniería Mecánica con mención en Ingeniería del Gas Natural. Doctor en Gestión del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Especialista en sistema de control, Tecnologías limpias. Universidad Autónoma De Ica, Perú.

Teresa Oriele Barrios Mendoza. Maestría en Investigación y Docencia Universitaria, Universidad Inca Garcilaso de la Vega. Doctor en Administración, UIGV. Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible-UIGV. Docente Principal de la Facultad de Ingeniería Química y Petroquímica, docente Investigador. Publicaciones en revistas Indexadas. Asesora de Investigaciones Ganadoras de Concurso de Tesis de Posgrado de Maestría y Doctorado, Perú.

Patricia Del Rosario Hernández Maytahuari. Economista. Maestro de la Universidad Nacional "San Luis Gonzaga". Profesional en Administración de Negocios con Mención en Finanzas de IPAE. Licenciatura de Administración de Empresas de la Universidad de la Integración de las Américas de Paraguay en convenio con IPAE, Perú.

Antonio Wilmer Paitan Cahua. Ingeniero y Abogado. Maestro en Derecho. Doctor en Derecho y Ciencia Política; docente en distintas universidades a nivel de Posgrado, Perú.