



Universidad Nacional

SAN LUIS GONZAGA



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales Creative Commons, permitiendo a otras solo descargar sus obras y compartirlas con otras siempre y cuando den crédito, pero no pueden cambiarlas de forma alguna ni usarlas de forma comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA

EVALUACION DE ORIGINALIDAD

ATIT_2024-FIAS-103

CONSTANCIA

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

**“Evaluación de la calidad del agua mediante el nivel de contaminación del río
Pisco, Ica, 2024”**

Presentado por:

QUISPE RODRIGUEZ, MARIA MAYLEE

Autor(a) del nivel PREGRADO de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria El resultado obtenido es **PORCENTAJE DE SIMILITUD del 2%** por el cual se otorga el calificativo de:

APROBADO,

Según Reglamento de Evaluación de la Originalidad

Con CÓDIGO DE MATRÍCULA N° **20163262**

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Ica, 17 de Septiembre del 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
UNIDAD DE INVESTIGACION

DR. FELIX RICARDO BELLI CARHUAYO
DIRECTOR



UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria



TESIS

**Evaluación de la calidad del agua mediante el nivel de
contaminación del río Pisco, Ica, 2024**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Ciencias naturales, Ingeniería y Tecnologías Sostenibles

AUTOR:

Bach. QUISPE RODRÍGUEZ MARIA MAYLEE

Ica, Perú

2025

DEDICATORIA

A mis queridos padres, sin cuyo amor incondicional, apoyo constante y sacrificio incansable, no habría sido posible alcanzar este logro.

También quiero dedicar este logro a mi preciosa hija, quien ha sido mi motivación y alegría en este camino. Tu sonrisa y amor me han dado la fuerza para seguir adelante.

Y a mis hermanos, su presencia en mi vida ha sido un regalo invaluable.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a **Dios**, quien ha sido mi guía y fuente de inspiración en este camino.

A mis **padres, María y Enrique**, mi gratitud eterna por su apoyo incondicional. Su amor, sabiduría y generosidad me han brindado la fortaleza necesaria para culminar este proyecto. Su inversión en mi educación es un regalo que atesoraré siempre.

A mi querida **hija Adahara**, eres mi motivación y alegría. Espero que un día puedas ver con orgullo el fruto de mi esfuerzo y que te inspiren a alcanzar tus propias metas.

A mis **hermanos Luis y Juan**, gracias por su presencia y apoyo en cada paso.

A todos ustedes, mi agradecimiento más sincero. Esta tesis es un reflejo de su amor, apoyo y dedicación.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
INDICE DE CONTENIDO	iv
INDICE DE TABLAS	vi
INDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRAC	ix
I. INTRODUCCION	10
1.1 Situación problemática.....	12
1.2 Antecedentes de la Investigación.....	13
1.2.1 Antecedentes Internacionales	13
1.2.2 Antecedentes Nacionales.....	15
1.2.3 Antecedentes Locales.....	16
1.3 Bases Teóricas.....	16
1.3.1 Contaminación de las aguas.....	16
1.3.2 Aguas residuales	17
1.3.3 “Recurso hídrico	17
1.3.4 Calidad del Agua.....	17
1.3.5 Los agentes contaminantes	18
1.3.6 Parámetros fisicoquímicos.....	18
1.3.7 Bacteriología en la calidad del agua.....	18
1.3.8 “Índice de calidad ambiental del agua marina (ICAM)”	18
1.4 Formulación del problema general	19
1.4.1 Problema general.....	19
1.4.2 Problemas específicos	19
1.5 Objetivos.....	19
1.5.1 Objetivo principal.....	19
1.5.2 Objetivos Específicos	19
1.6 Hipótesis y variables de la investigación.....	20
1.6.1 Hipótesis principal.....	20
1.6.2 Hipótesis Específica	20
1.7 Variables	20
1.7.1 Variable independiente	20
1.7.2 Variable dependiente.....	20

1.7.3	Operacionalización de Variable.....	22
1.8	Justificación e Importancia de Investigación	23
1.8.1	Justificación	23
1.8.2	Importancia.....	23
1.9	Norma legal.....	24
II.	ESTRATEGIA METODOLOGIA.....	26
2.1.	Área de estudio	26
2.2.	Descripción del Área de Estudio	26
2.3.	Coordenadas Geográficas	27
2.4.	Áreas Específicas.....	27
2.5.	Metodología de la investigación	27
2.6.	Población y muestra	28
2.6.1.	Instrumentos de recolección de datos	30
2.6.2.	Técnicas de recolección de datos	32
2.6.3.	Análisis e interpretación de datos.....	33
III.	RESULTADOS	34
3.1.	“Formular la calidad del agua y el nivel de contaminación del río Pisco”	34
3.2.	“Caracterizar la calidad del agua en la reducción de las cargas contaminantes en el río Pisco”.	41
3.3.	Evaluar el índice de la calidad del agua y las condiciones de contaminación del río Pisco”.....	44
IV.	DICUSION.....	52
4.1.	Discusión de resultado de la calidad del agua y el nivel de contaminación del río Pisco.	52
4.2.	Discusión de resultado de la calidad del agua en la reducción de las cargas contaminantes en el río Pisco.	52
4.3.	Discusión de resultado del índice de la calidad del agua y las condiciones de contaminación del río Pisco	53
V.	CONCLUSIONES.....	55
VI.	RECOMENDACIONES	57
VII.	REFERENCIAS.....	58
ANEXOS		65

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Operacionalización de variable	22
Tabla 2.	Estándares de la Calidad Ambiental (ECA) para la calidad de agua (Categoría 4: Conservación del ambiente acuático)	25
Tabla 3.	Descripción y Ubicación en “Coordenadas UTM el Punto de Monitoreo de Calidad del Agua	29
Tabla 4.	Metodología empleada en el monitoreo de la calidad de agua	31
Tabla 5.	Metodología empleada en el monitoreo de la naturaleza del fluido	32
Tabla 6.	Peso relativo o facto de ponderación aplicado a cada uno de los parámetros usados en el ICA [33]	34
Tabla 7.	Rangos de clasificación del agua usados en el ICA	40
Tabla 8.	Resultados del muestreo de calidad de agua	41
Tabla 9.	Resultados monitoreo en el I Trimestre_MQ-01_Abril-2024	44
Tabla 10.	Calculo Especial OD (Aguas arriba)	44
Tabla 11.	Resultados monitoreo en el II Trimestre_MQ-02_Abril-2024	45
Tabla 12.	Calculo Especial OD (Vertimiento de aguas residuales)	46
Tabla 13.	Resultados monitoreo en el III Trimestre_MQ-02_Abril-2024	47
Tabla 14.	Calculo Especial OD (Aguas Abajo)	47
Tabla 15.	Resultados del Monitoreo	48
Tabla 16.	Se calculo el estadístico de prueba (Estadística Descriptiva)	49

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Recorrido del rio Pisco desemboca en el Océano Pacifico	26
Figura 2.	Curva de calidad de la DBO_5 [33]	36
Figura 3.	Curva de calidad de OD [33]	36
Figura 4.	Curva de calidad de Coliformes fecales [33]	37
Figura 5.	Curva de calidad de Nitratos [33]	37
Figura 6.	Curva de calidad de pH [33]	38
Figura 7.	Curva de calidad de Temperatura [33]	38
Figura 8.	Curva de calidad de Solidos totales disueltos [33]	39
Figura 9.	Curva de calidad de Fosfatos [33]	39
Figura 10.	Curva de calidad de Turbidez [33]	40
Figura 11.	Valores o rangos de ICA_a , monitoreo de los tres puntos	48
Figura 12.	Distribución de t-Student para el monitoreo en el índice de la calidad del agua. Puntos MQ-01, MQ-02 y MQ-03	51

RESUMEN

El **objetivo**, de la investigación fue formular que la calidad del agua contribuye en la mejora significativa en el nivel de contaminación del río Pisco, Ica, 2024. Los **material y métodos**, se realizaron muestreos en tres puntos clave del río Pisco (MQ- 01, MQ-02 y MQ-03) durante el primer trimestre de 2024. “Los parámetros analizados incluyeron la DBO5, OD, coliformes fecales, nitratos, pH, temperatura, TDS, fosfatos y turbidez”. “Estos parámetros fueron medidos y comparados con los valores constituidos en el D.S. N°004-2017-MINAM para la custodia del medio fluvial. El análisis se realizó siguiendo protocolos estándar para garantizar la precisión y la representatividad de los resultados”. Los **resultados**, la calidad del agua en los puntos de muestreo MQ-01 y MQ-03 se encuentra dentro de los límites permitidos por los ECA. Sin embargo, en el punto MQ-02, se observó un nivel elevado de DBO5 (14 µg/L) y un nivel bajo de OD (4.2 µg/L), lo que sugiere la presencia de una carga orgánica significativa y un potencial estrés para la biota acuática. La **discusión**, se destaca la importancia de la identificación de focos de contaminación orgánica en el río Pisco, especialmente en el punto MQ-02, donde se detectaron desviaciones significativas en los niveles de DBO5 y OD. Estos hallazgos son preocupantes, ya que la presencia de materia orgánica biodegradable puede reducir los niveles de oxígeno disuelto, afectando la vida acuática y comprometiendo la salud del ecosistema”. Se **concluye**, la identificación de estos problemas es crucial para la protección del ecosistema acuático y la salud pública, así como para el cumplimiento de las normativas ambientales.

Palabras Claves: *Índice de Calidad del Agua, Contaminación del río, Calidad del agua, Ecosistema acuático, Salud pública*

ABSTRAC

The **objective** of the research was to formulate that water quality contributes to the significant improvement in the level of pollution of the Pisco River, Ica, 2024. **Material and methods**, sampling was carried out at three key points of the Pisco River (MQ-01, MQ-02 and MQ-03) during the first quarter of 2024. "The parameters analyzed included Biological Oxygen Demand (BOD5), dissolved oxygen (DO), fecal coliforms, nitrates, pH, temperature, total dissolved solids (TDS), phosphates and turbidity." "These parameters were measured and compared with the values established in Supreme Decree No. 004-2017-MINAM for the conservation of the aquatic environment. The analysis was carried out following standard protocols to ensure the accuracy and representativeness of the results." **The results**, the water quality at sampling points MQ-01 and MQ-03 is within the limits allowed by the ECA. However, at point MQ-02, a high level of BOD5 (14 µg/L) and a low level of DO (4.2 µg/L) were observed, suggesting the presence of a significant organic load and potential stress for aquatic biota. **The discussion** highlights the importance of identifying sources of organic pollution in the Pisco River, especially at point MQ-02, where significant deviations in BOD5 and DO levels were detected. These findings are worrying, since the presence of biodegradable organic matter can reduce dissolved oxygen levels, affecting aquatic life and compromising ecosystem health. It is **concluded** that the identification of these problems is crucial for the protection of the aquatic ecosystem and public health, as well as for compliance with environmental regulations.

Keywords: *Water Quality Index, River Pollution, Water Quality, Aquatic Ecosystem, Public Health.*

I. INTRODUCCION

“La evaluación de la calidad del agua a través del nivel de contaminación en el río Pisco, Ica, durante el año 2024”, surge como una imperiosa necesidad ante la creciente preocupación ambiental y las consecuencias directas que la contaminación del recurso hídrico puede acarrear. En la región de Ica, el río Pisco desempeña un papel vital en diversas actividades económicas y en lo que respecta al abastecimiento de agua destinada al consumo humano y para fines agrícolas.

La problemática se manifiesta en el aumento de actividades industriales, agrícolas y urbanas en las cercanías del río, las cuales, si no se gestionan adecuadamente, pueden dar lugar a una mayor carga de contaminantes en sus aguas. Este incremento en la contaminación representa una amenaza tanto para “la salud de los ecosistemas acuáticos”.

El deterioro de la “condición del fluido en el río Pisco” no solo impacta la biodiversidad local, sino que también plantea riesgos significativos para la salud pública. La presencia de contaminantes podría afectar “la calidad del agua destinada al consumo humano”, generando preocupaciones sobre la seguridad y la disponibilidad de recursos hídricos para la población local.

Esta evaluación adquiere una importancia vital para el desarrollo de estrategias ambientales efectivas, además de facilitar la puesta en marcha de medidas correctivas que ayuden a conservar y proteger el ecosistema en “la condición del fluido en el río Pisco”. El estudio se propone abordar esta problemática de manera integral, considerando los aspectos físico-químicos y biológicos, con el propósito de ofrecer datos esenciales para guiar la toma de decisiones e impulsar la ejecución de acciones específicas y efectivas que mitiguen la contaminación del río y salvaguarden su sustentabilidad a largo plazo.

Se establece la estructura del trabajo para guiar al lector a través de los siguientes capítulos:

Capítulo I: Introducción. Ofrece una visión general del problema de la contaminación del agua, enfocándose en la situación específica del río Pisco en Ica. Se revisan estudios previos y se destaca “la ascendencia de estimar la condición del fluido” debido a los vertidos industriales, agrícolas y urbanos. Se presentan las teorías y conceptos fundamentales relacionados con la condición del fluido, la polución hídrica y los métodos de evaluación. Incluye definiciones clave y discusiones sobre los indicadores de calidad del agua. Se justifica la necesidad del estudio debido al impacto significativo de la calidad del agua en la salud pública y el medio ambiente.

Capítulo II: Estrategia Metodológica. “Describe el diseño de la investigación, los métodos de recolección de datos y las técnicas de análisis utilizadas”. Se explica cómo se seleccionaron los sitios de muestreo y las variables de interés, así como los procedimientos para garantizar la precisión y validez de los datos recolectados.

Capítulo III: Resultados. Aquí se presentan los hallazgos de la investigación de manera clara y organizada. Los datos recolectados sobre la condición del fluido en diferentes puntos del río Pisco se analizan y se muestran mediante tablas, gráficos y descripciones detalladas.

Capítulo IV: Discusión de Resultados. Interpreta los resultados obtenidos en el contexto de los antecedentes y las bases teóricas. Se comparan los hallazgos con estudios previos y se discuten las implicaciones de los niveles de contaminación detectados en el río Pisco. Además, se examinan las posibles causas y se evalúa la efectividad de las prácticas actuales de gestión del agua.

Capítulo V: Conclusiones. De los principales hallazgos en los niveles de contaminación del río Pisco y sus implicaciones. Las conclusiones reflejan la importancia de la evaluación de la condición del fluido y su impacto en la salud pública y el medio ambiente.

Capítulo VI: Recomendaciones. Se ofrecen sugerencias prácticas basadas en los resultados del estudio. Estas recomendaciones están dirigidas a las autoridades locales, responsables de la gestión del agua y otras partes interesadas, para mejorar la calidad del agua del río Pisco y reducir los niveles de contaminación.

Capítulo VII: Referencias. Incluye las consultadas y citadas en IEEE. Aquí se encuentran libros, artículos académicos, informes técnicos y otras referencias relevantes utilizadas para respaldar el estudio.

1.1 Situación problemática

La contaminación del agua sigue siendo uno de los desafíos más críticos a nivel mundial. “Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), más de 2 mil millones de personas aún no tienen acceso a agua potable segura, lo que contribuye a la proliferación de enfermedades infecciosas y una elevada mortalidad infantil [1]. A nivel global, la contaminación del agua por sustancias químicas tóxicas, patógenos y nutrientes excesivos está desestabilizando los ecosistemas acuáticos y la biodiversidad [2];[3].

En Sudamérica, la calidad del agua está bajo amenaza constante debido a la deforestación, la minería, la agricultura intensiva, y los vertidos de residuos urbanos e industriales. Según un informe del Banco Mundial, aproximadamente el 30% de “los cuerpos de fluido en la región están polucionados”, lo que impacta negativamente en la salud pública, así como en la disponibilidad de agua para uso agrícola e industrial [4]. Este problema se ve agravado por la falta de infraestructura adecuada para el tratamiento de aguas residuales en muchas áreas.

En Perú, “la contaminación del agua es un problema” especialmente grave. Según la Autoridad Nacional del Agua (ANA), muchas fuentes de agua están contaminadas debido a actividades mineras, industriales, y la falta de tratamiento de aguas residuales [5]. Esto afecta tanto a la salud pública como al medio ambiente, y es una preocupación crítica en áreas tanto urbanas como rurales.

En la región de Ica, y particularmente en el río Pisco, la contaminación del agua es un desafío significativo. Las actividades agrícolas e industriales en el cauce del fluido han llevado a niveles preocupantes de polución, debido a la descarga de pesticidas, fertilizantes y desechos industriales sin un tratamiento adecuado. Esto no solo compromete la condición del fluido, sino que también pone en riesgo la salubridad de los ecosistemas acuáticos del lugar y las comunidades que dependen de esta fuente.

Los “Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que sucedieron a los “Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), continúan el esfuerzo global para mejorar la calidad del agua”. En particular, “El ODS 6 se centra en asegurar el acceso universal al agua y saneamiento, con objetivos clave para reducir la contaminación, eliminar vertidos y minimizar la liberación de sustancias químicas peligrosas, mejorando así la condición del fluido” [6]. Además de los ODS, diversas iniciativas científicas y tecnológicas están enfocadas en el desarrollo de nuevas estrategias para la gestión sostenible de los recursos hídricos a nivel global.

1.2 Antecedentes de la Investigación

1.2.1 Antecedentes internacionales

La calidad del agua de los ríos implica una combinación de muestreo tradicional y análisis de laboratorio, monitoreo en tiempo real mediante sistemas automatizados y tecnologías modernas para el mapeo y análisis espacial. “Los métodos tradicionales incluyen la recolección manual de patrón de fluidos y su análisis en laboratorios para medir parámetros químicos, físicos y biológicos” [7].

El monitoreo en tiempo real emplea sensores automatizados y registradores de datos colocados en los ríos para proporcionar datos continuos e inmediatos sobre varios indicadores de calidad del agua, como el pH, la temperatura y los niveles de contaminantes [8]. Las tecnologías modernas, como la teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG), permiten realizar un mapeo y análisis espacial integral, lo que permite visualizar las tendencias de la condición del fluido en grandes áreas y facilita la identificación de fuentes de contaminación [9]. En conjunto, estos métodos proporcionan un marco sólido para evaluar y gestionar con precisión “la condición del fluido de los ríos”.

La colaboración entre organismos gubernamentales, instituciones de investigación y organizaciones ambientales es esencial para una evaluación y gestión integral y eficaz de la condición del fluido de los ríos, pero tiene sus desventajas [10]. La coordinación entre múltiples partes interesadas puede dar lugar a demoras burocráticas e ineficiencias. Las diferentes prioridades y agendas pueden causar conflictos y obstaculizar la acción unificada [10]. La falta de coherencia en la

financiación y la asignación de recursos puede impedir proyectos a largo plazo y evaluaciones exhaustivas. Además, los distintos niveles de experiencia y prácticas de intercambio de datos pueden crear lagunas de información y una aplicación desigual de las estrategias de gestión [10].

Para abordar estas limitaciones y aportar uniformidad a las evaluaciones de la condición del fluido de los ríos, “se necesita un índice de calidad del agua (ICA). El ICA simplifica los datos complejos al agregar varios parámetros de condición del fluido en una única puntuación compuesta que refleja la salud general de un río” [10]. Este índice estandarizado permite una fácil comparación entre diferentes lugares y períodos de tiempo, lo que ayuda a identificar tendencias y áreas problemáticas. También ayuda a comunicar información sobre la calidad del agua a los responsables de las políticas, las partes interesadas y el público, garantizando que las decisiones se basen en una comprensión clara y completa del estado de la calidad del agua. La evaluación de la calidad del agua de los ríos a través del “índice de la calidad del agua WQI” es crucial para comprender, salvaguardar y supervisar este invaluable recurso natural, garantizando su perdurabilidad para el bienestar tanto de los seres humanos como del medio ambiente [11].

las técnicas tradicionales de evaluación manual suelen implicar extensas mediciones de campo y análisis de laboratorio de diversos parámetros del agua, como el pH, el oxígeno disuelto, la turbidez y las concentraciones de contaminantes como metales pesados y compuestos orgánicos. Si bien estos métodos han sido fundamentales para comprender la calidad del agua, a menudo requieren mucho tiempo, recursos y experiencia para ejecutarse con precisión. En segundo lugar, los sensores en tiempo real ofrecen mejoras, pero también enfrentan desafíos relacionados con la precisión, la confiabilidad y la interpretación de los datos [12].

El WQI es útil para evaluar la calidad general del agua, pero no está exento de limitaciones. Depender únicamente de parámetros predeterminados podría simplificar en exceso escenarios complejos, lo que podría generar imprecisiones, en particular en ecosistemas con dinámicas diversas o cuando se abordan contaminantes emergentes. Además, el WQI podría no considerar adecuadamente

las variaciones locales o los factores ambientales específicos, lo que reduce su relevancia en ciertas situaciones [10], [13].

El agua es el elemento más esencial para la supervivencia de los componentes bióticos de la Tierra y cubre aproximadamente el 71 % de la masa de la Tierra. Se considera un recurso natural inagotable que se ha ido deteriorando durante varias décadas y ha provocado el aumento de la contaminación del agua a nivel mundial, lo que a su vez genera riesgos para la salud humana y reduce el crecimiento económico mundial [14]. Los elementos naturales que afectan la calidad del agua incluyen factores hidrológicos, atmosféricos, climáticos, geográficos y de composición de las rocas y el suelo [15]. El agua ha estado sometida a cambios fisicoquímicos durante bastante tiempo debido a las actividades antropogénicas [16]. Los países en desarrollo no pueden proteger los estándares de calidad del agua de los cuerpos de agua de los ríos y al mismo tiempo mejorar el suministro de agua debido a su bajo nivel económico [17].

1.2.2 Antecedentes nacionales

Un estudio realizado en la cuenca del río Chillón evaluó la calidad del agua a través del análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, identificando que las principales fuentes de contaminación provenían de las descargas de aguas residuales domésticas e industriales sin tratamiento adecuado. “La investigación resaltó la urgencia de establecer acciones de control y realizar un seguimiento constante para elevar la condición del fluido en la región” [18].

Otro aporte científico sobre la evaluación de la calidad del agua del río Rímac, donde se llevó a cabo un monitoreo a lo largo de varios puntos críticos del río. “Los hallazgos indicaron que la presencia de metales pesados y los elevados niveles de coliformes fecales constituyen un riesgo considerable para la salubridad pública y los ecosistemas acuáticos”. Este estudio subrayó la importancia de establecer normativas más estrictas y promover la concientización ambiental entre las comunidades aledañas [19].

Finalmente, en la región de Cusco, un análisis de la cuenca del río Vilcanota identificó que las actividades agrícolas y la deforestación contribuían a la

degradación de la calidad del agua. Este estudio resaltó la necesidad de estrategias de manejo integrado de cuencas y el fortalecimiento de la gobernanza del agua para proteger los recursos hídricos [20].

1.2.3 Antecedentes locales

El río Pisco, situado en la región de Ica, ha sido objeto de preocupación debido a la degradación de la calidad de sus aguas y su impacto en la salud de las comunidades locales y los ecosistemas. En años recientes, se han llevado a cabo estudios que documentan la presencia de contaminantes como metales pesados, pesticidas, y coliformes fecales, los cuales superan los niveles permisibles para aguas destinadas al consumo humano y uso agrícola, de acuerdo con la normativa peruana.

Un estudio llevado a cabo en 2021 evaluó los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en tres ubicaciones específicas: un punto aguas arriba (VARD-01), el punto de descarga de aguas residuales (VARD-02) y un punto aguas abajo (VARD-03). Este monitoreo reveló que la fuente principal de contaminación se origina en el vertimiento de aguas residuales provenientes de la comunidad cercana. Además, se identificó la presencia de residuos sólidos y animales muertos, los cuales son arrojados al río, lo que contribuye significativamente a la alteración de la calidad del agua [21]. Subrayan la necesidad crítica de la investigación actual, la cual se centra en evaluar de manera exhaustiva la calidad del agua del río Pisco y su impacto en la salud pública y el medio ambiente. Los resultados de este estudio serán fundamentales para el desarrollo de políticas públicas efectivas y la mejora de la gestión ambiental en la región.

1.3 Bases Teóricas

1.3.1 Contaminación de las aguas

Se describe “como el proceso de introducir materiales o diversas formas de energía, o crear condiciones, directa o indirectamente, en el agua, provocando una alteración negativa en su calidad con respecto a su uso o función en un ecosistema” [22]. Igualmente, “se refiere a la alteración de las propiedades originales del agua, lo que representa un riesgo cuando se utiliza, y, al mismo

tiempo, tiene un efecto adverso en el entorno que lo rodea” [23].

En todas las situaciones, “la contaminación del agua causada por aguas residuales representa una amenaza para la salud pública, según los estándares de la Organización Mundial de la Salud (OMS)” [23].

1.3.2 Aguas residuales

“La teoría del tratamiento de aguas residuales involucra procedimientos físicos, químicos y microbiológicos persigue la remoción de los agentes contaminantes de naturaleza física, química y microbiológica presentes en los vertidos hídricos” [24]. “La finalidad de este procedimiento es la producción de agua purificada, comúnmente denominada efluente tratado” [24].

1.3.3 Recurso hídrico

“Dentro del marco de la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH), se describe como un proceso que respalda la planificación coordinada y la administración de la matriz que involucra el agua, la tierra y otros recursos conexos” [25], Adicionalmente, “con la meta de fomentar el progreso económico y social mientras se disminuyen las tensiones medioambientales en relación con la cantidad y calidad del agua” [25].

1.3.4 Calidad del Agua

Conforme a la fuente, “la calidad del agua se refiere al conjunto de concentraciones, especificaciones, sustancias orgánicas e inorgánicas, así como a la composición y estado de la biota presente en el cuerpo de agua” [26].

En este contexto, “se contribuye y se tiene en cuenta las fluctuaciones espaciales y temporales, que incluyen factores tanto internos como externos al cuerpo de agua” [26]. “Las propiedades del agua exhiben variaciones que la distinguen según su origen y el proceso al que esté sometida; estas propiedades son susceptibles de medición y clasificación en función de aspectos físicos, químicos y biológicos del agua” [27].

1.3.5 Los agentes contaminantes

“La Ley General del Medio Ambiente N°28611 define los contaminantes como sustancias presentes en concentraciones capaces de causar daño a los seres vivos, ya sean humanos, plantas o animales, o a los Estándares de Calidad Ambiental (ECAS)” [28].

1.3.6 Parámetros fisicoquímicos

Para evaluar la calidad del agua que ha sido sometida a procesos como purificación o saneamiento, es recomendable realizar una serie de mediciones fisicoquímicas utilizando métodos estandarizados. Esto se realiza con el propósito de verificar si la precisión de estas mediciones cumple con los estándares establecidos por la normativa vigente [29].

1.3.7 Bacteriología en la calidad del agua

Desde esta perspectiva, las aguas naturales que reciben desechos provenientes de descargas residuales, tanto domésticas como industriales, pueden albergar bacterias que constituyen un potencial riesgo para la salud humana. Estas bacterias pueden ingresar al entorno desde diversas fuentes, que abarcan desde las excreciones humanas, las liberaciones de hogares y sistemas de alcantarillado urbano, hasta las aguas residuales industriales y el agua de lastre de embarcaciones, junto con otras posibles vías de contaminación [9].

1.3.8 Índice de calidad ambiental del agua marina (ICAM)

El índice de calidad del agua se emplea como un marcador para valorar las condiciones naturales y “analiza el impacto de las acciones humanas en los cuerpos acuáticos, tomando en cuenta su propósito de utilización. Dicho índice facilita la valoración de la calidad del agua, abarcando sus propiedades físicas, químicas y sanitarias” [30].

1.4 Formulación del problema general

El estudio se enfoca en la problemática de “la calidad del agua en los ríos”, con la premisa de que es crucial mejorar las condiciones actuales. La necesidad de “una gestión más efectiva y sostenible de los recursos hídricos” se vuelve evidente, considerando la importancia de los ríos en diversos aspectos, desde el abastecimiento de agua hasta el mantenimiento de ecosistemas saludables. En este contexto, se plantea la investigación con el objetivo de analizar y proponer soluciones para la mejora de la calidad de los ríos, abordando factores que afectan negativamente su estado actual.

1.4.1 Problema general

¿“De qué manera la evaluación de la calidad del agua contribuye significativamente en el nivel de contaminación del río Pisco, Ica, ¿2024”?

1.4.2 Problemas específicos

PE1: ¿“En qué medida la mejora en la calidad del agua contribuye a la reducción de las cargas contaminantes en el río Pisco, Ica, ¿en 2024”?

PE2: ¿“Cómo el (ICA) contribuye en la mejora de las condiciones de contaminación del río Pisco, Ica, 2024”?

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo principal

“Formular que la calidad del agua contribuye en la mejora significativa en el nivel de contaminación del río Pisco, Ica, 2024”.

1.5.2 Objetivos Específicos

OE1: “ Caracterizar la condición del fluido que contribuye en la mejora a la reducción de las cargas contaminantes en el río Pisco, Ica, en 2024”.

OE2: “ Evaluar el (ICA) que contribuye en la mejora de las condiciones de contaminación del río Pisco, Ica, 2024”.

1.6 Hipótesis y variables de la investigación

1.6.1 Hipótesis principal

“La calidad del agua contribuye en la mejora significativa en el nivel de contaminación del río Pisco, Ica, 2024”.

1.6.2 Hipótesis Específica

HE1: “La condición del fluido contribuye en la mejora a la reducción de las cargas contaminantes en el río Pisco, Ica, en 2024”.

HE2: “El (ICA) contribuye en la mejora de las condiciones de contaminación del río Pisco, Ica, 2024”.

1.7 Variables

1.7.1 Variable independiente

“Calidad del agua”. Se evalúa mediante la medición de diversos parámetros y la comparación de estos resultados con estándares y normativas establecidos.

Los parámetros comunes utilizados “para evaluar la calidad del agua” incluyen la concentración de sustancias químicas (por ejemplo, nutrientes, metales pesados), la presencia de microorganismos patógenos, la cantidad de oxígeno disuelto, la temperatura del agua, el nivel de turbidez y otros indicadores que afectan la salud humana, la flora y fauna acuática, así como la sostenibilidad del ecosistema acuático en general.

1.7.2 Variable dependiente

“Contaminación del río”. – “Estos contaminantes pueden provenir tanto de fuentes naturales como de actividades humanas”. “Los contaminantes pueden abarcar, entre otros, sustancias químicas tóxicas, metales pesados, nutrientes en exceso (como nitrógeno y fósforo), patógenos biológicos, sedimentos, y residuos industriales y domésticos”. La polución fluvial puede originarse a través de diversas fuentes, tales como desechos industriales, emanaciones de aguas residuales urbanas y escorrentía agrícola, vertidos de desechos sólidos y accidentes ambientales.

Los impactos de la contaminación del río pueden afectar la calidad del agua para el consumo humano, dañar la biodiversidad acuática, perjudicar la agricultura y otras actividades económicas, y comprometer la capacidad del río para cumplir con sus funciones ecológicas y ambiental.

1.7.3 Operacionalización de Variable

Tabla 1. Operacionalización de variable

Variable Independiente	Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Escala	Valores	Técnicas e Instrumentos
VI: Calidad de agua	“Se refiere a la condición y características físicas, químicas, biológicas y bacteriológicas del agua” en relación con su idoneidad para satisfacer las necesidades específicas de diversos usos, como el consumo humano, la agricultura, la industria y la preservación del ecosistema acuático” [31].	DI,1: Índice de la calidad del agua (ICA).	I_{1,1,1}: Categoría de la calidad del agua	Excelente Buena Regular Inadecuada Pésima	91 a 100 71 a 90 51 a 70 26 a 50 0 a 25	Observación Monito
Variable Dependiente	Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Unidades	ECA	Tecinas e Instrumento
VD: Contaminación de ríos	“La polución del río implica la incorporación de sustancias, agentes o contaminantes en sus aguas, lo que modifica su calidad y puede afectar negativamente al ecosistema acuático, la salud de las personas y el bienestar general” [3]	DD,1: Cargas contaminantes	I_{D,1,1}: Propiedades fisicoquímicas I_{D,1,2}: Propiedades microbiológicas	mg/L, NMP/100 ml	D.S. N°004-2017-MINAM	Observación Monitoreo

1.8 Justificación e Importancia de Investigación

1.8.1 Justificación

La realización de la investigación titulada "Evaluación de la calidad del agua mediante el nivel de contaminación del río Pisco, Ica, 2024" se justifica por la necesidad imperante de comprender y abordar los problemas asociados a “la calidad del agua en el río Pisco”. Este cuerpo de agua desempeña un papel fundamental en la región de Ica, no solo como recurso esencial para diversas actividades humanas, como el consumo y la agricultura, sino también como parte integral del ecosistema local.

La evaluación de la calidad del agua se vuelve crucial ante las crecientes preocupaciones sobre la contaminación y sus posibles impactos en la salud pública, la biodiversidad acuática y la sostenibilidad de los recursos hídricos. La investigación busca proporcionar una visión integral de la situación actual, empleando métodos rigurosos para medir el nivel de contaminación en el río Pisco durante el año 2024.

Los resultados de este estudio no solo contribuirán al entendimiento de “la calidad del agua en el río Pisco”, sino que también servirán como base para la implementación de medidas correctivas y estrategias de gestión ambiental. En última instancia, la justificación radica en la importancia de preservar y mejorar la calidad del agua en este recurso vital para la comunidad y el entorno ambiental.

1.8.2 Importancia

La investigación titulada "Evaluación de la calidad del agua mediante el nivel de contaminación del río Pisco, Ica, 2024" reviste una importancia crucial en diversos aspectos. En primer lugar, se destaca su relevancia en el ámbito medioambiental, ya que el río Pisco desempeña un papel central en el ecosistema local y su calidad refleja directamente el estado de salud de esta importante fuente de agua.

Desde una perspectiva de salud pública, el estudio cobra importancia al abordar la posible contaminación del agua, que puede tener repercusiones directas en la salud de las comunidades que dependen del río Pisco para el consumo de agua potable y otras actividades diarias. La identificación y evaluación de los niveles de contaminación proporcionarán información valiosa para la toma de decisiones en materia de salud ambiental.

Además, la investigación contribuye al ámbito científico al emplear métodos y técnicas avanzadas para la evaluación de la calidad del agua. Los resultados obtenidos pueden ser de utilidad para otros investigadores, formuladores de políticas y profesionales en campos relacionados con la gestión ambiental y la calidad del agua.

En términos más amplios, el estudio busca generar conciencia sobre la importancia de la preservación de los recursos hídricos y fomentar prácticas sostenibles para garantizar la salud a largo plazo del río Pisco y sus alrededores. En resumen, la investigación no solo aborda una problemática específica de contaminación del agua, sino que también contribuye al conocimiento científico y promueve acciones concretas para la conservación del medio ambiente y la protección de la salud pública.

1.9 Norma legal

“El decreto de referencia para la evaluación de los parámetros de calidad del agua es el D.S. N°004-2017-MINAM. Este documento establece los (ECA) para el fluido, con el propósito de asegurar que este recurso esencial para los ecosistemas acuáticos no implique riesgos significativos para la salud humana ni para el medio ambiente” [32] y ANEXO I.

Tabla 2. Estándares de la Calidad Ambiental (ECA) para la calidad de agua (Categoría 4: Conservación del ambiente acuático)

ESTANDARES DE LA CALIDAD DEL AGUA (ECA)			
PARAMETROS	UNIDAD	D.S. N°004-2017-MINAN Categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático	
		E2 RIOS (Costa y Sierra)	E3: RIOS (Selva)
Propiedades Fisicoquímicas			
DBO ₅	µg/L	10	10
OD	µg/L	≥ 5	≥ 5
Nitratos	µg/L	13	13
pH	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3
Solidos totales disueltos	µg/L	≤ 100	≤ 400
Fosfatos	µg/L	10	10
Turbidez	NTU	100	100
MICROBIOLOGICOS			
Coliformes Fecales	mg/L	2000	2000

Fuente: "D. S. N°004-2017-MINAM"

II. ESTRATEGIA METODOLOGIA

2.1 Área de estudio

El área de estudio abarca el curso del río Pisco en la región de Ica, Perú. Este río es una fuente vital de agua para diversas actividades humanas, agrícolas e industriales en la región. La investigación se centra en tres puntos del río, incluyendo áreas cercanas a zonas urbanas, rurales y áreas de vertimiento de aguas residuales. Los puntos específicos de muestreo se seleccionan en función de su proximidad a fuentes potenciales de contaminación y la variabilidad en las características ambientales del río a lo largo de su recorrido.



Figura 1. Recorrido del río Pisco desemboca en el Océano Pacífico

Fuente: <https://es.slideshare.net/slideshow/geoquimica-ambiental-de-la-cuenca-del-ro-pisco-13079566/13079566#33>

2.2 Descripción del Área de Estudio

El área de estudio se localiza a lo largo del río Pisco, que atraviesa la región de Ica, Perú. Este río tiene su origen en la sierra de Huancavelica y desciende hacia la costa, desembocando en el Océano Pacífico. La investigación se concentra en evaluar la condición del fluido en tres tramos del río, específicamente en las zonas más vulnerables a la contaminación debido a actividades humanas y naturales.

2.3 Coordenadas Geográficas

- **Inicio del estudio:** Cerca de la localidad de San Juan de Yanac, donde el río Pisco atraviesa la región andina antes de descender hacia la costa.
 - ✓ **Coordenadas aproximadas:** 436893 E, 8497909 N
- **Punto de monitoreo intermedio:** En las cercanías del distrito de San Clemente, una de las zonas con mayor actividad agrícola y urbana que podría impactar en la calidad del agua.
 - ✓ **Coordenadas aproximadas:** 375655 E, 8482698 N
- **Final del estudio:** En la desembocadura del río Pisco, en la localidad de Boca del Río, donde se analiza el impacto final de la contaminación antes de que el agua se mezcle con el mar.
 - ✓ **Coordenadas aproximadas:** 370799 E, 8480092 N

2.4 Áreas Específicas

El estudio incluye varios puntos clave a lo largo del río:

1. **Zonas de descarga urbana:** Áreas cercanas a los centros poblados donde se descargan aguas residuales sin tratamiento adecuado, como en el distrito de San Clemente.
2. **Áreas agrícolas:** Regiones donde se practica la agricultura intensiva, lo que puede llevar a la escorrentía de pesticidas y fertilizantes hacia el río.
3. **Desembocadura:** En Boca del Río, se analiza la condición del fluido antes de que llegue al océano, evaluando la acumulación de contaminantes a lo largo de todo el curso del río.

2.5 Metodología de la investigación

2.5.1 Tipo, nivel y diseño de investigación

- Tipo de investigación

“El enfoque de la investigación es de carácter aplicado, pues se apoya en el conocimiento teórico previo para desarrollar nuevos entendimientos y enfrentar problemas y situaciones del mundo real. Asimismo, este enfoque

permite utilizar dicha información para confirmar o desmentir las hipótesis planteadas en el estudio” [33].

“El tipo de investigación seguido es de carácter observacional, prospectivo y transversal, dado que toda la información se recopiló en un solo momento en el tiempo” [33].

- Nivel de investigación

“La investigación exhibe características propias de un enfoque descriptivo, ya que su objetivo radica en describir el fenómeno tal como se presenta en la realidad natural.” [34], “sin la manipulación de variables y con el propósito de especificar las características y propiedades del fenómeno en estudio, se busca obtener información de manera independiente o conjunta.” [34].

- Diseño de la investigación

“En la investigación realizada, no se pretende manipular variables; en su lugar, se busca analizar el fenómeno dentro de su contexto natural. Por lo tanto, se ha adoptado un diseño de investigación cuasiexperimental y transversal” [35].

2.6 Población y muestra

- Población

“Se refiere a la totalidad de las aguas del río Pisco y los ecosistemas acuáticos relacionados. En otras palabras, la población consiste en todas las muestras de agua y organismos acuáticos presentes en el río Pisco, así como en las áreas circundantes que están siendo investigadas” [33].

- Muestra

Se realizarán tomas de muestras en lugares específicos a lo largo del trayecto del río, teniendo en cuenta su cercanía a áreas urbanas y rurales, así como la presencia de actividades industriales, agrícolas y otras que puedan contribuir a los vertidos. Además, se seleccionarán diversos puntos

de muestreo considerando la variabilidad en las condiciones ambientales y las características del río en diferentes ubicaciones de la cuenca [33].

Técnicas de recolección de datos Selección de los Puntos de Monitoreo

Ubicación Estratégica: Los tres puntos de monitoreo seleccionados representan ubicaciones clave a lo largo del río Pisco. Estos puntos fueron elegidos debido a su proximidad a fuentes potenciales de contaminación, como descargas urbanas, agrícolas e industriales. La ubicación precisa de estos puntos permite captar variaciones en la condición del fluido a lo largo del curso del río, lo que es esencial para un análisis detallado y representativo.

Gradiente de Contaminación: Los puntos fueron seleccionados para cubrir diferentes zonas del río, desde aguas arriba de áreas urbanas (donde la influencia antropogénica es menor), hasta aguas abajo, donde se pueden observar los efectos acumulativos de diversas actividades humanas. Este enfoque asegura que el estudio abarque un espectro amplio de condiciones ambientales y niveles de contaminación. Tabla 4.

Tabla 3. Descripción y Ubicación en Coordenadas UTM el Punto de Monitoreo de Calidad del Agua

“Puntos de Monitoreo”	“Coordenadas UTM (WGS 84 18 L)”		Descripción
	“Este”	“Norte”	
“MQ – 01”	436893	8,97909	Apícola la Colmena de Luis
“MQ – 02”	375655	8482698	Distrito de San Clemente
“MQ – 03”	370799	8480092	Cercanía del Océano Pacifico

Coordenadas UTM en el WGS-84, zona 18L
 “A&B Consulting Group Peru E.I.R.L., 2023”

Método de Recolección de Muestras

Frecuencia y Estacionalidad: La recolección de muestras se realizó de manera regular, considerando factores estacionales que pueden influir en la condición del fluido, como la temporada de lluvias. Esta periodicidad es fundamental para capturar la variabilidad temporal en la calidad del agua y las posibles fuentes de contaminación.

Procedimiento Estandarizado: Las muestras se recogen siguiendo protocolos estándar, como los definidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) o las normas ISO, que garantizan la consistencia y la calidad de los datos recolectados. Esto incluye el uso de frascos estériles para muestras microbiológicas y la preservación de las muestras a temperaturas controladas hasta su análisis.

Medición In Situ: En cada punto de monitoreo, se realizan mediciones in situ de parámetros como pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto. Estos datos proporcionan información inmediata sobre las condiciones del agua en el momento de la recolección y complementan el análisis de laboratorio posterior.

2.6.1 Instrumentos de recolección de datos

2.6.1.1 Ficha de Monitoreo de Calidad del Agua:

2.6.1.1.1 Estructura:

Identificación del Punto de Muestreo:

2.6.1.1.1.1 **Código del Punto:** Un identificador único para cada punto de monitoreo (MQ-01, MQ-02, MQ-03).

2.6.1.1.1.2 **Coordenadas Geográficas:** Ubicación precisa del punto de muestreo (UTM WGS 84).

2.6.1.1.1.3 **Fecha y Hora de Muestreo:** Registro de la fecha y hora exacta en que se realizó la recolección de la muestra, en la cadena de custodia.

2.6.1.1.2 Parámetros Físicos:

Temperatura del Agua (°C)

Turbidez (NTU)
 Conductividad Eléctrica
 (μS/cm) pH

2.6.1.1.3 Parámetros Químicos:

“Oxígeno Disuelto (mg/L)”
 “Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅, mg/L)”

2.6.1.1.4 Parámetros Microbiológicos:

“Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)”

2.6.1.2 Equipo y Herramientas Utilizadas:

2.6.1.2.1 Instrumentos de Medición Portátiles: pH metro, conductímetro, turbidímetro y oxímetro de disuelto.

2.6.1.2.2 Recipientes de Muestreo: Frascos estériles para la recolección de muestras de agua para análisis fisicoquímicos como DBO, DQO, nitratos y fosfatos, como para análisis microbiológico en laboratorio.

2.6.1.2.3 Cuaderno de Campo: Para anotar observaciones cualitativas que complementen los datos cuantitativos recolectados. Como la cadena de custodia. Tabla 5 y Tabla 6.

Tabla 4. Metodología empleada en el monitoreo de la calidad de agua

“Parámetros”	“Método de análisis empleado”
Aceites y grasas	“Oil and greased Liquid-Liquid, 30.00 1 30.00 Partition-Gravimetric method Smeww-Apha-Awwa-Wef Part 5520 B,23 RD ED. 2017”
“Demanda Química de Oxígeno”	“Chemical oxygen demand (COD). closed reflux, colorimetric method Smeww-Apha-Awwa-Wef Part 5220 D, 23 RD ED. 2017”
“Demanda Bioquímica de Oxígeno”	“Biochemical oxygen demand 40.00 3 120.00 (BOD). 5-Day Bod Test Smeww-Apha-Awwa-Wef Part 5210 B, 23 RD ED. 2017”
Solidos Totales Suspendidos	“Solids. total, suspended solids 20.00 1 20.00 DRIED AT 103-105°C Smeww-Apha-Awwa-Wef Part 2540 D, 23 RD ED. 2017”
Solidos Totales Disueltos	“Solids. total, dissolved solids 20.00 3 60.00 DRIED AT 180°C Smeww-Apha-Awwa-Wef Part 2540 C, 23 RD ED. 2017”

Tabla 5. Metodología empleada en el monitoreo de la naturaleza del fluido

“Parámetro”	“Método de análisis empleado”
Coliformes totales	“Standard Total Coliform 40.00 3 120.00 Fermentation Technique Smeww9221B/ 9221C, 23rd Ed. 2017”

“A&B Consulting Group Perú E.I.R.L., 2023”

2.6.2 Técnicas de procesamiento de datos

2.6.2.1 Estadística Descriptiva:

2.6.2.1.1 Técnicas Utilizadas:

Medidas de Tendencia Central: Cálculo de la media, mediana y moda para los distintos parámetros (pH, DBO, DQO, etc.) en cada punto de monitoreo.

Medidas de Dispersión: Determinación de la desviación estándar, rango y varianza para evaluar la variabilidad de los datos.

Tablas y Gráficos: Creación de tablas resumen y gráficos (histogramas, diagramas de dispersión) para visualizar la distribución de los datos y detectar patrones o anomalías.

2.6.2.2 Análisis de Comparación:

2.6.2.2.1 Técnicas Utilizadas:

Pruebas de Hipótesis: Pruebas como el t-test para comparar los niveles de contaminación entre diferentes puntos del río (aguas arriba, aguas de descarga y aguas abajo).

Comparación con Estándares: Contraste de los datos obtenidos con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos por el Ministerio del Ambiente (Decreto Supremo N°004-2017- MINAM) para identificar posibles excedencias en los límites permitidos.

2.6.3 Análisis e interpretación de datos

Relaciona los resultados obtenidos con investigaciones previas, tendencias regionales o nacionales, y con el contexto ambiental y social de la región. "Los niveles de contaminación observados son consistentes con estudios previos en la región de Ica, que indican una tendencia creciente de contaminación debido a la expansión agrícola.

Discute las implicaciones para la salud pública, la biodiversidad y la gestión de recursos hídricos. "El alto nivel de contaminación puede tener consecuencias graves para la salud de las comunidades locales, que dependen del río para el abastecimiento de agua".

III. RESULTADOS

3.1. Formular la calidad del agua y el nivel de contaminación del río Pisco

El río Pisco, siendo una fuente esencial para el suministro de agua y actividades económicas en la región, enfrenta presiones derivadas de la urbanización, la agricultura y posibles vertidos industriales. Un análisis exhaustivo de sus características fisicoquímicas y biológicas permitirá determinar el grado de contaminación, identificar fuentes contaminantes y evaluar la eficacia de las regulaciones ambientales en vigor. Esta formulación no solo contribuirá a una comprensión detallada del estado actual del río, sino que también proporcionará datos vitales para desarrollar estrategias de manejo sostenible y políticas de protección ambiental.

Peso relativo o factor de ponderación (w_i)

“Cada variable del estudio tiene un (w_i) asignado, basado en la relevancia que cada variable o parámetro tiene en la determinación de la condición del fluido. Estos factores se asignan a los subíndices específicos de cada parámetro, facilitando el cálculo de la media ponderada que define el ICA., Tabla 6” [36].

Tabla 6. *Peso relativo o facto de ponderación aplicado a cada uno de los parámetros usados en el ICA [36]*

“Parámetro”	Unidades	“Peso relativo ICA”
DBO ₅	µg/L	0.10
OD	µg/L	0,17
“Coliformes fecales”	NMP7100ml	0.15
“Nitratos”	µg/L	0,10
“Potencial de hidrogeno”	pH	0,12
“Temperatura”	°C	0,10
“Solidos Totales disueltos”	µg/L	0,08
“Fosforo total”	µg/L	0,10
“Turbiedad”	NTU	0,08

Cálculo del ICA

“El ICA de un río es un recurso empleado para sintetizar y transmitir el estado general de la condición del fluido en un cuerpo hídrico específico. Este índice se calcula a partir de la medición de diversos parámetros fisicoquímicos y biológicos, como la concentración de oxígeno disuelto, la demanda biológica de oxígeno (DBO), nutrientes (nitrógeno y fósforo), turbidez, pH, turbidez, temperatura, coliformes totales” [36].

$$ICA_a = \sum_{i=1}^9 (Sub_i * w_i)$$

Donde:

ICA_a = “Índice de calidad de agua aritmético” Sub_i
= “Índice de calidad para el parámetro i”. w_i
= “Peso relativo o factor de ponderación”

$$ICA_m = G(Sub^{w_i})_i$$

Donde:

ICA_a = “Índice de calidad de agua geométrico” Sub_i
= “Índice de calidad para el parámetro i”. w_i
= “Peso relativo o factor de ponderación”.

Curvas de función

“Los investigadores calcularon el promedio de todas las curvas para generar una curva media para cada contaminante. Posteriormente, las curvas se representaron gráficamente utilizando la media aritmética, con un intervalo de confianza del 80% aplicado a este valor promedio. Figura 2, Figura 3, Figura 4, Figura 5, Figura 6, Figura 7, Figura 8, Figura 9 y Figura 10” [37].

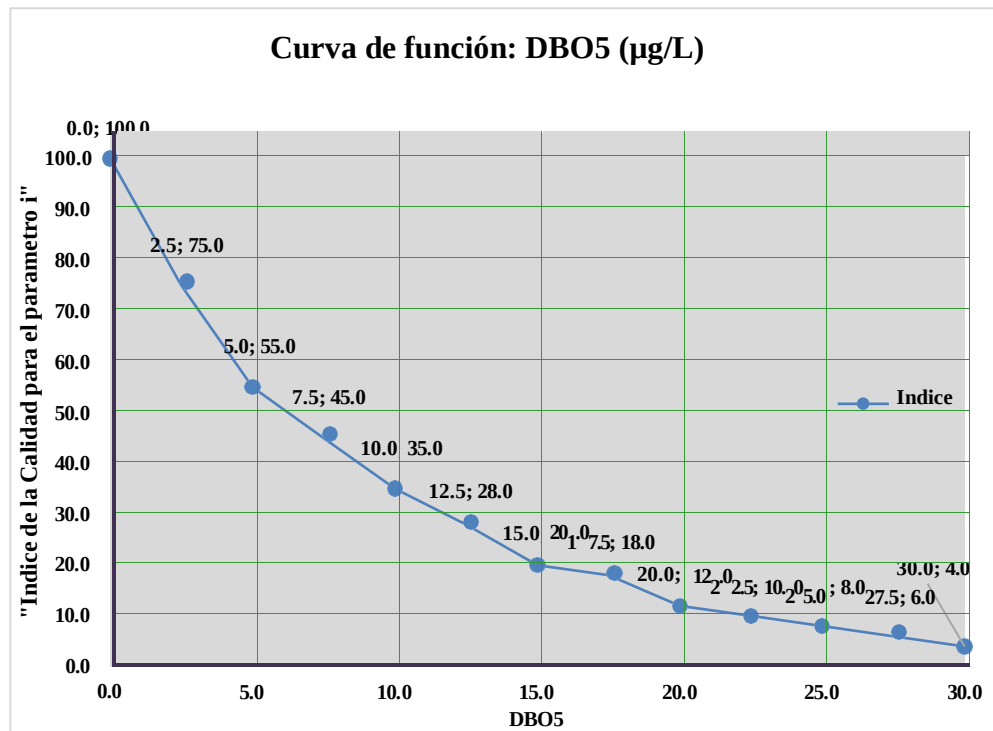


Figura 2. Curva de calidad de la DBO5[36]

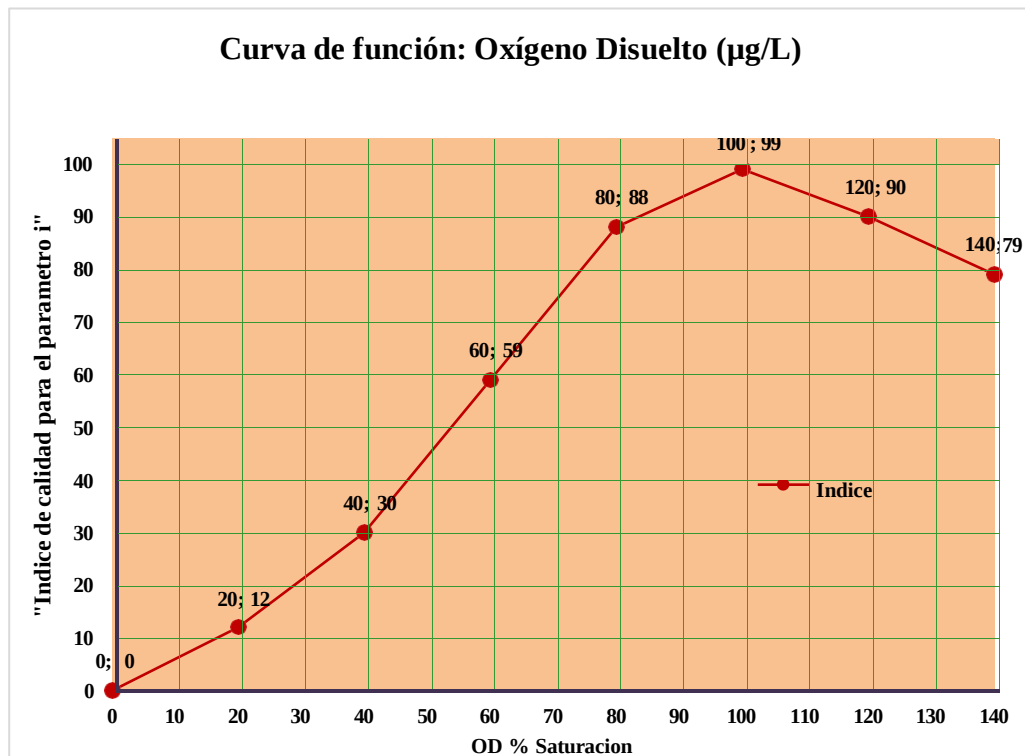


Figura 3. Curva de calidad de OD [36]

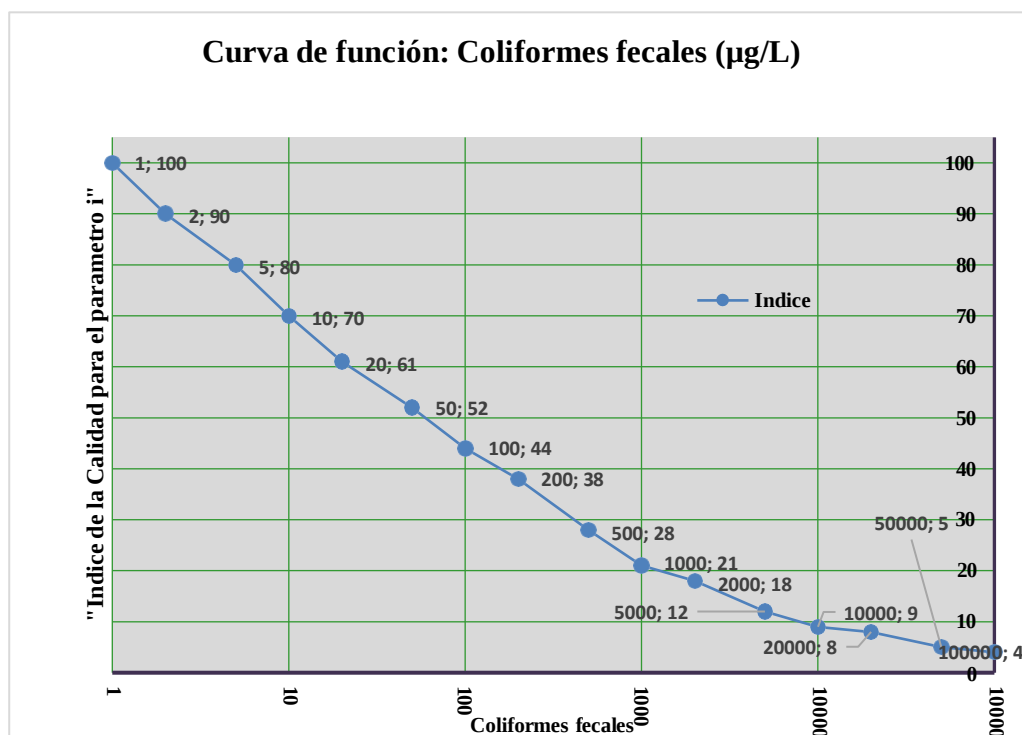


Figura 4. Curva de calidad de Coliformes fecales [36]

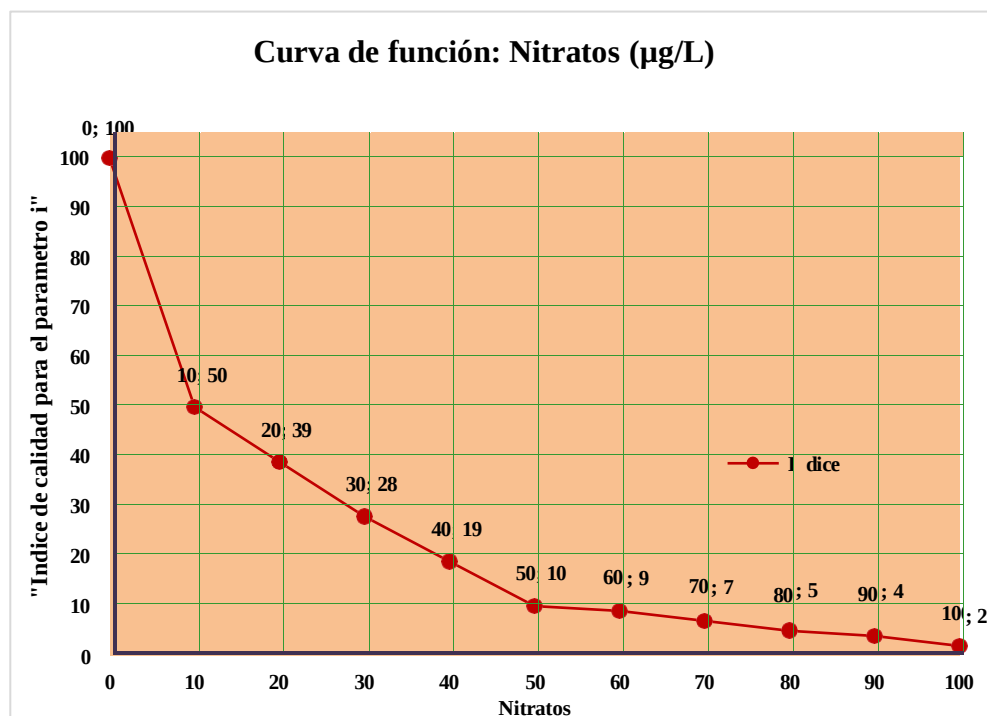


Figura 5. Curva de calidad de Nitratos [36]

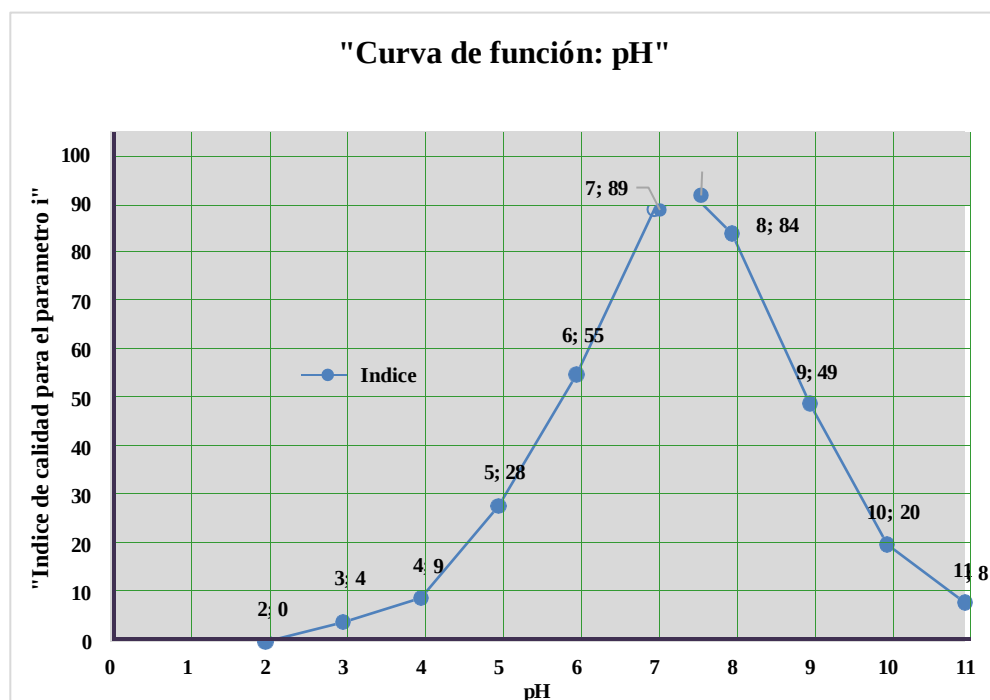


Figura 6. Curva de calidad de pH [36]

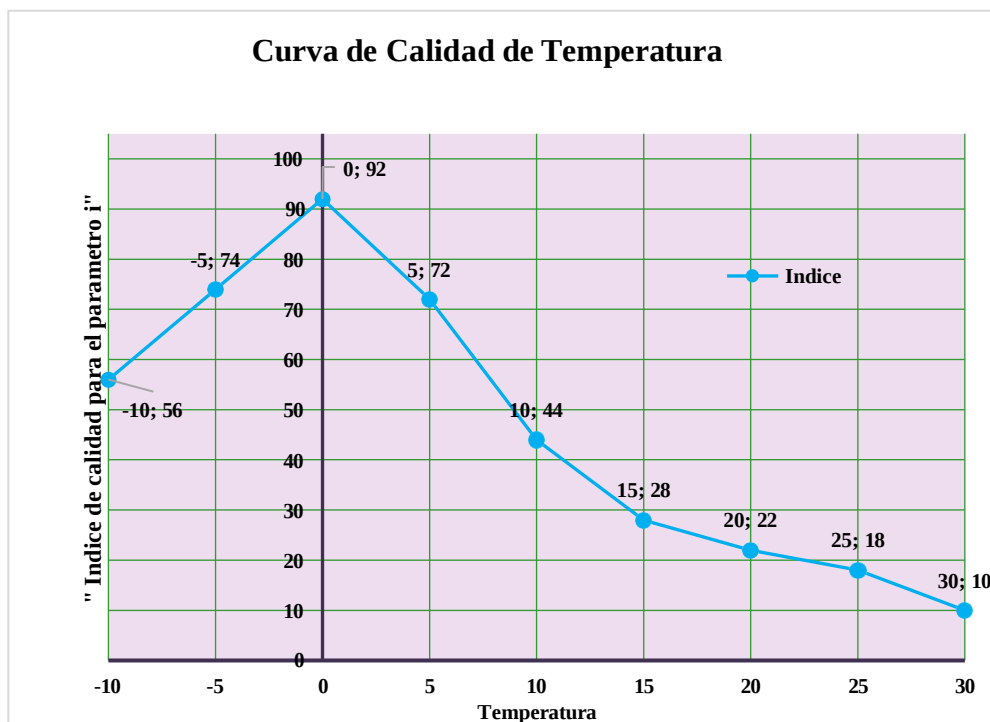


Figura 7. Curva de calidad de Temperatura [36]

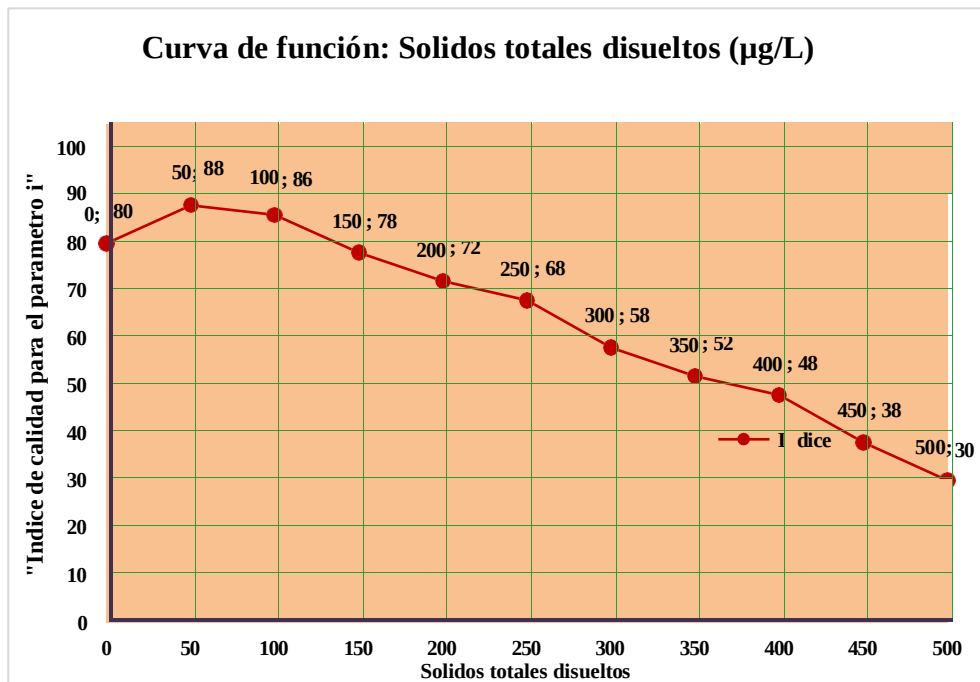


Figura 8. Curva de calidad de Solidos totales disueltos [36]

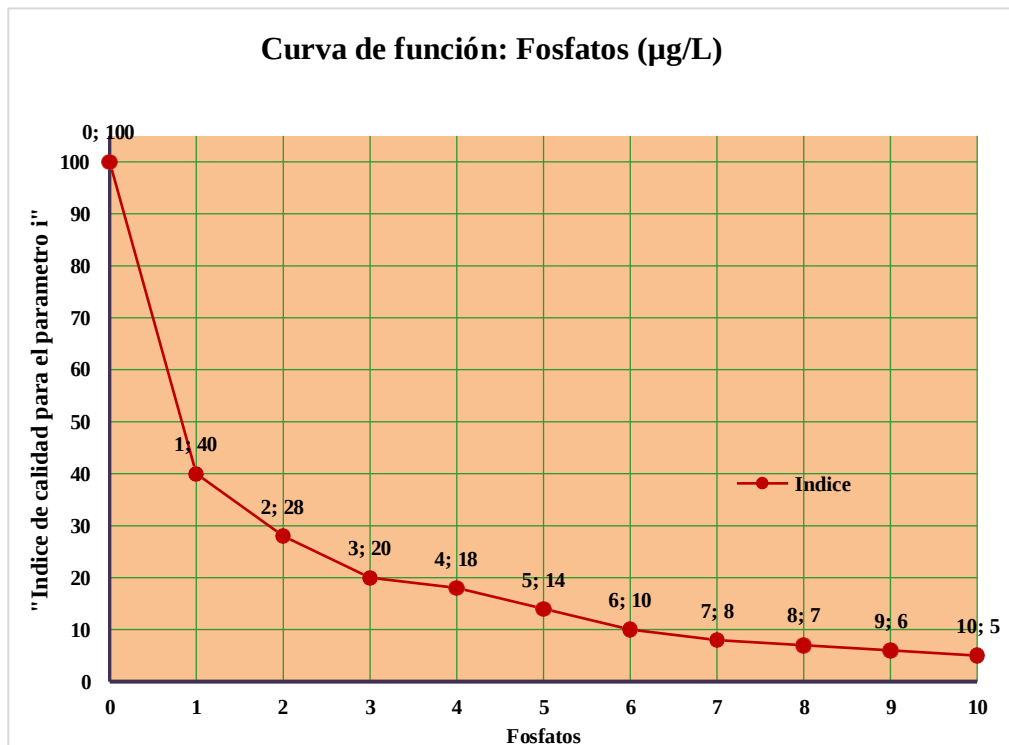


Figura 9. Curva de calidad de Fosfatos [36]

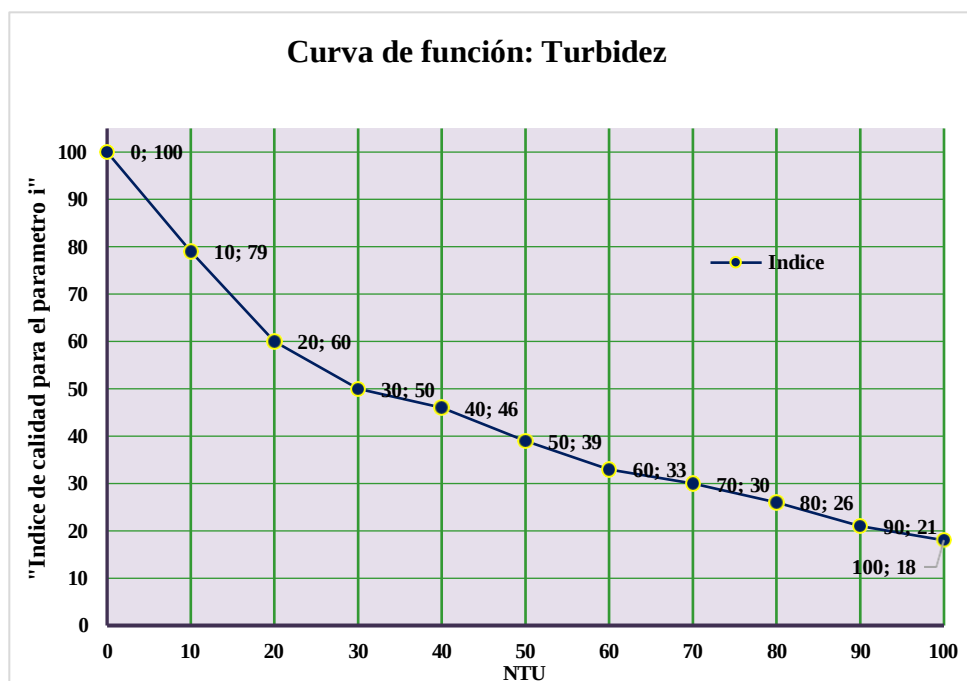


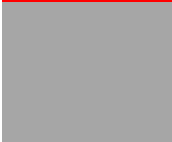
Figura 10. Curva de calidad de Turbidez [36]

Rango de valores

“El ICA se expresa como un valor numérico sin unidades, que varía entre 0 y 100, y se utiliza para clasificar la calidad del agua en cinco categorías distintas: Pésima, Mala, Regular, Buena y Excelente, según el rango en el que se encuentre, Tabla 7”

Tabla 7. Categorías de clasificación del fluido empleados en el ICA

“Clase”	“Condición del fluido”	“Color”	“Índice de calidad”	“Significado”
I	Excelente		“91 – 100”	La calidad del agua se encuentra resguardada, sin indicios de amenaza o deterioro, manteniéndose en un estado que es casi indistinguible de sus condiciones naturales o óptimas.
II	Buena		71 - 90	“El estado del agua muestra un alejamiento leve respecto a su condición natural. No obstante, las características deseables pueden estar comprometidas por amenazas o impactos de baja intensidad”.
III	Regular		51 - 70	La condición intrínseca del afluente puede verse esporádicamente comprometida o afectada, lo que resulta en una desviación frecuente de los parámetros considerados óptimos. Como consecuencia, es necesario realizar tratamientos en muchos de sus usos.

IV	Mala		26 - 50	La calidad esencial del agua puede ser ocasionalmente perturbada o deteriorada, lo que provoca una desviación constante de los niveles ideales. En consecuencia, se requiere de tratamientos en numerosos casos para su utilización adecuada.
V	Pésima		0 - 25	La calidad del agua no alcanza los estándares establecidos, y suele estar comprometida o degradada. Es imprescindible realizar tratamientos previos para todos sus usos.

Análisis de datos

El procesamiento de los datos se llevó a cabo utilizando el software Excel para realizar análisis matemáticos, complementado con el uso del programa SPSS, que permitió efectuar análisis estadísticos. Estos procedimientos se emplearon para evaluar la calidad del agua mediante la aplicación del modelo ICA. [36]

3.2. Caracterizar la calidad del agua en la reducción de las cargas contaminantes en el río Pisco

Para garantizar la sostenibilidad de este recurso vital en una región dependiente del agua en un entorno árido. La evaluación permite identificar y medir los contaminantes que afectan la salud del río, asegurando que las actividades agrícolas, industriales y urbanas no deterioren la condición del fluido, lo cual es crucial para la salud pública, la biodiversidad acuática y el cumplimiento de normativas ambientales. Además, proporciona datos esenciales para ajustar y mejorar las políticas de gestión de recursos hídricos, promoviendo prácticas sostenibles y protegiendo tanto el ecosistema como las comunidades locales.

Tabla 8. Resultados del muestreo de calidad de agua

“Parámetros”	“Unidad”	“Resultados”			“Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua”
		MQ-01	MQ-02	MQ-03	“D.S. N°004-2017-MINAM” “Categoría 4: Conservación del ambiente acuático” E2: Ríos
DBO ₅	µg/L	6	14	8	10
OD	µg/L	6.4	4.2	5.5	≥ 5
Coliformes Fecales	NMP/100ml	< 220	< 520	< 320	2000

Nitratos	µg/L	1.72	3.89	2.13	13
pH	Unidad	7.2	7.5	7.9	6.5 – 8.5
Temperatura	°C	24.9	25.7	26.4	Δ 3
Sólidos totales disueltos	µg/L	<120	<156	<135	400
Fosfatos	µg/L	<0,13	<0,13	<0,13	10
Turbidez	NTU	3.81	5.67	2.95	100

“Los resultados obtenidos de la caracterizar la condición del fluido en la reducción de las cargas contaminantes en el río Pisco, Ica, como se muestra en la Tabla 8 de (Resultados del muestreo de calidad de agua)”, es necesario realizar una comparación detallada de los valores medidos en los puntos de muestreo MQ-01, MQ-02 y MQ-03 “con los (ECA) establecidos por el D.S. N°004-2017-MINAM, taxativamente en la categoría 4: Conservación del ambiente acuático, E2: Ríos”.

Criterios de la caracterización:

DBO5 (Demanda Biológica de Oxígeno): La DBO5 es un indicador clave de la materia orgánica descomponible en el fluido. Valores superiores a los estándares (10 µg/L) indican una mayor contaminación orgánica, lo que puede comprometer la condición del fluido y afectar la vida acuática. En este caso, el punto MQ-02 excede el estándar, sugiriendo la presencia de una carga orgánica significativa en este punto.

Oxígeno Disuelto (OD): El oxígeno disuelto es vital para la supervivencia de organismos acuáticos. El estándar mínimo es ≥ 5 µg/L. Los valores en MQ-02 (4.2 µg/L) están por debajo del umbral, lo que puede indicar una situación de estrés para la biota acuática, posiblemente debido a la contaminación orgánica o la eutrofización.

Coliformes Fecales: Este parámetro mide la presencia de contaminación fecal en el agua, con un estándar de 2000 NMP/100ml. Los resultados muestran que todos los

puntos de muestreo están por debajo del límite, lo que sugiere una menor contaminación bacteriana fecal, aunque debe considerarse la variabilidad temporal.

Nitratos: Los nitratos en niveles elevados pueden causar problemas como la eutrofización. Los resultados están muy por debajo del estándar de 13 µg/L, lo que indica que los niveles de nitratos en estos puntos no representan un riesgo significativo para la calidad del agua.

pH: El pH se encuentra dentro del rango establecido (6.5 – 8.5), lo que significa que el agua no presenta problemas de acidez o alcalinidad, manteniendo un ambiente adecuado para la vida acuática.

Temperatura: Los cambios de temperatura ($\Delta 3^{\circ}\text{C}$) pueden afectar la solubilidad del oxígeno y la vida acuática. Los valores observados son relativamente estables, lo que sugiere que no hay impactos térmicos significativos.

Sólidos Totales Disueltos (TDS): Los valores obtenidos están por debajo del límite de 400 µg/L, lo que indica que los sólidos disueltos en el agua no están en niveles peligrosos para la salud ambiental o humana.

Fosfatos: Los fosfatos son nutrientes que en exceso pueden causar eutrofización. Los resultados están significativamente por debajo del estándar de 10 µg/L, lo que indica que la concentración de fosfatos no es preocupante en estos puntos de muestreo.

Turbidez: La turbidez se asocia con la presencia de partículas en suspensión. Los valores obtenidos son muy inferiores al límite de 100 NTU, lo que indica que el agua es clara y probablemente no hay una alta carga de sedimentos o materia en suspensión.

Por lo tanto: La condición del fluido en los puntos de muestreo se encuentra dentro de los estándares permitidos, excepto en ciertos parámetros como la DBO5 y el OD en MQ-02, lo que indica posibles problemas de contaminación orgánica en ese punto específico. Estos hallazgos deben ser investigados más a fondo para determinar las fuentes de contaminación y adoptar medidas correctivas si es necesario.

3.3. Evaluar el (ICA) y las condiciones de contaminación del río Pisco

El valorar el (ICA) en el río Pisco, Ica, 2024, se centra en evaluar los parámetros físico-químicos y biológicos que determinan el estado del agua y su capacidad para sustentar ecosistemas saludables y usos humanos seguros. Este enfoque científico permite identificar los niveles de contaminación presentes y su evolución temporal, ofreciendo un fundamento robusto para la adopción de acciones correctivas y preventivas. Al cuantificar y clasificar la condición del fluido mediante el ICA, se puede establecer una relación directa entre los esfuerzos de mitigación de la contaminación y la mejora de las condiciones del río, “facilitando la toma de decisiones fundamentadas para la gestión ambiental y la preservación de recursos hídricos esenciales en la región”.

Calculo para determinar el ICA, Apícola la Colmena de Luis (Aguas arriba)

Tabla 9. Resultados monitoreo en el I Trimestre_MQ-01_Abril-2024

“Parámetros”	“Unidad”	“Resultados”	Valor (SI)	Valor (wi)	“Sub-total”
DBO ₅	µg/L	6	50	0.10	5.0
OD	µg/L	79.6%	88	0.17	15.0
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	< 220	38	0.15	5.7
Nitratos	µg/L	1.72	86	0.10	9.0
pH	Unidad	7.2	90	0.12	10.8
Temperatura	°C	24.9	18	0.10	1.9
Solidos totales disueltos	µg/L	<120	82	0.08	6.7
Fosfatos	µg/L	<0.13	95	0.10	9.6
Turbidez	NTU	3.81	90	0.08	7.4
Rango II: Buena (71 - 90)					71.0

Calculo especial para O.D. (aguas arriba)

Tabla 10. Calculo especial O.D (aguas arriba)

OD µg/L	T °C	OD Sat	OD% Sat.=	Valor (SI)
6.4	26.3	8.0385929	7	

En la Tabla 9 proporcionada, “el valorar el (ICA) para el monitoreo en el primer trimestre del 2024 (punto MQ-01) muestra un ICA de 71.0. Este valor clasifica el agua dentro del Rango II: Buena (71 - 90)”.

Interpretación del Rango II (Buena):

La calidad del agua muestra un alejamiento leve respecto a su condición natural. Aunque todavía se encuentra en un estado generalmente favorable, existe la posibilidad de que algunas de sus características deseables estén comprometidas debido a amenazas o impactos de baja intensidad.

Comentarios Adicionales:

Aunque el ICA de 71.0 se encuentra en el límite inferior del rango "Buena", lo que sugiere que la calidad del agua podría estar comenzando a verse afectada, aún se mantiene en un nivel que generalmente es adecuado para la mayoría de los usos. No obstante, es recomendable mantener un monitoreo constante para evitar un mayor deterioro que podría llevar a una clasificación más baja.

**Calculo para determinar el ICA, distrito de San Clemente
(Vertimiento aguas residuales)**

Tabla 11. Resultados monitoreo en el I Trimestre_MQ-02_Abril-2024

“Parámetros”	“Unidad”	“Resultados”	Valor (SI)	Valor (wi)	“Sub-total”
DBO ₅	µg/L	14	22	0.10	4.2.2
OD	µg/L	51.8%	44	0,17	7.5
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	< 520	28	0.15	4.2
Nitratos	µg/L	3.89	88	0,10	8.8
pH	Unidad	7.5	94	0,12	11.3
Temperatura	°C	25.7	17	0,10	1.7
Solidos totales disueltos	µg/L	<156	78	0,08	6.2

Fosfatos	µg/L	<0,13	96	0,10	9.6
Turbidez	NTU	5.67	84	0,08	6.7
Rango III: Regular (51 - 70)					58.2

Calculo especial para O.D. (vertimiento de aguas residuales)

Tabla 12. Calculo especial O.D (vertimiento de aguas residuales)

OD µg/L	T °C	OD Sat	OD% Sat.=	Valor (SI)
4.2	25.8	8.1111706	51.8	44

En la Tabla 11 proporcionada, “el valorar el (ICA) para el monitoreo en el primer trimestre del 2024 (punto MQ-02) en el distrito de San Clemente, específicamente en el área de vertimiento de aguas residuales, muestra un ICA de 58.2. Este valor sitúa la calidad del agua dentro del Rango III: Regular (51 - 70)”.

Interpretación del Rango III (Regular):

La calidad intrínseca del agua presenta una desviación frecuente de los parámetros considerados óptimos. Este rango sugiere que el agua está esporádicamente comprometida o afectada, lo que indica que no siempre es adecuada para todos los usos sin un tratamiento previo.

Comentarios Adicionales:

El ICA de 58.2 revela que la calidad del agua está en un estado que requiere atención. Si bien no es crítica, la desviación de las condiciones óptimas indica que los parámetros clave están en niveles que pueden afectar negativamente el ecosistema acuático y la salud pública si no se toman medidas correctivas. Es necesario realizar tratamientos específicos antes de su uso en la mayoría de las aplicaciones, y es crucial monitorear continuamente estos parámetros para evitar un deterioro adicional de la calidad del agua.

Calculo para determinar el ICA, cercanía del Océano Pacifico (aguas abajo)

Tabla 13. Resultados monitoreo en el I Trimestre_MQ-03_Abril-2024

“Parámetros”	“Unidad”	“Resultados”	Valor (SI)	Valor (wi)	“Sub-total”
DBO ₅	µg/L	8	40	0.10	4.0
OD	µg/L	5.5	76	0,17	12.9
Coliformes Fecales	NMP/100ml	< 320	28	0.15	4.2
Nitratos	µg/L	2.13	90	0,10	9.0
pH	Unidad	7.9	90	0,12	10.8
Temperatura	°C	26.4	16	0,10	1.6
Solidos totales disueltos	µg/L	<135	78	0,08	6.2
Fosfatos	µg/L	<0,13	96	0,10	9.6
Turbidez	NTU	2.95	96	0,08	7.7
Rango III: Regular (51 - 70)					66.0

Calculo especial para O.D. (aguas abajo)

Tabla 14. Calculo especial O.D (aguas abajo)

OD µg/L	T °C	OD Sat	OD% Sat.=	Valor (SI)
5.5	26.3	8.0385929	68.4	70

En la Tabla 13 proporcionada, “el valorar el (ICA) para el monitoreo en el primer trimestre del 2024 (punto MQ-03) cercanías del Océano Pacifico, específicamente aguas abajo, muestra un ICA de 66.0. Este valor sitúa la calidad del agua dentro del Rango III: Regular (51 - 70)”.

Interpretación del Rango III (Regular):

La calidad del agua presenta desviaciones recurrentes respecto a los parámetros óptimos. Este rango indica que el agua está ocasionalmente

comprometida o afectada, lo que sugiere que no siempre es adecuada para todos los usos sin un tratamiento previo.

Comentarios Adicionales:

Un ICA de 66.0 indica que la calidad del agua requiere atención. Aunque no alcanza un nivel crítico, la desviación de los parámetros óptimos sugiere que los niveles actuales pueden perjudicar el ecosistema acuático y la salud pública si no se implementan medidas correctivas. Es esencial aplicar tratamientos específicos antes de utilizar el agua en la mayoría de las aplicaciones y realizar un monitoreo continuo para prevenir un deterioro adicional de su calidad.

Por lo tanto: De los tres puntos de monitoreo se obtuvo el siguiente cuadro de resumen:

Tabla 15. Resultados del monitoreo

Monitoreo	ICA _a	Calidad de agua
MQ-01	71.0	Bueno
MQ-02	58.2	Regular
MQ-03	66.0	Regular

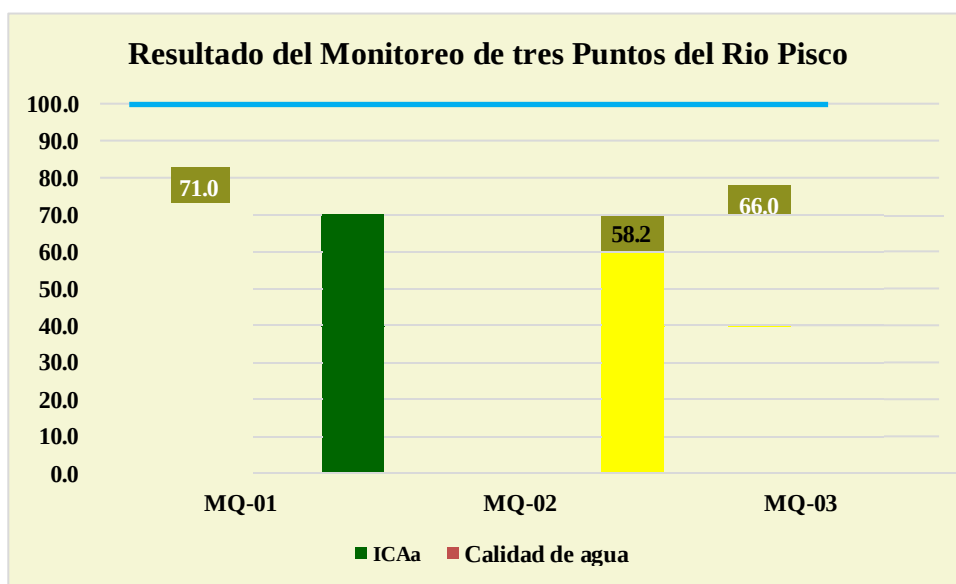


Figura 11. Valores o rangos de ICA_a, monitoreo de los tres puntos

Hipótesis Específica (2)

H0: “El (ICA) NO contribuye en la mejora de las condiciones de contaminación del río Pisco, Ica, 2024”

Ha: “El (ICA) del agua NO contribuye en la mejora de las condiciones de contaminación del río Pisco, Ica, 2024”

1. “Se formuló la hipótesis correspondiente para los puntos de monitoreo: MQ-01, MQ-02 y MQ-03”

H0: $\mu \geq 100 \%$ (El (ICA) NO contribuye en la mejora de las condiciones de contaminación del río Pisco, Ica, 2024)

H0: $\mu < 100 \%$ (El (ICA) contribuye en la mejora de las condiciones de contaminación del río Pisco, Ica, 2024)

“Se tuvo en cuenta el umbral de significancia” “ $\alpha = 0.05$ ”

Tabla 16. Se calculó el estadístico de prueba (Estadística Descriptiva)

“Numero aleatorios”	“Columna 1”	
71.0	“Media”	65.0667
58.2	“Error típico”	3.7244
66.0	“Mediana”	66
	“Desviación estándar”	6.4508
	“Varianza de la muestra”	41.6133
	“Coeficiente de asimetría”	-0.6374
	“Rango”	12.8
	“Mínimo”	58.2
	“Máximo”	71
	“Suma”	195.2
	“Cuenta”	3
	“Nivel de confianza (95.0%)”	16.0248

“Se estableció la regla de decisión”

$$\mu = 100$$

$$\alpha = 0.05$$

$$n = 3$$

$$gl = 2$$

“Se soluciona el t-Student experimental”

$$t_{\text{Experimental}} = -9.3795$$

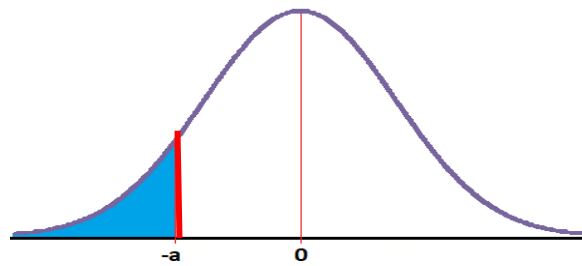
“La asignación del $t_{\text{Teórico}} = -2.9200$ (ANEXO 2 para una asignación de t de Student, $gl = 2$ y $\alpha = 0.05$)” obteniéndose un p valor de 0.00559

Entonces,

“Si $t_{\text{Experimental}} (-9.3795) < t_{\text{Teórico}} (-2.9200)$ entonces SE RECHAZA H_0 ”

Ha: “El (ICA) contribuye en la mejora de las condiciones de contaminación del río Pisco, Ica, 2024, ($\mu < 100 \%$)”.

$$t_{\text{exper.}} = -7.3795$$



$$T_{\text{critico}} = -2.9200$$

Figura 12. Distribución de t-Student para el monitoreo en el índice de la calidad del agua. Puntos MQ-01, MQ-02 y MQ-03

Por lo tanto: “Como el valor experimental del estadístico de prueba (-9.3796) se encuentra en la región de rechazo, se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula, que tiene un valor crítico de -1.7959. Esto indica que el índice de calidad del agua contribuye significativamente a la mejora de las condiciones de contaminación del río Pisco, Ica, en 2024. En otras palabras, los datos sugieren que el índice de calidad del agua tiene un impacto positivo en la reducción de la contaminación del río. Es fundamental continuar el monitoreo del índice para asegurar que las mejoras sean sostenibles y considerar la implementación de estrategias adicionales para abordar cualquier área restante de preocupación”.

IV. DISCUSION

4.1. Discusión de resultado de la calidad del agua y el nivel de contaminación del río Pisco.

La calidad del agua en el río Pisco presenta variaciones en los diferentes puntos de muestreo, con indicadores como la DBO5 y el oxígeno disuelto que superan los estándares establecidos en el punto MQ-02, lo que sugiere una carga orgánica significativa y condiciones de estrés para la biota acuática. Estos hallazgos son preocupantes, ya que una alta DBO5 puede reducir la disponibilidad de oxígeno disuelto, afectando la biodiversidad acuática y generando un ambiente propicio para procesos de eutrofización [38]. Además, la presencia de contaminantes orgánicos puede estar relacionada con vertimientos inadecuados de aguas residuales y prácticas agrícolas intensivas, las cuales incrementan la carga de nutrientes y materia orgánica en los cuerpos de agua [39]. Por otro lado, la calidad del agua en términos de coliformes fecales, nitratos, fosfatos y turbidez se encuentra dentro de los límites aceptables, lo que indica una menor presión de contaminación bacteriana y de nutrientes en la mayoría de los puntos evaluados. Sin embargo, la persistencia de problemas en parámetros críticos resalta la necesidad de una gestión integrada de los recursos hídricos que incluya el control de fuentes de contaminación y la rehabilitación ecológica del río [16], [40].

4.2. Discusión de resultado de la calidad del agua en la reducción de las cargas contaminantes en el río Pisco.

La caracterización de la calidad del agua en el río Pisco, en relación con la reducción de cargas contaminantes, es esencial para asegurar la sostenibilidad del recurso hídrico en una región árida como Ica. Los resultados obtenidos en los puntos de muestreo (MQ-01, MQ-02 y MQ-03) proporcionan una visión integral del estado actual del río, permitiendo identificar áreas críticas y posibles fuentes de contaminación. La DBO5 es un indicador crucial de la materia orgánica biodegradable en el agua. Según los resultados obtenidos,

el punto de muestreo MQ-02 presenta un valor de 14 µg/L, superando el estándar de 10 µg/L establecido

por el D.S. N°004-2017-MINAM. Este exceso sugiere una alta carga de materia orgánica en este punto, lo que podría ser resultado de vertidos de aguas residuales no tratadas o de actividades agrícolas intensivas en la región. Este tipo de contaminación orgánica puede reducir el oxígeno disponible para la biota acuática, afectando negativamente la biodiversidad del río [41]. El oxígeno disuelto es vital para la supervivencia de los organismos acuáticos. Los resultados en MQ-02 (4.2 µg/L) están por debajo del estándar mínimo de ≥ 5 µg/L, lo que sugiere un posible estrés para la fauna acuática en este punto. Esta deficiencia de oxígeno puede estar relacionada con procesos de eutrofización o descomposición de materia orgánica, lo que exige una atención inmediata para evitar un deterioro mayor del ecosistema acuático [42]. Por lo tanto, los resultados muestran que, a excepción de los parámetros DBO5 y OD en MQ-02, la calidad del agua del río Pisco se encuentra dentro de los límites permitidos por los estándares ambientales. Sin embargo, las anomalías detectadas en MQ-02 subrayan la necesidad de investigar las fuentes de contaminación orgánica en este punto específico y adoptar medidas correctivas para mitigar su impacto. La gestión adecuada de estas cargas contaminantes es esencial para proteger la biodiversidad acuática y asegurar la disponibilidad de agua de calidad para las futuras generaciones.

4.3. Discusión de resultado del índice de la calidad del agua y las condiciones de contaminación del río Pisco.

La evaluación de la calidad del agua en tres puntos de monitoreo a lo largo del río Pisco, Ica, revela que los índices obtenidos son variados, reflejando diferentes niveles de contaminación, como se muestra en la Tabla 12, aunque el índice de calidad del agua (ICA) en MQ-01 se clasifica como "Bueno," los puntos MQ-02 y MQ-03 se encuentran en el rango "Regular." Estos datos indican que, en general, la calidad del agua en el río Pisco es subóptima y requiere atención continua. La aceptación de la hipótesis alterna, respaldada

por el valor experimental del estadístico de prueba (-9.3796) que cae en la región de rechazo, y el valor crítico de -1.7959, sugiere que el índice de calidad del agua tiene un impacto significativo en la reducción de la contaminación del río. Esta conclusión se alinea con estudios previos que han demostrado que un índice de calidad del agua adecuado puede ser

[31],[43]. efectivo para mitigar la contaminación y mejorar las condiciones ambientales

[44] Destacan que la implementación de sistemas de monitoreo y evaluación del ICA es crucial para identificar y abordar fuentes de contaminación y mejorar la calidad del agua. En su investigación, encontraron que un monitoreo regular y la gestión efectiva de la calidad del agua pueden llevar a mejoras significativas en la salud de los ecosistemas acuáticos. [45] También respaldan esta idea, señalando que la adaptación de estrategias basadas en índices de calidad del agua puede ser clave para la reducción de contaminantes y la protección de recursos hídricos. A pesar de las mejoras observadas, los resultados del monitoreo sugieren que se necesita un enfoque más robusto para manejar las áreas clasificadas como "Regular." Las condiciones subóptimas en MQ-02 y MQ-03 subrayan la importancia de implementar medidas correctivas adicionales y estrategias de gestión ambiental para abordar la contaminación residual. La necesidad de aplicar tratamientos específicos y continuar con un monitoreo exhaustivo es fundamental para asegurar la sostenibilidad de las mejoras en la calidad del agua [46]. Por lo tanto, el análisis indica que, aunque el índice de calidad del agua tiene un impacto positivo en la reducción de la contaminación del río Pisco, se requieren esfuerzos continuos y coordinados para mantener y mejorar este impacto. La aplicación de medidas correctivas y estrategias de gestión efectiva son esenciales para proteger el ecosistema acuático y la salud pública en la región.

V. CONCLUSIONES

- 5.1. Se concluye que, la formulación de la condición del fluido en el río Pisco revela que, aunque la mayoría de los parámetros evaluados se encuentran dentro de los límites permitidos por los estándares ambientales, existen puntos críticos, como el caso de la DBO5 y el oxígeno disuelto en MQ-02, que indican la presencia de una carga orgánica significativa y condiciones adversas para la vida acuática. Estos hallazgos subrayan la necesidad de implementar estrategias de gestión y control de fuentes de contaminación para proteger este recurso vital, garantizar la sostenibilidad ecológica del río, y prevenir futuros deterioros en la calidad del agua.
- 5.2. La caracterización de la condición del fluido del río Pisco, a través de la caracterización de sus parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, revela un estado general adecuado en la mayoría de los puntos de muestreo, cumpliendo en su mayoría con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos por el D.S. N°004-2017-MINAM para la conservación del ambiente acuático. Sin embargo, el punto de muestreo MQ-02 ha mostrado niveles elevados de DBO5 y bajos niveles de oxígeno disuelto, lo que sugiere la presencia de una carga orgánica significativa y una posible fuente de contaminación en esa área específica. Estos hallazgos indican que, aunque la calidad del agua en el río Pisco es en general aceptable, existen focos de contaminación orgánica que requieren atención inmediata para prevenir la degradación de la calidad del agua y preservar la salud del ecosistema acuático.
- 5.3. Concluyendo que los efectos del monitoreo del (ICA) en el río Pisco, Ica, indican que la calidad del agua varía entre los diferentes puntos de monitoreo. Mientras que el punto MQ-01 se clasifica como "Bueno" con un ICA de 71.0, los puntos MQ-02 y MQ-03, con valores de 58.2 y 66.0 respectivamente, se sitúan en la categoría "Regular." Esto sugiere que, aunque hay áreas donde la calidad del agua es relativamente buena, hay otras donde la contaminación sigue siendo una preocupación significativa. La

aceptación de la hipótesis alterna y el rechazo de la hipótesis nula, apoyados por el análisis estadístico, confirman que el índice de calidad del agua tiene un impacto positivo en la mejora de las condiciones de

contaminación del río. No obstante, la calidad del agua en la mayoría de los puntos requiere atención continua y medidas correctivas para asegurar una mejora sostenida y proteger el ecosistema acuático y la salud pública.

VI. RECOMENDACIONES

- 6.1.** Se recomienda implementar medidas de mitigación y control para reducir las fuentes de contaminación orgánica, tales como el tratamiento adecuado de aguas residuales y la regulación de las actividades agrícolas e industriales en la cuenca. Estas acciones son esenciales para preservar la calidad del agua y garantizar la sostenibilidad del ecosistema acuático en la región.

- 6.2.** Para mejorar y mantener la calidad del agua en el río Pisco, se recomienda implementar un monitoreo continuo y exhaustivo de los parámetros críticos que han mostrado desviaciones, como la DBO5 y el oxígeno disuelto. Además, es fundamental identificar y controlar las fuentes de contaminación orgánica en el punto MQ-02 mediante medidas correctivas específicas, como la mejora del tratamiento de aguas residuales y la implementación de prácticas agrícolas sostenibles. También se sugiere fortalecer las políticas de gestión hídrica y promover la educación ambiental en las comunidades locales para garantizar un uso sostenible del recurso hídrico.

- 6.3.** Para mejorar la condición del fluido en el río Pisco y garantizar la sostenibilidad de los resultados positivos observados, es esencial implementar un enfoque de gestión integral. Adicionalmente, se deben aplicar tratamientos específicos y estrategias de gestión ambiental para las áreas clasificadas como "Regular," con el fin de reducir los niveles de contaminación y mejorar la calidad del agua. Es crucial también desarrollar e implementar planes de acción para mitigar las fuentes de contaminación identificadas, así como fomentar la participación comunitaria y la educación ambiental para promover prácticas sostenibles que contribuyan a la preservación del ecosistema acuático.

VII. REFERENCIAS

- [1] K. Onda, J. Lobuglio, and J. Bartram, “Global Access to Safe Water: Accounting for Water Quality and the Resulting Impact on MDG Progress,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 9, p. 15, 2012, doi: 10.3390/ijerph9030880.
- [2] UNESCO, *El agua, una Responsabilidad Compartida 2° Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo*. Francia: Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2006. [Online]. Available: www.unesco.org/water/wwap/index_es.shtml
- [3] UNESCO, *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2019: no dejar a nadie atrás*. Francia: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2019. [Online]. Available: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367304>
- [4] P. Rogers, *Land governance in Latin America and the Caribbean*. Brasil: Inter- American Development Bank Sustainable, 2022. doi: 10.4060/cb8229en.
- [5] P. Aquino Espinoza, *Calidad del Agua en el Perú. Retos y Aportes Para una Gestión Sostenible en Aguas Residuales*, 1ra Edición. Lima - Perú: Derechos Ambientales y Recursos Naturales, 2017. [Online]. Available: [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Libro - Calidad de agua en el Perú.pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Libro%20Calidad%20de%20agua%20en%20el%20Peru.pdf)
- [6] S. K. Amaya-Hoyos, C. A. Daza-Orjuela, L. J. Rivera-Gómez, and A. F. Rivera- Gómez, “Educación, Derechos y Deberes Ambientales Como Aporte Para Lograr una Paz Ambiental en Siachoque, Boyacá en el Marco de los ODS,” *Prospect. Rev. Trab. Soc. e Interv. Soc.*, vol. 37, p. 24, 2024, doi: 10.25100/prts.v0i37.13179.
- [7] S. G. Schreiber, S. Schreiber, R. N. Tanna, D. R. Roberts, and T. J. Arciszewski, “Statistical tools for water quality assessment and monitoring in river ecosystems – a scoping review and recommendations for data analysis,” *Water Qual. Res. J.*, vol. 57, no. 1, pp. 40–57, 2022, doi: 10.2166/wqrj.2022.028.

- [8] S. Singh, S. Rai, P. Singh, and V. K. Mishra, "Real-time Water Quality Monitoring of River Ganga (India) Using Internet of Things," *Ecol. Inform.*, vol. 71, no. August, p. 101770, 2022, doi: 10.1016/j.ecoinf.2022.101770.
- [9] N. J. Habeeb and S. T. Weli, "Combination of GIS with Different Technologies for Water Quality: An Overview," *HighTech Innov. J.*, vol. 2, no. 3, pp. 262–272, 2021, doi: 10.28991/HIJ-2021-02-03-10.
- [10] S. Ramya, S. Srinath, and P. Tuppad, "Comprehensive analysis of multiple classifiers for enhanced river water quality monitoring with explainable AI," *Case Stud. Chem. Environ. Eng.*, vol. 10, no. April, p. 100822, 2024, doi: 10.1016/j.cscee.2024.100822.
- [11] N. Akhtar *et al.*, "Modification of the Water Quality Index (WQI) Process for Simple Calculation Using the Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) Method: A Review," *Elsevier: Amsterdam*, vol. 13, p. 34, 2021, [Online]. Available: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/water-13-00905.pdf
- [12] S. N. Zainurin *et al.*, "Advancements in Monitoring Water Quality Based on Various Sensing Methods: A Systematic Review," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 19, p. 21, 2022, doi: 10.3390/ijerph192114080.
- [13] H. Y. Pak, C. J. Chuah, M. L. Tan, E. L. Yong, and S. A. Snyder, "A framework for assessing the adequacy of Water Quality Index – Quantifying parameter sensitivity and uncertainties in missing values distribution," *Sci. Total Environ.*, vol. 751, p. 22, 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141982.
- [14] R. Isaac and S. Siddiqui, "Application of water quality index and multivariate statistical techniques for assessment of water quality around Yamuna River in Agra Region, Uttar Pradesh, India," *Water Supply*, vol. 22, no. 3, pp. 3399–3418, 2022, doi: 10.2166/WS.2021.395.
- [15] M. G. Uddin, M. Moniruzzaman, M. A. Quader, and M. A. Hasan, "Spatial variability in the distribution of trace metals in groundwater around the Rooppur nuclear power plant in Ishwardi, Bangladesh," *Groundw. Sustain. Dev.*, vol. 7, no.

- June, pp. 220–231, 2018, doi: 10.1016/j.gsd.2018.06.002.
- [16] T. Wu, S. Wang, B. Su, H. Wu, and G. Wang, “Understanding the water quality change of the Yilong Lake based on comprehensive assessment methods,” *Ecol. Indic.*, vol. 126, p. 9, 2021, doi: 10.1016/j.ecolind.2021.107714.
- [17] D. J. P. Ortega, D. A. Pérez, J. H. P. Américo, S. L. De Carvalho, and J. A. Segovia, “Development of Index of Resilience for Surface Water in Watersheds,” *J. Urban Environ. Eng.*, vol. 10, no. 1, pp. 72–82, 2016, doi: 10.4090/juee.2016.v10n1.007282.
- [18] C. Costa Rodriguez, “Evaluación de los Parámetros Físicoquímicos y Microbiológicos de la Calidad del Agua de Efluentes del Río Chillón Durante los Meses de Enero a Junio del 2019.,” Universidad Ricardo Palma, 2021. [Online]. Available: <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/urp/1040>
- [19] P. Bedregal *et al.*, “Evaluación de las aguas del río Rimac en Lima, Perú, utilizando el Índice de Calidad de Agua (ICA),” *IPEN*, pp. 13–19, 2010, [Online]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.ipen.gob.pe/bitstream/handle/20.500.13054/623/ICT2010-Pag13-19.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [20] M. Mendoza Fuentes, R. Escalante Semerena, R. Neyra, and L. Ramos Fernandez, “Flujos del Agua en la Cuenca del río Vilcanota (Cusco, Perú): Un Enfoque del Valor desde la Economía Ecológica,” *Manglar*, vol. 21, no. 1, p. 10, 2024, doi: 10.57188/manglar.2024.005.
- [21] B. Olivares, “Vertimiento de Aguas Residuales Domiciliarias Generados por la Población de Humay en la Calidad del Agua en el Río Pisco, 2021,” Universidad Nacional “San Luis Gonzaga,” 2022. [Online]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.unica.edu.pe/server/api/core/bitstreams/9da19329-b887-4f09-94ca-3ff6bedc5495/content>

- [22] L. Lima Huacho, “Efecto del Vertimiento de Aguas Residuales Domiciliarias en la Calidad del Agua en el Río Sicra Lircay – Huancavelica 2018,” Universidad Continental, 2020. [Online]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8449/4/IV_FIN_107_TE_Lima_Huacho_2020.pdf
- [23] J. F. Alarcón Corro, “Aplicación de Métodos en Índices de Calidad de Agua (ICA) en el Río Rímac,” Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2019. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/326003104.pdf>
- [24] L. F. C. Pérez and Gloria Amparo Miranda Zambrano, “Wastewater pollution and quality indicators in the ‘Junín lake’ national reserve , Perú,” *Rev. Mex. Ciencias Agrícolas*, vol. 10, no. 6, pp. 1433–1447, 2019, [Online]. Available: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342019000601433&script=sci_abstract&tlng=en
- [25] D. Gavrilescu, C. Teodosiu, and M. David, “Environmental assessment of wastewater discharges at river basin level by means of waste absorption footprint,” *Sustain. Prod. Consum.*, vol. 21, pp. 33–46, 2020, doi: 10.1016/j.spc.2019.10.006.
- [26] J. A. Villena Chávez, “Water quality and sustainable development,” in *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, Peru: SIMPOSIO, 2018, pp. 304–308. doi: 10.17843/rpmesp.2018.352.3719.
- [27] H. Atencio Santiago, “Análisis de la Calidad del Agua para consumo localidad de San Antonio De Rancas , del Distrito De Simon Boloivar. Provincia y Region de Pasco.2018,” Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion, 2018.
- [28] Ley General del Ambiente Ley N° 28611, “Ley General del Ambiente LEY N° 28611.” Congreso de la republica, Lima - Perú, p. 45, 2016. [Online]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.min>

- am.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N°-28611.pdf
- [29] B. M. D. Martinez, “Eficiencia en la remocion de la demanada bioquimica de oxigeno, demanda quimica de oxigeno y solidos suspendidos totales en la planata de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de celendin,” Universidad Nacional de Cajamarca, 2016.
- [30] L. J. Vivas-Aguas and S. M. Navarrete-Ramírez, Protocolo Indicador Calidad de Agua (ICAMPFF). Indicadores de monitoreo biológico del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas (SAMP). Colombia: AquaDocs, 2014.
- [31] J. Ariza-Restrepo, J. Rodriguez-Diaz, and C. Oñate-Barraza, “Tecnura Water quality indices (WQI) and contamination indices (WPI) a bibliographic review Índices de calidad y contaminación del agua: una revisión bibliográfica,” *Tecnura*, vol. 27, no. 77, p. 20, 2023, [Online]. Available: <https://doi.org/10.14483/22487638.20052>
- [32] D.S. N°004-2017-MINAM, “Aprueban Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias,” *El Peruano*. Peruano, Lima-Peru, pp. 6–9, 2017. [Online]. Available: <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- [33] J. Supo, *Cómo escribir una tesis: Redacción del informe final de tesis*, Primera Ed. Lima - Perú: BIOESTADISTICO EIRL, 2015.
- [34] F. G. Arias, *Proyecto de Investoigacion Introduccion a la Metodologia Cientifica*, 6a Edicion. Caracas, Venezuela: Ediciones El Pasillo, 2012.
- [35] G. Baena Paz, *Metodologia de la Investigacion. Serie integral por competencias*, 3a edicion. Mexico: Grupo Editorial Patria, 2017.
- [36] J. K. Perez Alvarado, “Determinacion del Indice de Calidad del Agua del Rio Moquegus por Influenica del Vertimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales -Omo,Durante El Periodo 2014-2015,” Universidad José Carlos Mariategui, 2017.

- [Online]. Available:
http://3.17.44.64/bitstream/handle/20.500.12819/299/Julisa_Tesis_titulo_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [37] N. J. F. Parada and F. O. Solano, “Capítulo III: Índices de Calidad (ICAs) y de Contaminación (ICOs) del Agua de Importancia Mundial,” in *Índices de Calidad y de Contaminación del Agua*, Universidad de Pamplona, 2007, p. 78. [Online]. Available: http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallIG/home_10/recursos/genera
[l/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo3.pdf](http://pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo3.pdf)
- [38] S. Giri, “Water quality prospective in Twenty First Century: Status of water quality in major river basins, contemporary strategies and impediments: A review,” *Environ. Pollut.*, vol. 271, p. 23, 2021, doi: 10.1016/j.envpol.2020.116332.
- [39] A. Gorgoglione, L. Puppo, P. Gamazo, C. García, and Á. Otero, “Advances in Water in Agroscience,” *Agrociencia Uruguay*, vol. 27, no. E1, pp. 1–5, 2023, doi: 10.31285/AGRO.27.1375.
- [40] C. Nilsson and B. M. Renöfält, “Linking flow regime and water quality in rivers: A challenge to adaptive catchment management,” *Ecol. Soc.*, vol. 13, no. 2, p. 21, 2008, doi: 10.5751/ES-02588-130218.
- [41] V. H. Smith, G. D. Tilman, and J. C. Nekola, “Eutrophication: Impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems,” *Environ. Pollut.*, vol. 100, no. 1–3, pp. 179–196, 1999, doi: 10.1016/S0269-7491(99)00091-3.
- [42] W. Dodds and M. Whiles, *Freshwater Ecology. Concepts and Environmental Applications of Limnology*, 2nd Editio. Kansas, EEUU: Department of Ecology and Evolutionary Biology University, 2010. [Online]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.researchgate.net/profile/Walter->

Dodds/publication/338298578_Properties_of_Water/links/5fc9107f92851c00f84cb600/Properties-of-Water.pdf

- [43] L. Zhang, “Big Data, Knowledge Mapping for Sustainable Development a Water Quality Index Case Study,” *Emerg. Sci. J.*, vol. 3, no. 4, pp. 249–254, 2019, doi: 10.28991/esj-2019-01187.
- [44] Z. Zhang *et al.*, “water Evaluating the E ffi cacy of Point-of-Use Water Treatment Systems Using the Water Quality Index in,” *Water*, vol. 12, pp. 1–15, 2020, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Classification-of-drinking-water-quality-based-on-the-WQI-20-36-37_tbl1_340076156
- [45] S. Chidiac, P. El Najjar, N. Ouaini, Y. El Rayess, and D. El Azzi, “A comprehensive review of water quality indices (WQIs): history, models, attempts and perspectives,” *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.*, vol. 22, no. 2, pp. 349–395, 2023, doi: 10.1007/s11157-023-09650-7.
- [46] D. Kumar, R. Kumar, M. Sharma, A. Awasthi, and M. Kumar, “Global water quality indices: Development, implications, and limitations,” *Total Environ. Adv.*, vol. 9, p. 15, 2024, doi: 10.1016/j.teadva.2023.200095

VIII. ANEXOS

**ANEXO I: Las clasificaciones de los Estándares de Calidad Ambiental
(ECA) para el agua, de acuerdo al Decreto Supremo
N°004-2017 MINAM [32]**

Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua													
CATEGORÍA 1: Poblacional y recreacional					CATEGORÍA 2: Actividades marino costeras				CATEGORÍA 3: Riego de vegetales y bebida de animales		CATEGORÍA 4: Conservación del ambiente acuático		
Sub Cat A			Sub Cat B		Agua de mar				Sub Cat D1Sub Cat D2		Sub Cat E1Sub Cat E2		Sub Cat E3
Aguas superficiales designadas a la producción de agua potable			Aguas superficiales destinadas para recreación										
A1	A2	A3	B1	B2	Sub Cat 1	Sub Cat 2	Sub Cat 3	Sub Cat 4	Riego de vegetales	Bebida de animales	Lagunas y Lagos	Ríos	Ecosistemas marinos costeros
A.1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección					Extracción y cultivo de moluscos				Aguas para riego no restringido		Ríos de la costa y sierra		
A.2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional					Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas				Aguas para riego restringido		Ríos de la selva		
A.1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección					Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento						Estuarios		
					Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas						Marinos		

“Nota. Las categorías de los estándares que se relacionan con el agua de mar, son Categoría 1: Subcategoría B, Categoría 2: Sub cat 1, 2, 3, y Categoría 4: Subcategoría E3. Fuente: Ministerio del Ambiente, 2017”.[21]